

7. SISTEMA RADIANTE. SSRR.

El sistema radiante es el conjunto formado por las antenas de panel o paneles y los cables de alimentación o *feeders*. Lógicamente también habría que considerar todos los tipos de conectores pero no es interesante desde el punto de vista del ingeniero de radio ya que no influyen prácticamente en nada para el diseño.

7.1 Paneles.

Los paneles son el tipo usual de antenas de exterior usadas en la telefonía móvil. El diagrama de radiación de cualquier antena se puede representar tanto en el plano horizontal como vertical mediante unos gráficos en coordenadas polares.

En estos diagramas se muestran los lóbulos principales y secundarios en función de la ganancia según el ángulo que forma el eje de los mismos con el punto emisor. El lóbulo principal que coincide con el eje de la antena, es el de mayor tamaño y alcanza el círculo de coordenadas polares correspondiente a $0dB$. El ángulo de radiación está en el lóbulo principal y abarca todo el ancho del lóbulo que tenga una ganancia por encima de $3dB$ que es lo que se denomina anchura del haz. Los lóbulos secundarios que envuelven al principal disminuyen de tamaño a medida que se acercan al ángulo de 180° y típicamente están unos $20dB$ por debajo del principal. Todo esto es bajo la suposición de campo lejano.

El campo lejano es la zona de campo alejada de la antena (se produce a una distancia equivalente al cuadrado de la dimensión de la antena) en la que la propagación de los campos electromagnéticos se asemeja a una onda plana cuya densidad de potencia disminuye con el cuadrado de la distancia a la antena.

El ancho de haz a $-3dB$ es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación ha caído $3dB$ y su valor se expresa en grados.

La directividad o ganancia específica es la capacidad que tiene una antena de concentrar potencia absorbida o radiada en la dirección de máxima ganancia. El ancho de banda es el margen de frecuencias para el cual la antena mantiene sus características.

La relación entre la densidad de potencia radiada por la antena en la dirección útil y la que radia por el lóbulo trasero se conoce como relación delante/atrás o *Front to Back ratio*, y es un importante parámetro de diseño de la antena en lo relativo a interferencias.

El ángulo que hace referencia al diagrama de radiación del lóbulo principal en el plano horizontal de la antena se denomina azimut y para el diagrama de radiación vertical se denomina “ángulo de elevación”, se diseña para concentrar el máximo de radiación para aquellos ángulos por debajo de la horizontal, que es donde se agrupan los abonados.

Otro de los parámetros que hay que tener en cuenta es la impedancia característica que es la resistencia que presenta la antena en la frecuencia a la que ha sido sintonizada, que toma un valor típico de 50Ω

Para proteger los elementos radiantes de las inclemencias del tiempo y otros agentes como pueden ser los pájaros e insectos se cubren con una carcasa o radomo de un material que permite el paso de las ondas sin afectar a sus propiedades de propagación.

En la telefonía móvil se suelen usar antenas de panel formadas por arrays de dipolos y que funcionan en base a una doble polarización, polarización +45/-45 o crosspolar. Que permite tener diversidad en recepción.

Vamos a ver las especificaciones de un panel real para ver las características más importantes.

7.1.1 Ejemplo de panel. KATHREIN 739636.

El cuadro de características de los paneles es como sigue:

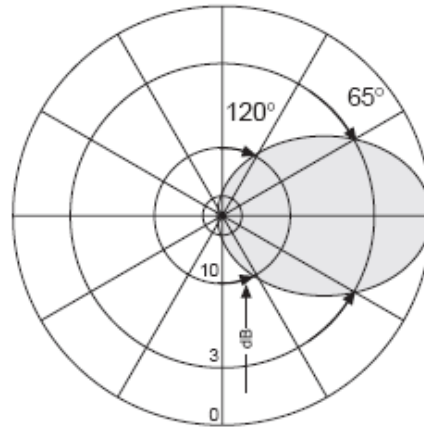
| Type No. | 739 636 |
|------------------------------|--|
| Input | 2 x 7-16 female |
| Connector position | Bottom |
| Frequency range | 806 – 960 MHz |
| VSWR | < 1.3 (870 – 960 MHz) < 1.5 (806 – 870 MHz) |
| Gain | 2 x 18 dBi (870 – 960 MHz) 2 x 17.5 dBi (806 – 870 MHz) |
| Impedance | 50 Ω |
| Polarization | +45°, -45° |
| Front-to-back-ratio, copolar | > 30 dB |
| Half-power beam width | +45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 7.5°, 6°T -45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 7.5°, 6°T |
| Isolation | > 32 dB (824 – 960 MHz) > 30 dB (806 – 824 MHz) |
| Max. power per input | 600 Watt (at 50 °C ambient temperature) |
| Weight | 19 kg |
| Wind load | Frontal: 470 N (at 150 km/h) Lateral: 280 N (at 150 km/h) Rearside: 1040 N (at 150 km/h) |
| Max. wind velocity | 200 km/h |
| Packing size | 2692 x 287 x 165 mm |
| Height/width/depth | 2580 / 262 / 116 mm |

Ilustración 5: características de antena 739 636

Vamos a ir viendo los campos que son interesantes para un ingeniero de diseño radio:

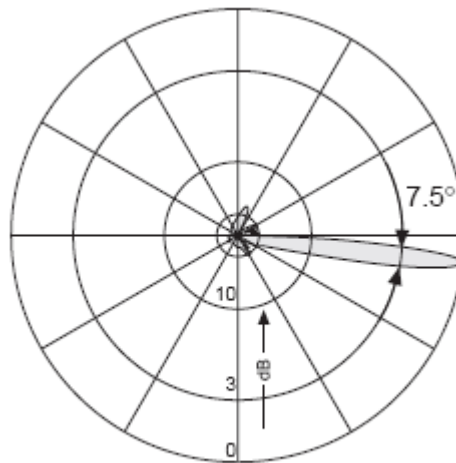
- **Input:**
Son las entradas al panel.
Nos dice el tipo y cantidad de conectores. Lo usual son los 7-16.
- **Connector position:**
Nos indica en qué posición del panel se encuentran los conectores. En este caso se encuentran en la base del mismo.

- **Frecuency Range:**
Nos especifica el rango de frecuencias en el que la antena de panel conserva sus características y en el que debe de funcionar.
- **VSWR:**
Es la **ROE** o razón de onda estacionaria que nos indica cuanta parte de la energía enviada por el transmisor regresa al mismo reflejada. Una **ROE** de 1,5 implica un regreso del 4% de la potencia.
Suele estar bastante bien controlada en este tipo de antenas para no provocar problemas a los transmisores. Es un parámetro dependiente de la frecuencia.
- **Gain:**
Es la ganancia del panel. Suele ser dependiente de la frecuencia. Aparece como 2x debido a que este tipo de antenas tienen dos entradas, una por cada polarización y que se transmiten al mismo tiempo. Se expresa en dBi y para las antenas de GSM 900 toma valores entre 14 y 19 dBi.
- **Impedance**
Es la impedancia de entrada a la antena.
Como vimos antes será de 50Ω para este tipo de sistemas.
- **Polarization**
Es la polarización a la que va a transmitir el panel. Lo normal es tener siempre que sea posible paneles con dos polarizaciones, a +45 y -45 para así dotar a la señal recibida de diversidad sin necesidad de montar dos paneles. Hay que hacer notar que tendremos un conector de entrada por cada polarización que tenga el panel.
- **Front to back ratio, copolar.**
Como antes comentamos es la relación entre la potencia de la señal que va por el lóbulo principal y la que radia el lóbulo trasero.
- **Half-power beam width.**
Es la anchura del haz a -3dB. Se observa en los diagramas de radiación que vienen adjuntos en las características del panel.



Horizontal Pattern

Ilustración 6: diagrama de radiación horizontal de antena panel



Vertical Pattern

Ilustración 7: diagrama de radiación vertical de antena panel

Este panel viene especificado para las dos polarizaciones aunque siempre son iguales. Este modelo de panel en concreto viene con un downtilt eléctrico predefinido e igual a 6°.

- **Isolation**
Va a indicar el aislamiento entre las entradas del panel. Suele ser dependiente de la frecuencia.
- **Max power per input.**
Es la máxima potencia que puede soportar el panel por entrada. Hay que tener en cuenta que un mismo panel puede ser utilizado por una conexión en cascada de transmisores que deberán tener en cuenta este parámetro a la hora de limitar la potencia de los mismos.

- **Height/width/depth**

Son las dimensiones del panel. Las debemos conocer para así colocarlas de manera óptima en los soportes. Las antenas de GSM 900 tienen una longitud de 2,6 metros más o menos.

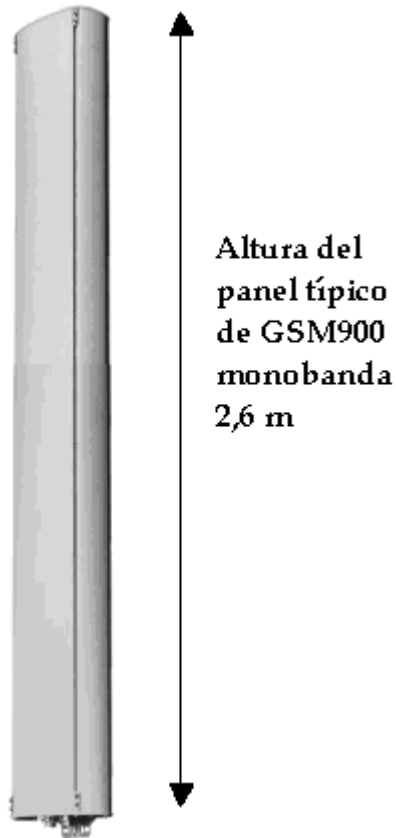


Ilustración 8: panel típico GSM 900 de 2,6 metros

Como norma general se instalarán paneles de 65° de apertura horizontal y con una separación mínima entre la orientación de los sectores de 90°.

7.1.2 Cálculo de la inclinación de la antena o downtilt.

Dotar de cobertura óptima es el objetivo principal de un sistema radiante. Dependiendo de las características y la situación del emplazamiento con respecto al objetivo de cobertura es muy posible que necesitemos aplicar un cierto downtilt a las antenas.

Este tipo de cálculos se suele hacer en el mismo replanteo técnico aunque se puede haber hecho un estudio previo sobre plano para ir haciéndonos una idea de los posibles resultados. Aunque existen unas tablas lo ideal es hacer el cálculo a mano.

También se suelen hacer simulaciones de cobertura con herramientas informáticas específicas para ello donde podemos observar los cambios que se producen al dotar a las antenas de una u otra inclinación.

Nosotros nos vamos a centrar en la forma de hacer los cálculos a mano que nos resulta más didáctico desde el punto de vista del diseño.

Las fórmulas a usar son las siguientes:

$$R_{interior} (Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan\left(\alpha(^{\circ}) + \frac{BW(^{\circ})}{2}\right)}$$

$$R_{exterior} (Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan\left(\alpha(^{\circ}) - \frac{BW(^{\circ})}{2}\right)}$$

$$R_{centro} (Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan(\alpha(^{\circ}))}$$

$$\alpha(^{\circ}) = \tan^{-1}\left(\frac{H(m)}{1000 \cdot R_{centro} (Km)}\right)$$

$\alpha(^{\circ})$ es el downtilt de la antena.

$R_{interior} (Km)$ es el radio interior de la celda.

$R_{exterior} (Km)$ es el radio exterior o de mayor alcance de la celda

$R_{centro} (Km)$ es la distancia al centro de la celda

$H(m)$ es la altura sobre el terreno de la antena

$c_1(m)$ es la cota AMSL del emplazamiento

$c_2(m)$ es la cota AMSL del objetivo de cobertura

$BW(^{\circ})$ es el ancho de haz a -3dB de la antena.

En la siguiente ilustración mostraremos todos estos parámetros de manera visual para que nos podamos hacer una idea real de cómo se aplican estas fórmulas.

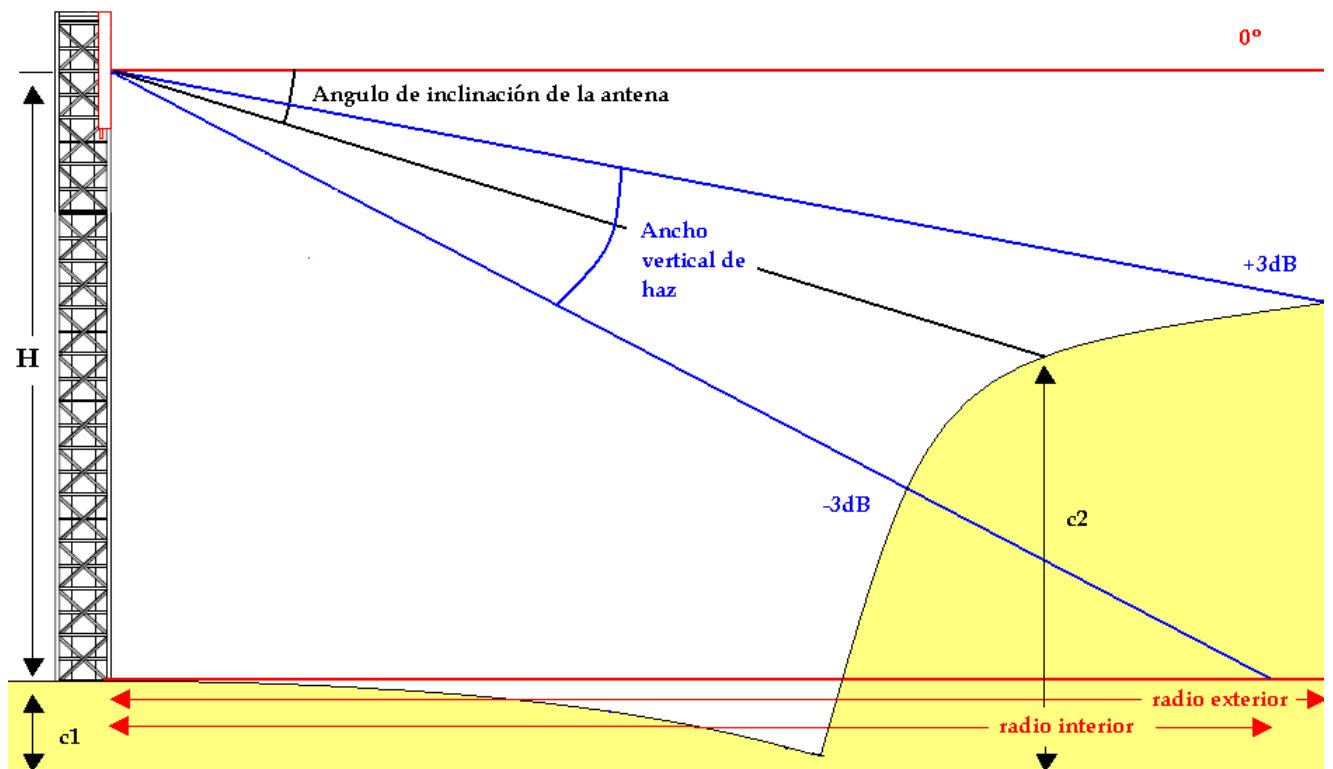


Ilustración 9: diagrama cálculo downtilt antenas

Si tenemos en cuenta una torre de $H(m)=40$, con cota $c_1(m)=400$ y un pueblo a $R_{centro}(Km)=2$ con cota en su centro de $c_2(m)=300$ el resultado sería:

$$\alpha(^{\circ}) = \tan^{-1}\left(\frac{40 + 400 - 300}{1000 \cdot 2}\right) = 4$$

Tendríamos que dotar por tanto a los paneles de una inclinación de 4° para cubrir de forma óptima la población.

Si calculamos los radios interior y exterior con ambos extremos:

$$R_{interior}(Km) = \frac{40 + 400 - 300}{1000 \cdot \tan\left(4 + \frac{7}{2}\right)} = 1,063$$

$$R_{exterior}(Km) = \frac{40 + 400 - 300}{1000 \cdot \tan\left(4 - \frac{7}{2}\right)} = 16,420$$

En la mayoría de los casos el downtilt mínimo que se coloca es la mitad del ancho de haz vertical, con idea de no radiar nada hacia arriba.

7.1.3 Downtilt eléctrico y mecánico. El RET(Remote electrical tilt)

En todo despliegue de telefonía móvil se hacen estudios completos de cobertura y vecindades. Se intenta cubrir una zona específica pero evitando las interferencias excesivas entre las BTS. En la planificación se establece siempre una inclinación o downtilt a instalar en los paneles, pero luego una vez en el aire, estos downtilts pueden necesitar ser modificados a la luz de las medidas obtenidas en los drive test.

También hay que tener muy en cuenta que una cosa es lo que se diseña y otra cosa bien distinta lo que en la realidad se implementa.

Hay que distinguir entre inclinación eléctrica o mecánica. El tilt mecánico es inclinar la antena físicamente como vemos en la figura:

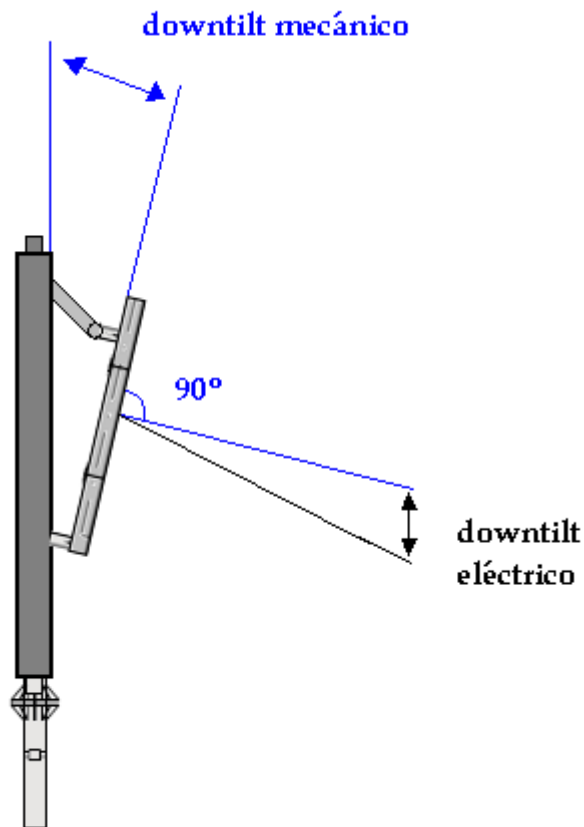


Ilustración 10: downtilt de antenas

El downtilt eléctrico sin embargo no modifica para nada la posición del panel, sino que actúa sobre la fase de la señal electromagnética a emitir. De esta manera cambiando la fase, cambiamos los parámetros de la señal y conseguimos el efecto deseado.

Los paneles que permiten modificar el downtilt eléctrico presentan en su base una tuerca o similar que permite modificar y visualizar el que tiene en ese momento asignado.

Como para modificar el downtilt eléctrico hay que estar en contacto directo con la antena esto nos implicará un coste cada vez que tengamos que hacerlo ya que tendremos la necesidad de que un técnico suba al sistema radiante.

Para facilitar los cambios de tilt eléctrico se instala un dispositivo que nos va a permitir hacerlo de manera remota. Este dispositivo es el RET.

El RET o *remote electrical tilt* se conecta directamente al panel y por cable al panel y por cable al ASC o en su defecto al bastidor de los equipos.

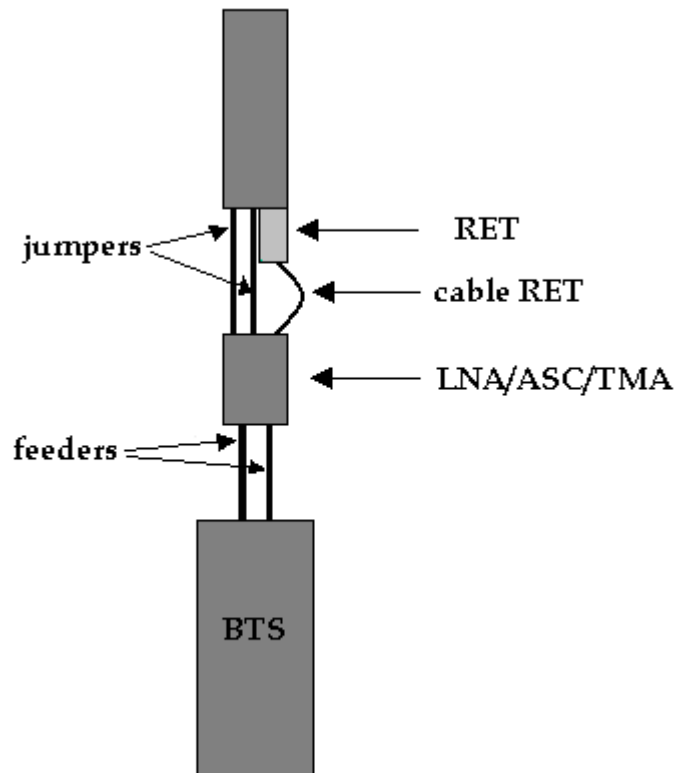


Ilustración 11: diagrama RET con ASC/TMA

En este último dibujo observamos las conexiones del RET cuando tenemos un LNA o ASC cerca de los paneles.

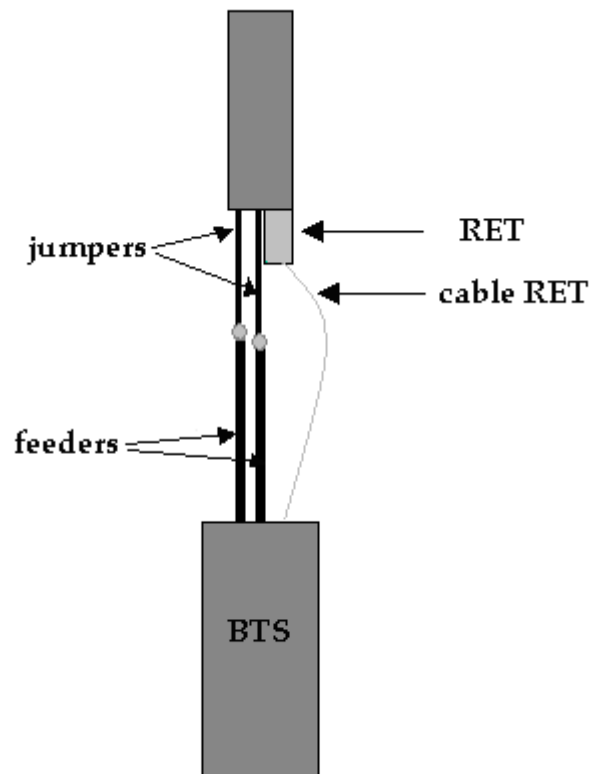


Ilustración 12: diagrama RET con conexión directa al bastidor



Ilustración 13: RET

Las dimensiones suelen ser las siguientes:

Altura: 178 mm

Anchura: 50 mm

Profundidad: 60 mm

7.1.4 Tma/Asc

El TMA o tower mounted amplifier, es un elemento que se coloca para minimizar las pérdidas en los feeders de la señal proveniente del uplink, de esta manera extiende el rango de alcance de la celda.

Los TMA por tanto se usan para mejorar la potencia de señal recibida en las antenas en aquellos sitios en los que el uplink es débil.

El TMA nos permite:

- Disminuir las llamadas caídas
- Aumentar la cobertura dentro de los edificios.
- Aumentar la cobertura dentro de los coches
- Disminuir la potencia transmitida por el móvil con el consiguiente ahorro de batería.

El TMA nos puede servir para optimizar las redes ya que nos puede ahorrar la colocación de estaciones base en entornos “quemados” donde es complicado conseguir nuevos sites.

Es básicamente un filtro paso de banda con eliminación de continua y un LNA (low noise amplifier).

Hay 3 tipos de TMA según el tipo de configuración que nos interese y vamos a ver sin entrar en muchos detalles las características de cada una de ellas.

7.1.4.1 Simplex TMA

Es básicamente un LNA que amplifica la señal recibida por la antena además de un filtro paso de banda para eliminar los elementos espúreos de la señal y la componente de continua. Este tipo de TMA se usa en recepción solamente ya que suele ser el uplink la parte más débil del enlace radio, y la que nos limita la cobertura y la calidad de los KPI's. En este caso los cables de Tx y Rx entran por bocas diferentes a la antena.

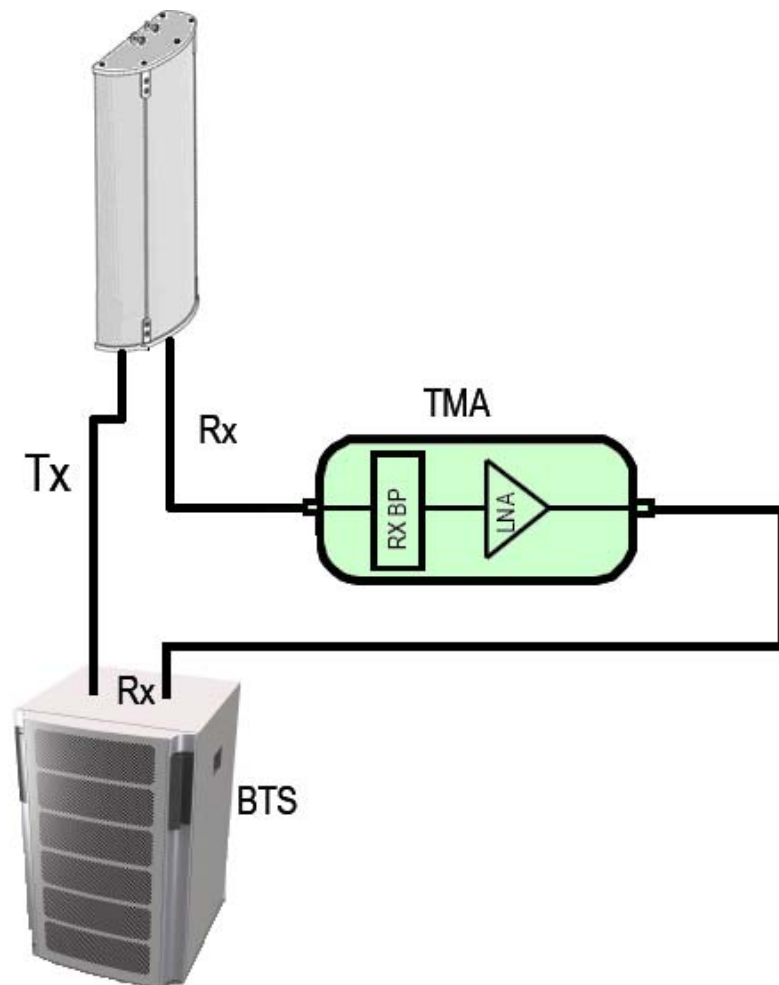


Ilustración 14: simplex TMA

7.1.4.2 Duplex TMA

Permite compartir la Tx y la Rx en un mismo feeder desde el TMA al panel. Nos permite en este caso ahorrar una boca del panel. Está formado por un diplexor que hace la separación de TX/RX y el filtrado de señal. La Rx va por el LNA hacia la BTS. Desde el TMA a la BTS la Tx y la Rx van por *feeders* separados.

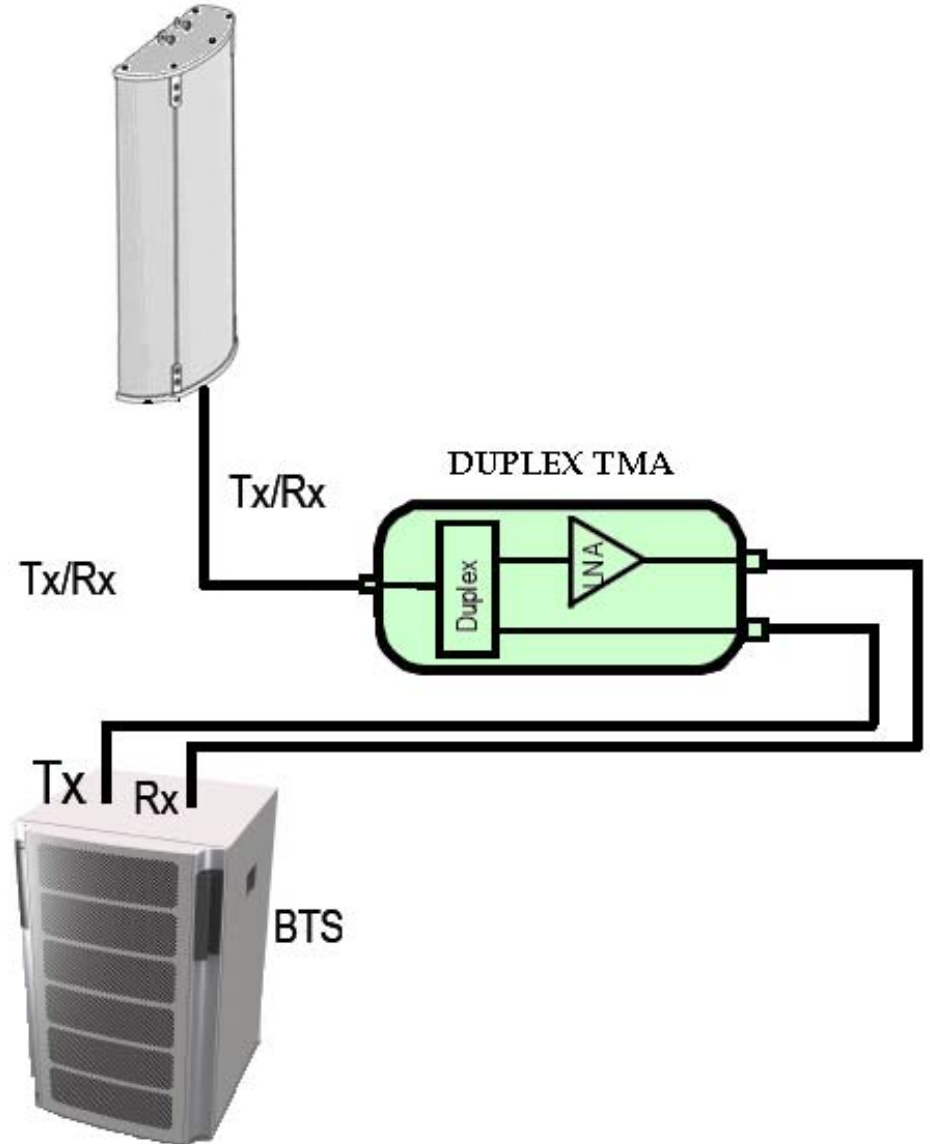


Ilustración 15: dúplex TMA

7.1.4.3 Dual Duplex TMA:

Es un Duplex TMA que nos permite el uso de un solo *feeder* hasta la BTS compartiendo Rx/Tx. Lo hace gracias a la inclusión de otro filtro duplexor. De esta manera podemos usar diversidad en la recepción. También es el encargado de dotar de alimentación del RET y hacer de interfaz entre este y la BTS

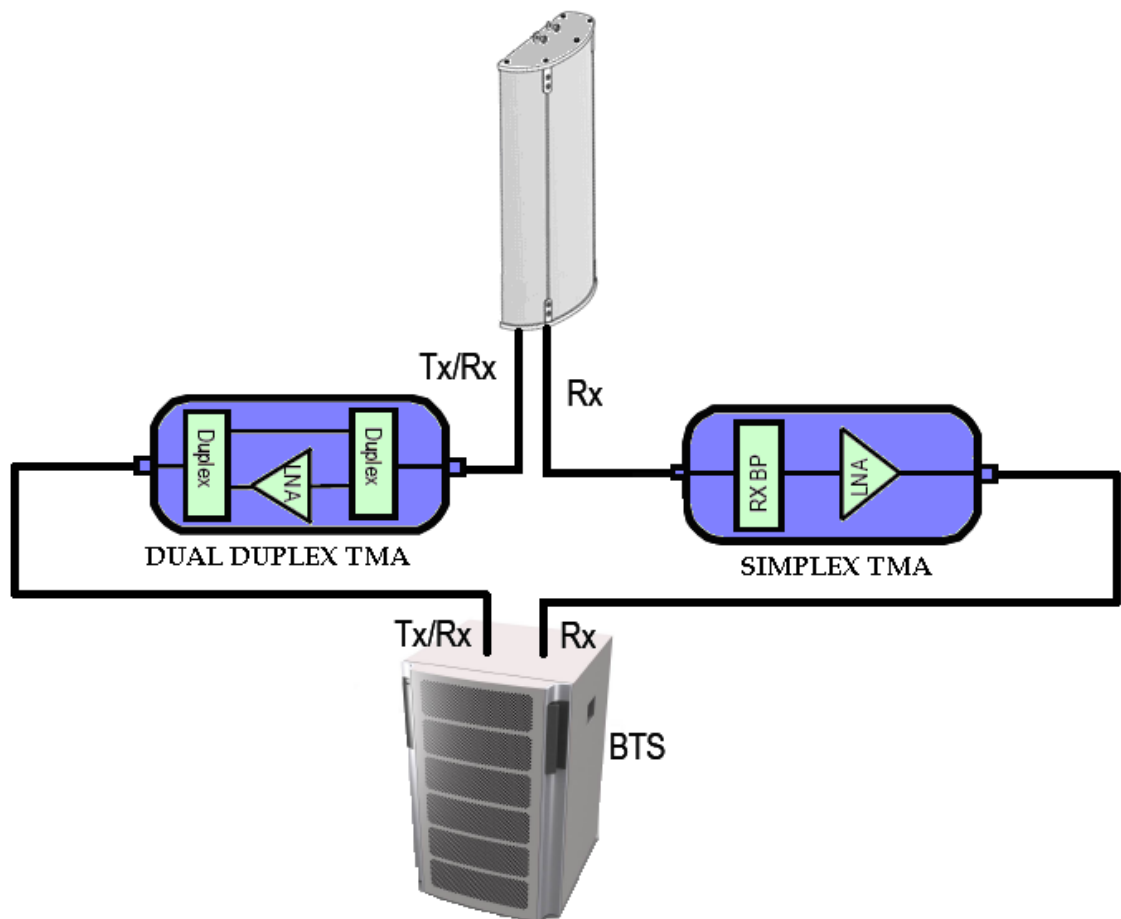


Ilustración 16: dual dúplex TMA

7.1.4.4 ASC.

Es un dual duplex TMA de alta ganancia para UMTS formado por dos elementos Tx/Rx que permite usar los dos feeders para uplink y downlink. También es el encargado de dotar de alimentación del RET y hacer de interfaz entre este y la BTS. Aunque los equipos suelen estar preparados para Tx/Rx por los dos feeders, sólo usaremos un cable para Tx/Rx y otro para Rx.

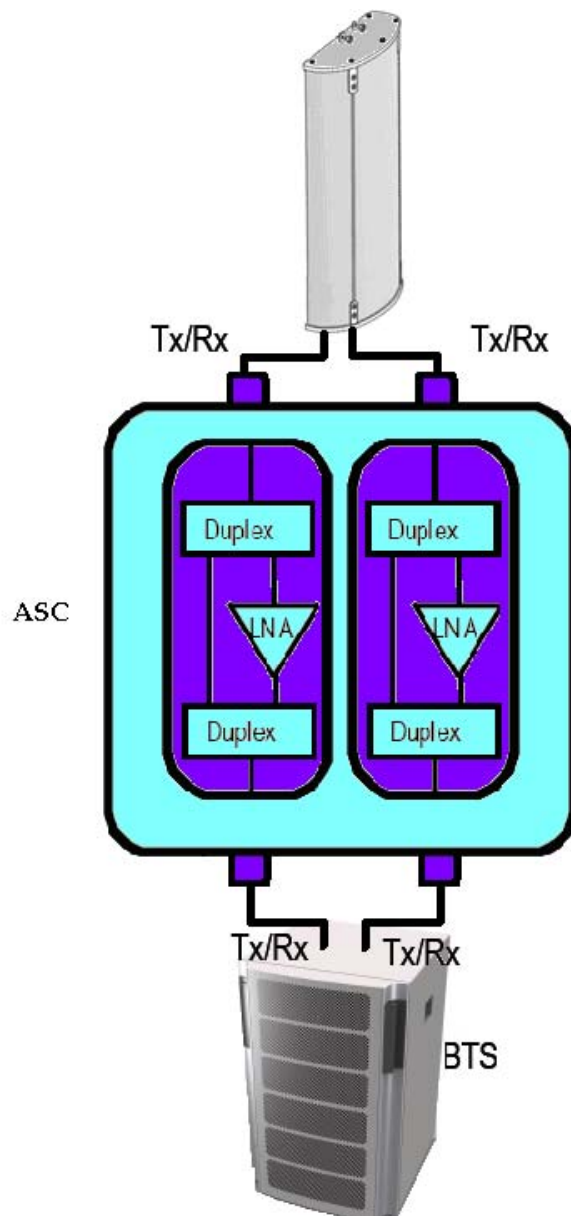


Ilustración 17: ASC

7.2 Feeders.

Los *feeders* o cables de alimentación se usan para conectar el bastidor de los equipos con los paneles, así pues se encargan de transportar la señal desde los transceptores hasta las antenas y viceversa. Las características principales de estos cables en cuanto a lo que para el diseño nos concierne son la impedancia, las pérdidas y el radio de curvatura. La impedancia será de 50Ω .

Las pérdidas de los *feeders* son dependientes de la frecuencia y aumentan a medida que sube la misma. A la hora del cálculo aproximado de las pérdidas tomaremos la frecuencia más alta de la banda de GSM 900 que será 960Mhz.

A medida que aumentamos la sección del *feeder* disminuirémos las pérdidas pero complicaremos la instalación de los mismos debido a que cuanto más sección tengan los *feeders* menor es la flexibilidad del mismo y por lo tanto aumentará el radio de curvatura. El radio de curvatura es el radio mínimo al que uno puede doblar el cable sin dañarlo ni acortar su vida útil.

Las medidas usuales de los *feeders* en telefonía móvil serán de 1/2", 7/8" y 1-5/8".

A continuación mostraremos las características de estos cables:

| feeder | Perdidas dB/100 m a 960Mhz | Radio de curvatura (cm) | Uso típico |
|--------|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1/2" | 11 | 3,2 | Hasta 25 metros |
| 7/8" | 5,09 | 12,5 | Entre 25 y 50 metros |
| 1-5/8" | 2,33 | 20 | Más de 50 metros |

Ilustración 18: tabla de feeders

Las conexiones con los paneles y con los bastidores se harán siempre con latiguillos de 1/2". Los latiguillos son secciones de cable de longitud no superior a los 1,5 metros.

Por ejemplo para que nos hagamos una idea de las pérdidas reales tendremos que:

- Para un cable de 1/2". Usado a su longitud máxima de 25 metros tendremos unas pérdidas de 2,75dB.
- Para un cable de 7/8" usado a su longitud máxima de 50 metros tendremos unas pérdidas de 2,5dB.
- Para un cable de 1 5/8" usado a 50 metros sus pérdidas serán de 1,15dB.

El coste de los cables aumenta conforme aumenta la sección de los mismos pero más aumenta el coste de la instalación de los mismos debido a que son bastantes más pesados y difíciles de manejar.

La instalación por ejemplo de los cables de sección 1 5/8" normalmente implican el uso de grúas debido a su elevado peso y reducida movilidad.

Así pues en los usos habituales se ha tenido en cuenta el compromiso entre las pérdidas de los cables y el coste total del uso de los mismos.