

Radiocomunicación

Radiodifusión

Tema 5

Índice

1 Introducción	3
2 Radiodifusión en ondas Hm	3
3 Análisis de cobertura.....	6
3.1 Cobertura limitada por ruido	6
3.2 Cobertura limitada por interferencia	7
3.3 Distancia de cobertura	8
3.4 Cobertura diurna y nocturna.....	9
4 Redes reticulares de frecuencia única	10
5 Redes reticulares de grupos de frecuencias.....	13

1- Introducción

Radiodifusión es la transmisión de una señal desde una estación transmisora a un conjunto de estaciones o terminales. Es una comunicación, por lo tanto, punto-multipunto. También puede definirse como un servicio de radiocomunicación cuyas emisiones están destinadas a la recepción directa por el público en general.

Por tanto en el estudio de este tema, no vamos a buscar dos puntos fijos como hacíamos en el tema anterior, si no que vamos a hacer que la señal al mayor número de usuarios.

El objetivo de la radiodifusión es el de proporcionar al mayor número de oyentes el máximo número de programas (información) con la mayor calidad posible.

Trabajando a frecuencias más bajas vamos a conseguir llegar a mayor número de usuarios, las bandas más utilizadas en la radiodifusión son las kilométricas (de 148.5 a 255KHz) y las hectométricas (de 526.5KHz a 1.6065 MHz). Actualmente se utilizan otras bandas como pueden ser DVB, en las cuales no se puede hacer propagación por espacio libre, o las comunicaciones móviles. Nosotros principalmente nos centraremos en las comunicaciones por ondas hectométricas.

En las redes de radiodifusión no se utilizan repetidores intermedios ni estaciones nodales, tienen por lo general una estructura jerárquica en donde se pueden encontrar diversos tipos de estaciones:

- Central generadora de datos (por ejemplo el Pirulí)
- Red de transporte
- Red primaria
- Red secundaria

La idea es una distribución en forma de anillo. Las diferentes estaciones se comunican con las estaciones base. El conmutador conmuta entre las estaciones base.

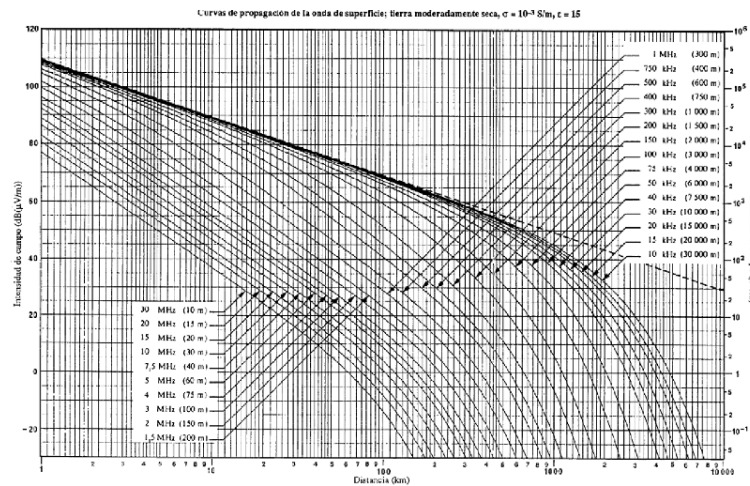
2- Radiodifusión en ondas Hm

En la banda de frecuencias de las ondas hectométricas (526.5-1606.5 KHz) nos encontramos con que existen 120 canales de 9KHz de ancho de banda cada uno. Siendo la modulación utilizada más frecuentemente la AM con un índice de modulación "m" en torno al 85%, aunque actualmente se tiende a la modulación digital.

Tenemos que hacer estudios de cobertura de las estaciones. El problema de la radiodifusión es que acerca tanto los transmisores cocanales que se pueden producir interferencias cocanales, que hacen que nuestra zona de cobertura y radio de cobertura disminuyan drásticamente, mucho más que si solo hubiera ruido.

Hay que intentar que una información use el mínimo número de canales, ya que la reutilización del mismo canal cada cierta distancia da lugar a estas interferencias, debido a que tenemos un número de canales limitados y queremos transmitir muchas informaciones distintas.

En este tipo de longitudes de onda utilizaremos una transmisión por onda de superficie o por onda ionosférica, a diferencia de temas anteriores en las que la transmisión era por onda directa. En este caso utilizaremos la recomendación de la UIT-P.368 para onda de superficie, en la cual nos facilitan unas gráficas que vienen referenciadas respecto a la intensidad de campo a una cierta distancia.



En el caso de utilizar onda de superficie, debemos tener en cuenta las propiedades dieléctricas del terreno, ya que a mayor conductividad, llegará más campo (por ejemplo llega más en agua que en tierra seca).

Además debemos tener en cuenta que a mayor frecuencia mayores pérdidas. En las gráficas proporcionadas por la recomendación tenemos como límite el espacio libre, pero ese caso nunca se da.

Si el trayecto de la onda de superficie es un trayecto mixto deberemos utilizar el método Millington.

La onda de superficie es bastante estable ya que no depende del día, hora mes ni año en el que nos encontremos, por tanto esta propagación es la adecuada si queremos que nuestro servicio llegue a los usuarios a cualquier hora y cualquier día.

En el caso de transmisión por onda ionosférica utilizaremos la recomendación UIT-P.1147. Hemos de tener en cuenta en este tipo de transmisiones factores que influyen en las capas de la ionosfera que hacen que esté más o menos cargada como puede ser la hora del día, el número de manchas solares, o la localización en la que nos encontremos (latitud y longitud).

La transmisión por onda ionosférica presenta problemas de interferencia cocanal ya que dependiendo de la hora del día las comunicaciones tienen una distancia de transmisión variable. Algunas de las ecuaciones de la recomendación vienen indicadas a continuación

$$E_0 = G_s - L_p + A - 20 \log(p) - L_a - L_r$$

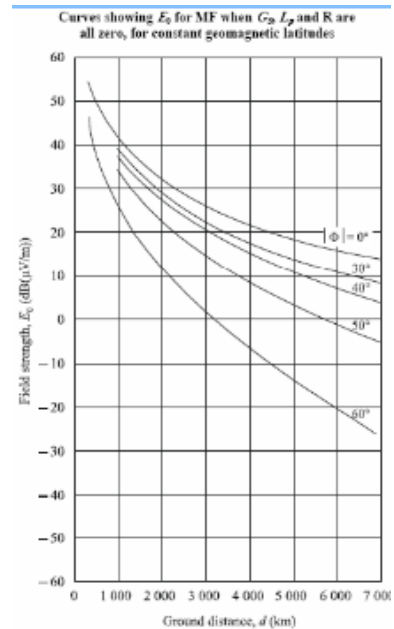
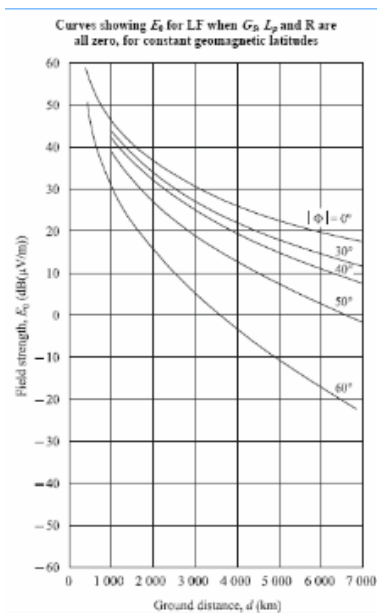
$$G_s = \begin{cases} G_0 - c_1 - c_2 & G_0 > c_1 + c_2 \\ 0 & G_0 \leq c_1 + c_2 \end{cases} \quad A = \begin{cases} 110,2 & \text{LF [30-300] kHz} \\ 107 & \text{MF [300-3000] kHz} \end{cases}$$

$$L_a = (2\pi + 4,954 \tan^2(LA)) \sqrt{\frac{p}{1000}} \quad p = \begin{cases} D & D > 1000 \text{ km} \\ \sqrt{D^2 + 40000} & D \leq 1000 \text{ km} \end{cases}$$

$$L_p = \begin{cases} 180(36 + \theta^2 + 1)^{-1/2} - 2 & I \leq 45^\circ \\ 0 & I > 45^\circ \end{cases} \quad L_r = \begin{cases} 0 & \text{LF} \\ 0 & \text{MF y LA} \leq 45^\circ \\ \frac{LA - 45}{3} \frac{R}{100} \frac{p}{1000} & \text{MF y LA} > 45^\circ \end{cases}$$

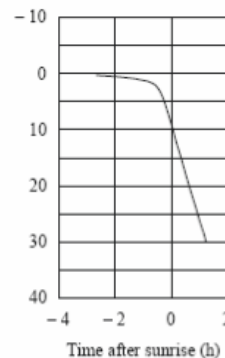
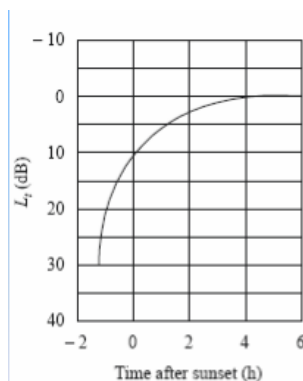
También disponemos de unas graficas en las cuales algunos valores se suponen como 0.

$$E_0 = A - 20 \log(p) - L_a$$



Ademas dependiendo de la hora del dia y siempre que esta difiera de las 00:00 hay q realizar un ajuste en el campo recibido, de manera:

$$E = E_0 - L_t$$



Necesitamos conocer cómo va a afectar la ionosfera ya que se puede dar el caso de que parte de la información se escape de la onda de superficie.

3- Análisis de cobertura

3.1- Cobertura limitada por ruido

Un sistema limitado por ruido es aquel en el que el campo mínimo utilizable sólo depende del campo de ruido.

$$E_{mu} = \frac{S}{N} + E_n$$

$$E_n = F_{am}(dB) + 20\text{Log}(f(\text{MHz})) + 10\text{Log}(B(\text{Hz})) - 95.5$$

Las ondas hectométricas son sistemas muy ruidosos que dependen en gran medida de la hora del día por lo que hay que recordar siempre que las cosas cambian mucho entre el día y la noche.

El ruido es el que capta la antena y sólo depende de la forma de la antena, por tanto para que la información llegue a todos los usuarios, éstas deberán ser omnidireccionales.

$E_{mu} = \text{Cte}$ de un día para otro.

Tenemos que tener en cuenta en la radiodifusión varios conceptos:

- Zona de cobertura: Es la zona en la cual se recibe información independientemente de la distancia al emisor.
- Radio de cobertura: Es la zona en la cual se recibe el nivel mínimo de campo para una correcta demodulación de la información.

En los sistemas limitados en ruido al aumentar la potencia se mejora la zona de cobertura y el radio de cobertura aumenta.

Para la resolución de problemas de este tipo utilizaremos las gráficas de la comunicación por onda de superficie, las cuales están caracterizadas por utilizar una **PRAVC de 1KW**, de este modo, si por ejemplo tenemos:

$$\text{PRAVC}=100 \text{ Kw}; E_{mu}=60 \text{ dBu}; f=1\text{MHz}; \epsilon = 40; \sigma = 3 \cdot 10^{-2} \text{ S/m}$$

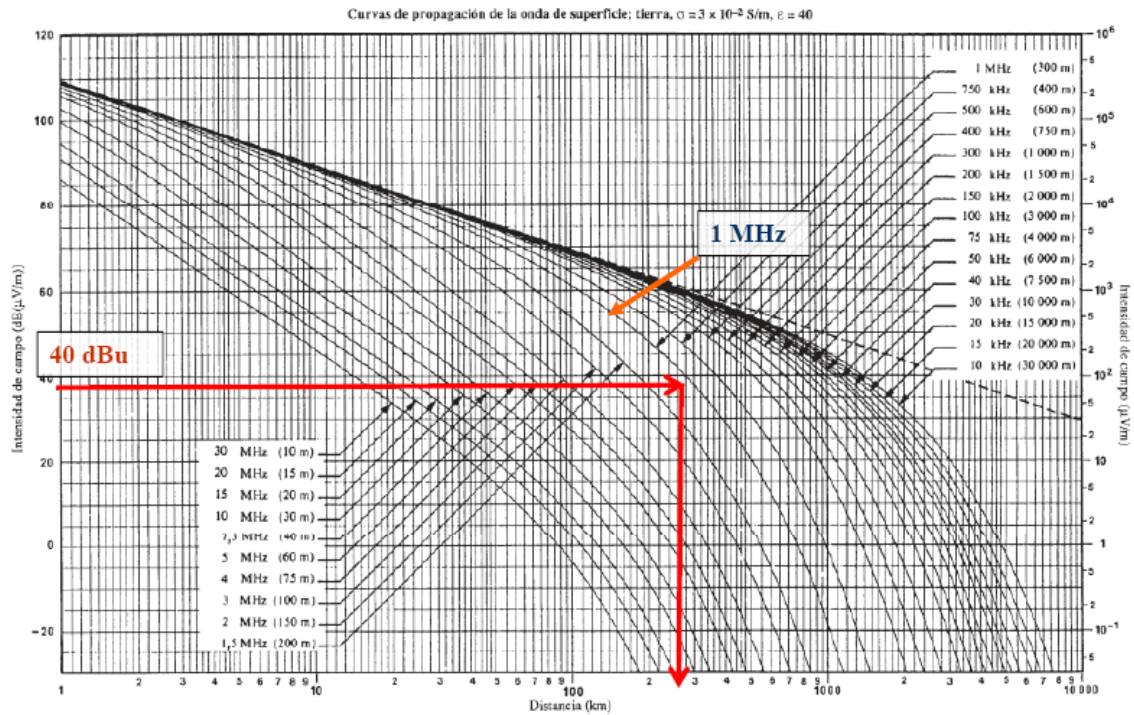
No podemos mirar directamente en la gráfica, de modo que, como la potencia es proporcional al campo al cuadrado:

$$100\text{dBKw} \rightarrow 60 \text{ dBu}$$

$$0\text{dBw} \rightarrow x$$

$$X=40 \text{ dBu}$$

Y éste, será el valor que se mirará en las gráficas, obteniendo con ello un radio de cobertura de $R=268 \text{ Km}$



3.2- Cobertura limitada por interferencia

Un sistema limitado por interferencia viene determinado por la relación de protección y el campo emitido por la estación interferente.

El campo limitado por interferencia (E_{li}) es el campo mínimo necesario para poder extraer la información si solo se tiene en cuenta la presencia de interferencias.

$$E_{li} = Rp + E_{Tx_i}(D - R)$$

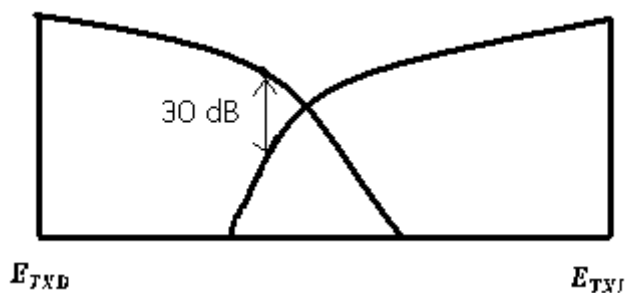
En el caso de ser múltiples fuentes interferentes:

$$e_{li} = \sqrt{\sum_{n=1}^N Rpn * e_{In}^2 (D - R)}$$

$$E_{li} = 10 \log(N) + Rp + E_{Tx_i}(D - R)$$

Ejemplo

PRAV=100 kw; D=400 Km; RP=30 dB; 6 fuentes interferentes



El radio de cobertura viene delimitado en este caso por 30dB de diferencia entre el campo deseado y el interferente.

$E_{Txd}(D < R) > E_{li} \rightarrow$ Hay cobertura

$E_{Txd}(D = R) = E_{li} \rightarrow$ Límite de cobertura

$E_{Txd}(D > R) < E_{li} \rightarrow$ No hay cobertura

d	$E_{TXD}(d)$	$E_{TXI}(D-d)$	$E_{li} = E_{TXI} + RP + 10\log(6)$
268 km	40 + 20 dBu	56.2 + 20 dBu	114 dBu
150 km	54 + 20 dBu	41 + 20 dBu	98.78 dBu
70 km	66 + 20 dBu	28 + 20 dBu	85.78 dBu
50 km	70 + 20 dBu	30 + 20 dBu	87.78 dBu

Luego tenemos que el radio de cobertura es 70 km, ya que es el valor límite en el que se cumple que

$E_{TXD}(d) > E_{li}$

Mencionar también que como mucho tiene que haber 1 dB de diferencia entre E_{TXD} y E_{li}

- Nota: Se le suma 20 a $E_{TXI}(D-d)$ y $E_{TXD}(d)$ debido al motivo que se explicó en el punto (3.1)

En los sistemas limitados por interferencia para aumentar la cobertura hay q aumentar la distancia entre transmisores.

3.3- Distancia de cobertura

Si no predomina claramente el efecto de la interferencia sobre el ruido, o del ruido sobre la interferencia será necesario tener en cuenta los dos efectos. Estos efectos se sumarán en

unidades de potencia, dando lugar al campo utilizable (E_u). Este campo será el campo mínimo necesario para poder extraer la información.

$$e_u = \sqrt{e_{mu}^2 + e_{li}^2} = \sqrt{e_{mu}^2 + \sum_{n=1}^N Rpn * e_{In}^2 (D - R)}$$

La zona de cobertura será aquella en la que se cumple la siguiente condición:

$$E_{TXD}(d = R) = E_u$$

Se trata de una fórmula recursiva, que se puede solucionar dando valores a R hasta que se cumpla la condición descrita

3.4- Cobertura diurna y nocturna

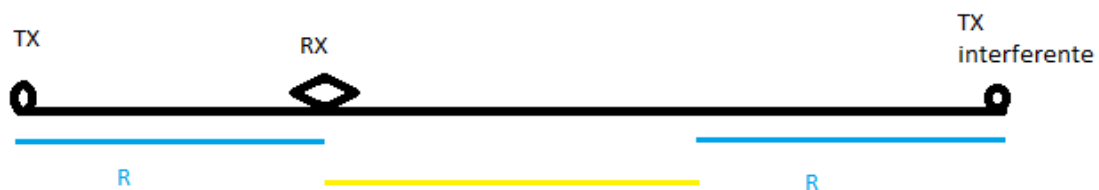
El servicio se va a ofrecer a través de la propagación por ondas de superficie, por tanto las interferencias debidas a las ondas de ionosfera serán limitadas.

- Por el día se trata de un sistema limitado por potencia o ruido, siendo el radio de cobertura $R \approx 100 \text{ Km}$.
- Por la noche se trata de un sistema limitado por interferencia. Se puede ofrecer servicio tanto por onda de superficie como por onda ionosferica, pero en cualquier caso, las interferencias por onda ionosferica van a aumentar considerablemente.

Se define el factor de cobertura como:

$$c = \frac{\pi * R^2}{\frac{\sqrt{3}}{2} D^2}$$

Si las coberturas están por debajo del 100%, quiere decir que quedarían “huecos en blanco” sin cubrir, como en el siguiente ejemplo:



Como se puede apreciar en esta figura, en la zona representada en color amarillo no estará llegando lo que transmite ninguno de los dos transmisores. Para aumentar la cobertura, habrá que bajar la relación de protección, RP.

SOLUCIONES

- PTX variable
- Emisores categoría A
 - Servicio por Onda Ionosferica
 - Limitaciones máximas:
 - Día → 100 KW
 - Noche → 50 KW
- Emisores categoría B
 - Servicio por Onda de Superficie
 - Limitación máxima de 50 KW
- Emisores categoría C
 - Servicio por Onda de Superficie
 - Limitación máxima de 1 KW
 - Canales de baja potencia

Esta clasificación en distintos tipos de emisores es muy útil a la hora de la fabricación ya que se hará de una manera estandarizada.

- Redes sincronizadas

Esta técnica consiste en sustituir un transmisor por N transmisores sincronizados cocanales con igual información.
Si transmito con P KW, esta potencia la tendremos que dividir entre los N transmisores.
De esta manera, poniendo N antenas con menos potencia conseguiremos transmitir con menos interferencias que si ponemos una única antena de mucha potencia.
Reduciendo las interferencias conseguimos aumentar la cobertura global.

4- Redes reticulares de frecuencia única

A la hora de colocar los transmisores hay que tener en cuenta la distancia cocanal.

Para obtener la proporción de área cubierta surge el concepto de **Rombo Cocanal**. A mayor R, mayor será el área que cubrimos y por tanto mayor será la cobertura.

Si mantenemos la R, a mayor tamaño del rombo peor será la cobertura.

$$N^{\circ} \text{ de canales para dar servicio al } 100\% \text{ de los usuarios} = \frac{100}{c} = \frac{1}{c}$$

Queremos que el 100% de los usuarios accedan a la misma información. En el caso del 200%, se podrán enviar dos informaciones distintas usando el mismo canal, por tanto, con la misma red reticular estaremos dando el doble de cobertura.

Para contar el número de fuentes interferentes se habla de los **anillos interferentes**.

Si nos dicen que queremos una cobertura C, para calcularla debemos tener en cuenta las siguientes expresiones:

$$e_u = e_{TXD}(R)$$
$$e_u = \sqrt{e_{mu}^2 + \sum_{n=1}^6 rp_n * e_{in}^2(D - R)}$$

A mayor distancia cocanal necesitaremos menos número de transmisores:

$$N^{\circ} \text{ de transmisores cocanales} = \frac{S_{total}}{S_{rombo}}$$

¿Cuántas veces se asigna la misma frecuencia?

$$N^{\circ} \text{ de frecuencias asignadas} = N^{\circ} \text{ transmisores} * N^{\circ} \text{ canales}$$

Siendo el número de canales 120. Cuanto mayor sea el número de frecuencias asignadas mejor.

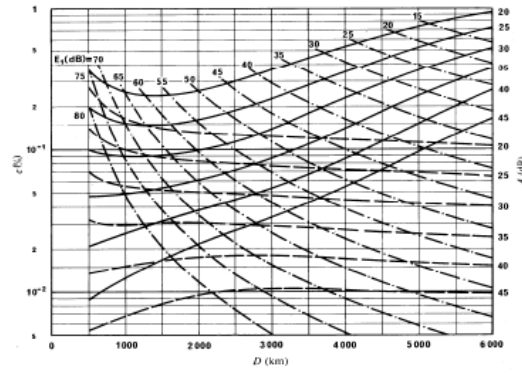
Estudios de cobertura de redes reticulares de frecuencia única

- Método A
- Ruido despreciable → tenemos un sistema limitado por interferencia
- $\sigma = 3 \text{ ms/s}$
- $f = 1 \text{ MHz}$
- Dos anillos (18 fuentes interferentes)
- Se extiende por Europa y África

Teniendo una distancia fija, la relación de protección puede hacer que disminuya la cobertura.

La cobertura no depende de la potencia.

Para este método podemos usar la siguiente gráfica, en la cual viene representado en línea continua el valor de la relación de protección en dBs en función de la distancia para una transmisión por onda ionosférica tipo 1. En línea discontinua tenemos el valor de A para una transmisión por onda ionosférica tipo 2.

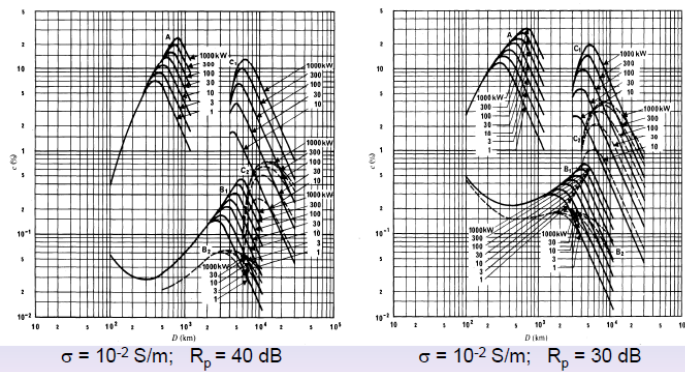


- Método B

En el método B tendremos en cuenta tanto el ruido como la interferencia.

- $E_{mu} = 60 \text{ dBu}$
- $\sigma = 10^{-2} \text{ ms/s}$
- $f = 1 \text{ MHz}$
- Un anillo
- Se extiende por Europa y África
- RP=40 dB

En esta ocasión utilizaremos graficas como esta:



Tenemos que tener cuidado de observar la relación de protección que tenemos, la conductividad del medio, el tipo de transmisión, la hora del día y la distancia entre estaciones.

En cada grafica se pueden observar 3 zonas, las cuales dependen de la potencia de transmisión.

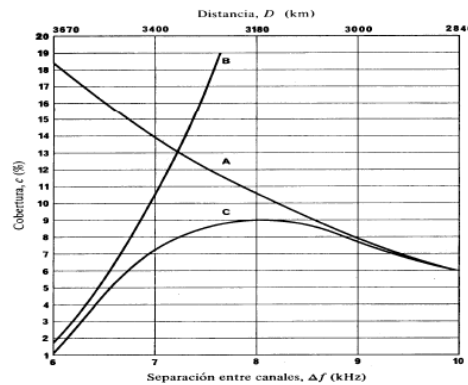
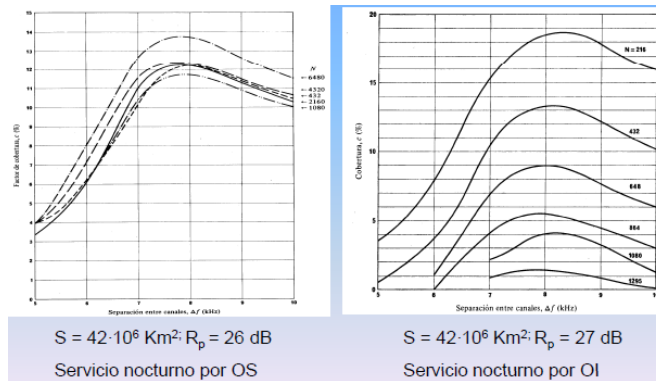
- La primera es la zona de subida, en esta zona el sistema está limitado por interferencia, debido a que las estaciones están muy cerca. La forma de solucionar esto es aumentar la distancia entre estaciones.
- La segunda es el punto máximo de la curva, este es el punto óptimo ya que no tenemos ningún tipo de limitación.
- La última de las zonas está limitada por ruido. La forma de solucionarlo es aumentar la potencia de transmisión, pero hemos de tener cuidado en no entrar en una zona limitada por interferencia.

Aparte de las zonas hemos de tener en cuenta el tipo de transmisión y la hora del día, para ello disponemos de distintas familias de curvas:

- A: Transmisión por onda de superficie durante el día → Pequeñas coberturas, pequeñas distancias.
- B: Interferencia ionosférica tipo 1 y 2, servicio por onda de superficie nocturno.
- C: Servicio por onda ionosférica nocturno.

- Método C

Este método nos muestra el factor de cobertura en función de la separación entre canales. El número de transmisores en este caso es constante.

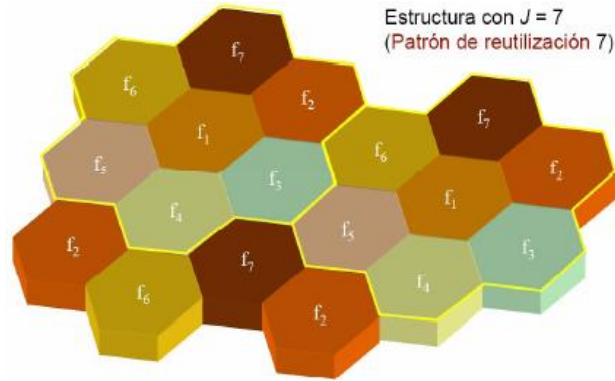


- Curva A: Cobertura en presencia de interferencia cocanal.
- Curva B: Cobertura en presencia de canal adyacente.
- Curva C: Cobertura en presencia tanto cocanal como de canal adyacente.

5 Redes reticulares de grupos de frecuencias

Antes de colocar los transmisores hay que agrupar frecuencias. En las redes reticulares lo que hacemos es dividir en hexágonos las frecuencias utilizadas, de manera que en hexágonos adyacentes las frecuencias utilizadas no son las mismas. Se usan hexágonos ya que

es la forma geométrica que nos permite recubrir todas las zonas sin dejar huecos en blanco. Otra opción es dividir estos grupos de frecuencias en más hexágonos con grupos de frecuencias.



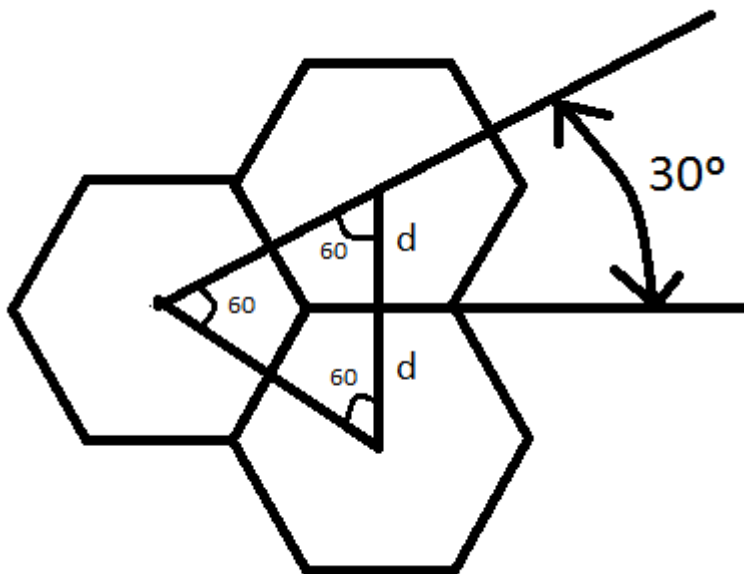
Lo primero será agrupar en frecuencias, es decir, el número de canales totales que tengo entre el número de grupos:

$$\frac{120 \text{ canales totales}}{J} = x \text{ canales por cada tx}$$

Donde J= número de grupos

La superficie de cada una de las celdas será:

$$S_{hex} = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot R^2$$



Siendo $d \equiv$ distancia entre transmisores contiguos

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

Número rómbico

El paso de células tiene que ser un número entero, tiene que haber un número entero de células que se pasen

$$D = \sqrt{(a2d)^2 + (b2d)^2 - 2ab(2d)\cos(120)} \Rightarrow D^2 = 2d[a^2 + b^2 + ab] = (2d)^2 = J$$

Los valores de a y b serán enteros iguales o superiores a 0. Solamente indican el J en que agrupar los 120 canales.

Al grupo de células sin canales repetidos lo llamamos racimo. Este racimo es el que tiene los 120 canales.

Tenemos que tener en cuenta que J no puede ser cualquier valor, ya que hay algunos con los que no puedo hacer distribuciones regulares.

$$D^2 = (2d)^2 J = \left(2 \frac{\sqrt{3}}{2} R\right)^2 J = 3R^2 J$$

$$J = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R}\right)^2$$

Vamos a calcular la superficie del racimo:

$$S_{racimo} = J \cdot S_{célula} = \frac{1}{3} \frac{D^2}{R^2} \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} D^2 \equiv \text{rombo cocanal}$$

Dentro de un racimo no se podrá utilizar la misma frecuencia, lo que se hace es repartir frecuencias según el número rómbico:

$$n^{\circ} \text{ reutilización} = \frac{S_{total}}{S_{racimo}}$$

$$n^{\circ} \text{ frecuencias asignadas} = \frac{S_{total}}{S_{racimo}} \cdot n^{\circ} \text{ frecuencias total}$$

Haremos la superficie del racimo lo más pequeña posible \rightarrow Con $J \downarrow$ o con superficie de cada célula \downarrow