

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ



Instalación de repetidor en banda VHF para protocolo DNP 3.0

Memoria de Residencia Profesional

Que Presenta:

Miguel González Trujillo.

Para Obtener Título de
Ingeniero Electrónico

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Diciembre de 2011.



Índice:

| | Pag. |
|---|-------------|
| Resumen ----- | 1 |
| I. Introducción | |
| 1. Antecedentes ----- | 1 |
| 2. Definición del problema----- | 1 |
| 3. Objetivo ----- | 1 |
| 4. Justificación ----- | 2 |
| 5. Hipótesis----- | 2 |
| II. Fundamento teórico | |
| 1.-Radiocomunicaciones. ----- | 2 |
| 1.1.-Transmisión y recepción.----- | 3 |
| 1.2.-Ondas UHF (<i>Ultra High Frequency</i> , 'frecuencia ultra alta').----- | 3 |
| 1.3.-Radioenlaces.----- | 4 |
| 1.3.1.-Introducción.----- | 4 |
| 1.3.2.-Estructura General de un Radioenlace.----- | 6 |
| 1.3.3.- Propagación en el Espacio Libre.----- | 6 |
| 1.3.4.- Modificaciones al espacio Libre.----- | 11 |



MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL
Instalación de repetidor en banda VHF para protocolo DNP 3.0

| | |
|--|----|
| 1.3.5.- Caso Particular de la radio propagación de ondas deci, centi y milimétricas.----- | 17 |
| 1.3.6.- Propagación en la tropósfera----- | 17 |
| 1.3.6.1.- Refracción.----- | 17 |
| 1.3.6.2.- Distribución estadística de K (Eficiencia de la antena) ----- | 20 |
| 1.3.6.3.- Absorción.----- | 21 |
| 1.3.6.4.- Dispersión. ----- | 22 |
| 1.3.7. <i>Protocolo DNP 3.0.</i> ----- | 23 |
| 1.3.8. <i>Punto a multipunto, sistemas de múltiples direcciones.</i> ----- | 24 |
| 1.3.9. <i>Radio modem MDS-4710.</i> ----- | 25 |
| III. Método. ----- | 27 |
| IV. Resultados. ----- | 28 |
| V. Conclusiones y recomendaciones. ----- | 29 |
| VI. Fuentes consultadas. ----- | 30 |



Resumen:

En la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se tiene la necesidad de generar comunicaciones eléctricas con determinadas características como el monitoreo de la calidad de la energía de las diferentes redes eléctricas con que se cuenta en la “zona Tuxtla Gutiérrez”. En el área de control se migro la subestación denominada La Garza a la banda de los 400 MHz, por lo cual fue necesario instalar un repetidor en esta banda, para que este enlace se pudiera realizar.

I.-Introducción.

1. Antecedentes:

En la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se tiene la necesidad de generar comunicaciones eléctricas con determinadas características como el monitoreo de la calidad de la energía de las diferentes redes eléctricas con que se cuenta en la “zona Tuxtla Gutiérrez”. Se debe emprender la tarea de seleccionar el sistema óptimo para satisfacer el servicio requerido.

Se tiene enlazada la subestación denominada “La Garza” en la banda VHF. Para el monitoreo y control de esta subestación, se cuenta con dos Unidades Terminales Remotas. Este enlace es poco confiable ya que están en la misma frecuencia que el enlace de los equipos de radiocomunicación y si por algún motivo el canal de comunicación se encuentra ocupado por algún radio, el equipo pierde la comunicación con su Unidad Central Maestra.

2. Definición del problema:

Se requiere migrar el enlace de la subestación “La Garza” a la banda de los 400 MHz para mejorar la comunicación con la Unidad Central Maestra de la Zona Tuxtla. Para que el enlace se lleve a cabo es necesario implementar un nuevo repetidor que tenga línea de vista con el repetidor de “Yalentay” y esta subestación, ya que no hay enlace directamente de la subestación con el repetidor de Yalentay.

3. Objetivo.

Instalación de repetidor en la banda de los 400 MHz para enlazar la Unidad Terminal Remota (UTR) de la subestación “La Garza” con la Unidad Central Maestra (UCM).



4. **Justificación.**

Se implementaran radioenlaces en la banda UHF (frecuencia ultra alta) basadas en repetidores de visión directa, ya que cuenta con factores como: tecnología de punta, posibilidad de expansión, facilidad de modernización, disponibilidad de la información para modificaciones propias, etc. Además de que técnica y económicamente resulta más adecuada y de mayor beneficios.

Se migrara la Unidad Terminal Remota que se encuentran en la subestación de “La Garza” a la banda de los 400 MHZ, debido a que no hay un buen enlace entre esta subestación y el repetidor mas cercano, que se encuentra en “Yalentay” y se requiere de otro repetidor para que esta subestación pueda comunicarse con la Unidad Central Maestra, esto beneficiara al departamento de Control de la Comisión Federal de Electricidad, para monitorear y controlar las diferentes redes eléctricas de la subestación.

5. **Hipótesis**

El repetidor denominado “Gaymas”, será instalado desde una torre de 12 m. Dos radio módems MDS-4710 haran la función del repetidor por medio de dos antenas, una dirigida hacia la subestación “La Garza” y la otra hacia el repetidor de “Yalentay”. Para alimentar los radios se utilizaran dos baterías de 12 V/100 Amperes Hora, las cuales se cargaran constantemente por medio de dos paneles solares.

El enlace será de la UCM hacia el repetidor de Yalentay, este se comunicara con el nuevo repetidor “Gaymas” y se enlazara hacia la UTR de la subestación La Garza.

II. **Fundamento Teórico.**

1.-Radiocomunicaciones

La radiocomunicación es una forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas hertzianas, la que a su vez está caracterizada por el movimiento de los campos eléctricos y campos magnéticos. La comunicación vía radio se realiza a través del espectro radioeléctrico cuyas propiedades son diversas dependiendo de su bandas de frecuencia. Así tenemos bandas conocidas como baja frecuencia, media frecuencia, alta frecuencia, muy alta frecuencia, ultra alta frecuencia, etc. En cada una de ellas, el comportamiento de las ondas es diferente.



Aunque se emplea la palabra *radio*, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidos en esta clase de emisiones de radiofrecuencia.

1.1-Transmisión y recepción

Una onda de radio se origina cuando una partícula cargada (por ejemplo, un electrón) se excita a una frecuencia situada en la zona de Radiofrecuencia (RF) del espectro electromagnético.

Cuando la onda de radio actúa sobre un conductor eléctrico (la antena), induce en él un movimiento de la carga eléctrica (corriente eléctrica) que puede ser transformado en señales de audio u otro tipo de señales portadoras de información.

El emisor tiene como función producir una onda portadora, cuyas características son modificadas en función de las señales (audio o video) a transmitir, propagando la onda portadora así modulada.

El receptor capta la onda y la demodula para hacer llegar al espectador o usuario tan solo la señal transmitida.

Los componentes fundamentales de un transmisor de radio son un generador de oscilaciones (oscilador) para convertir la corriente eléctrica común en oscilaciones de una determinada frecuencia de radio; los amplificadores para aumentar la intensidad de dichas oscilaciones conservando la frecuencia establecida y un transductor para convertir la información a transmitir en un voltaje eléctrico variable y proporcional a cada valor instantáneo de la intensidad.

1.2. Ondas UHF (Ultra High Frequency, 'frecuencia ultraalta').

UHF (siglas del inglés *Ultra High Frequency*, 'frecuencia ultra alta') es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz, con una longitud de onda de 1 m a 100 mm. En esta banda se produce la propagación por onda espacial troposférica.



La transmisión punto a punto de ondas de radio se ve afectada por múltiples variables, como la humedad atmosférica, la corriente de partículas del sol llamada viento solar, y la hora del día en que se lleve a efecto la transmisión de la señal. La energía de la onda de radio es parcialmente absorbida por la humedad atmosférica (moléculas de agua). La absorción atmosférica reduce o atenúa la intensidad de las señales de radio para grandes distancias. Los efectos de la atenuación aumentan de acuerdo a la frecuencia. Usualmente, las bandas de señales de UHF se degradan más por la humedad que bandas de menor frecuencia como las ondas de muy alta frecuencia VHF. La UHF puede ser de más provecho por el ducto troposférico donde la atmósfera se calienta y enfría durante el día. *La principal ventaja de la transmisión UHF es la longitud de onda corta que es debido a la alta frecuencia.* El tamaño del equipo de transmisión y recepción (particularmente antenas), está relacionado con el tamaño de la onda. Las señales UHF viajan a través de trayectorias que son las líneas de vista. Las transmisiones generadas por radios de transmisión y recepción (transceptores) y teléfonos inalámbricos no viajan muy lejos como para interferir con otras transmisiones locales.

1.3. Radioenlaces

1.3.1-Introducción

Establecida la necesidad de generar comunicaciones eléctricas con determinadas características como la transmisión de datos, se debe emprender la tarea de seleccionar el sistema óptimo para satisfacer el servicio requerido. Para ello se implementaran radioenlaces en la banda de microondas basadas en repetidores de visión directa, ya que cuenta con factores como: tecnología de punta, posibilidad de expansión, facilidad de modernización, disponibilidad de la información para modificaciones propias, etc. Además de que técnica y económicamente resulta más adecuada



y de mayor beneficios. Estos *radioenlaces*, son similares a los de transmisión múltiplex por línea o cable, salvo que el portador no es físico sino radioeléctrico. Los radioenlaces de funcionan en las bandas del espectro por encima de los 900 MHz y abarcan desde los enlaces más convencionales de visibilidad directa hasta de los que hacen uso de la dispersión troposférica e incluso de la propagación extraterrestre. Existen sistemas de radioenlace punto-multipunto y multipunto-punto.

Estos se suelen utilizar casi siempre con visibilidad directa entre las antenas de emisión y recepción, en algunos casos pueden utilizarse en tramos sin visibilidad directa; teniendo en cuenta las pérdidas por difracción en obstáculos. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía. Cualquiera que sea la magnitud del sistema de UHF; para un correcto funcionamiento es necesario que las trayectorias entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región. Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto.

Ventajas e inconvenientes de los radioenlaces:

Seguidamente, se resumen las *ventajas generales de los radioenlaces*, en comparación con los sistemas de línea física:

- Volumen de inversión inicialmente más reducido.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.
- Pueden superarse las irregularidades del terreno.



MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL
Instalación de repetidor en banda VHF para protocolo DNP 3.0

- La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en la anchura de banda de trabajo.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

Por otra parte, estos sistemas presentan inconvenientes al compararlos con los de línea:

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces convencionales.
- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicio de conservación. Sin embargo crece el uso de generadores autónomos y baterías de celdas solares.
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable.
- Las condiciones atmosféricas adversas puedan ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica usar sistemas de diversidad con equipo auxiliar de conmutación.
- La gran linealidad requerida en los repetidores, supone un importante problema de diseño.

1.3.2-Estructura General de un Radioenlace:

Equipos:

Un radioenlace está constituido por equipos *terminales* y *repetidores* intermedios, como se observa en la siguiente figura 1.0 que da una representación esquemática:

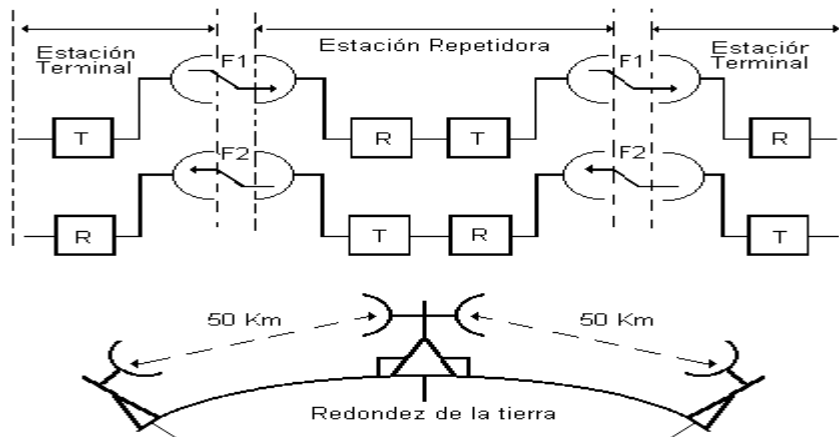


Figura 1.0.- Estructura General de un Radioenlace.

La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces que superen al horizonte óptico. La distancia entre repetidores se llama *vano*. Los repetidores pueden ser *activos* o *pasivos*. En estos últimos no hay ganancia y se limitan a cambiar la dirección del haz radioeléctrico por lo que comúnmente se les llaman *reflectores*.

1.3.3.- Propagación en el Espacio Libre:

En todo sistema de comunicaciones hay una *relación señal a ruido* (**S/N**) deseable.

El cociente se compone de la señal (S), que es el nivel de potencia en el receptor y del ruido (N) en ese mismo punto.

Comenzaremos por determinar el caso más simple, el de espacio libre, el valor de S . Posteriormente tendremos en cuenta dos factores que modifican el **valor de espacio libre**, la *presencia de atmósfera y suelo*.

La **Figura 1.1** muestra un transmisor **T** y un receptor **R** sin ningún tipo de medio y/u obstáculo entre ellos, eso será **espacio libre**.

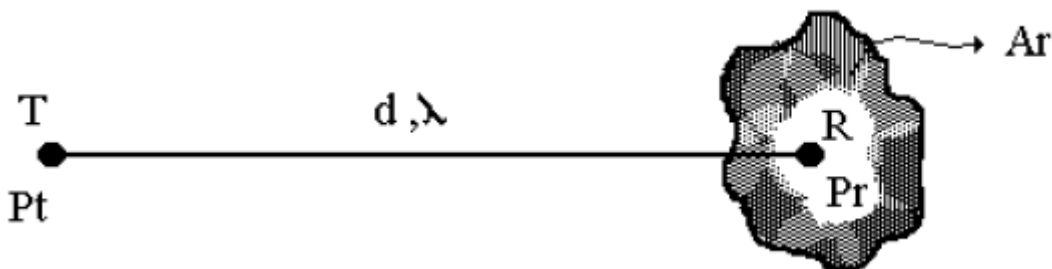


Fig. 1.1.- Espacio Libre

Si en **T** tenemos un radiador isotrópico de potencia **Pt** (*en Watts*) siendo **d** (*en metros*) la distancia **T** \geq **R**, la potencia por unidad de área (*módulo del vector de Poynting en el punto de recepción*)

será:

$$p_R = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (1.1)$$

Si la antena receptora tiene un área efectiva de **Ar** (m^2), la potencia recibida será:

$$P_R = p_r A_r \frac{P_t A_r}{4\pi d^2} \quad (1.2)$$



Si colocamos en **T** una antena de ganancia **G_t** será:

Pero como: $G_R = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_R$ es: $A_R = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$ (1.4)

Además: $A_R = \eta A_g$ donde A_g es el área física de la apertura y η es el rendimiento. Para antenas de radioenlaces terrenos, de diámetros de 3 m, el valor de η es .55 (55%), si se usan iluminadores “fuera de foco” (offset) se logran rendimientos del 73%, en satélites se usan antenas con iluminadores tipo bocina próximos (*físicamente*) a sub-refletores Gregorianos y reflectores especialmente diseñados por computadoras con lo que se logran η del 83%.

Entonces la potencia recibida en condiciones de espacio libre es:

$$P_R = \frac{(P_t G_t G_R \lambda^2)}{16\pi d^2} \quad (1.5)$$

O bien utilizando los decibeles:

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dB) + G_R(dB) - [20\log d(m) - 20\log \lambda(m) + 10\log 16\pi^2] \quad (1.6)$$

El último sumando (*entre los corchetes*) se llama **Pérdida o atenuación de espacio libre PEL**, que si se da **d** en Km y **f** en MHz (en vez de λ) resulta:

$$PEL(dB) = 20\log d(Km) + 20\log f(MHz) + 32.46 \quad (1.7)$$

D(θ, Φ)= DIRECTIVIDAD

$$DIRECTIVIDAD = \frac{\text{Intensidad de radiacion}}{\text{Intensidad de radiacion media (radiador isotrópico sin perdida)}} \quad (1.8)$$

$G(\theta, \Phi) = \text{GANANCIA}$

$$GANANCIA = \frac{\text{Intensidad de radiacion}}{\text{Intensidad de irradiacion del radio de referenica alimentado con la misma potencia}} \quad (1.9)$$

$G = G_0$ si el radiador de referencia es el radiador isotrópico.

$G_0 = kD$. Donde; $k = \text{Eficiencia de la antena en estudio}$ $0 \leq k \leq 10$

La **Figura 1.2.-** muestra un diagrama de irradiación típico:

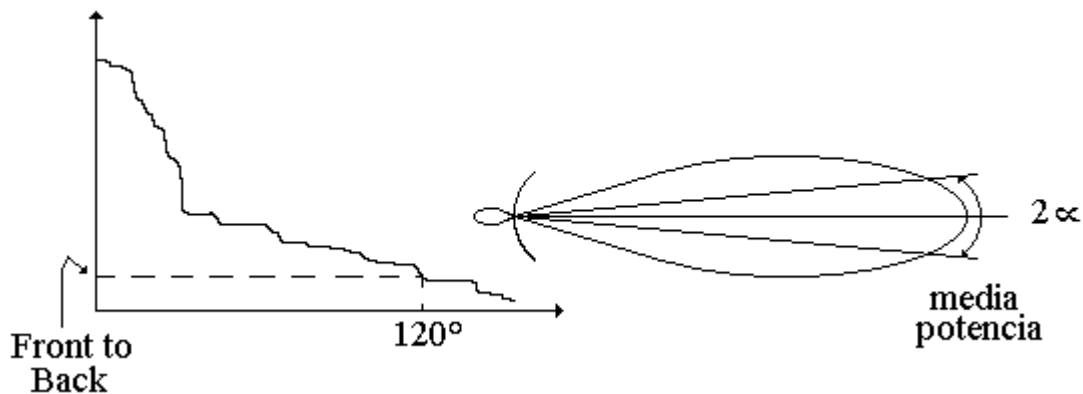


Fig. 1.2- Diagramas Cartesiano y Polar de la Ganancia.

El ángulo 2α correspondiente a los puntos de media potencia es de gran importancia (fórmulas para 2α : Entre 50 y 70 λ/D con λ y D en metros ó $68700/fD$ con f en MHz y D en pies [$D = \text{diámetro de la antena}$]), ya que si el ángulo es muy pequeño se requerirá que la torre que sostiene la antena sea

muy rígida (a la torsión y a flexión). Algunos valores típicos para 2α son: 450MHz 11.17°, 6GHz 0.83°, 11GHz 0.46°.

Por lo tanto a bajas frecuencias se utilizarán torres metálicas y a las altas frecuencias estructuras metálicas mucho más rígidas (y por lo tanto más costosas). ó estructuras de cemento como las de los centros de comunicación de las grandes urbes. Ver **Figura 1.3**.

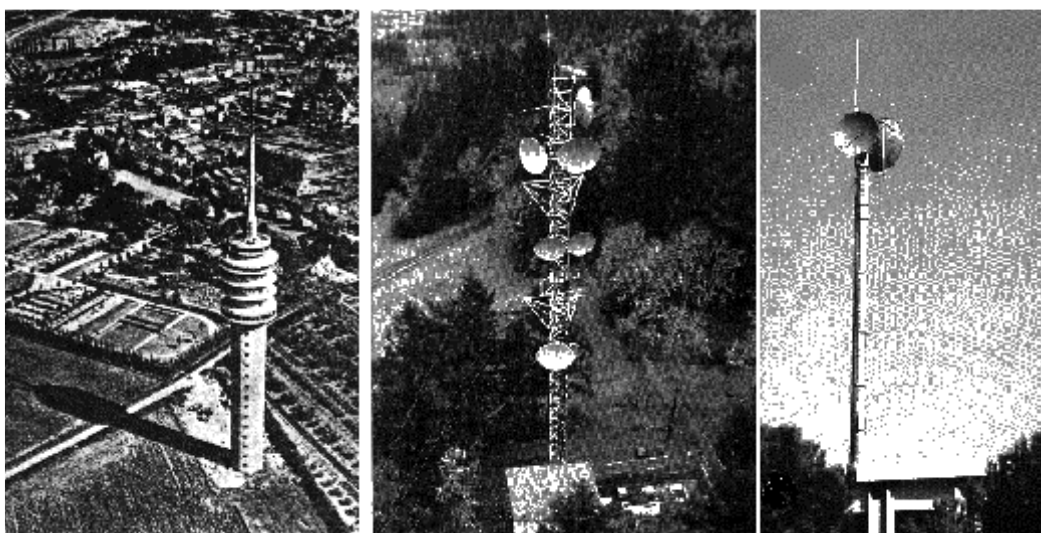


Figura 1.3.- Distintas estructuras de soporte de antenas.

1.3.4- Modificaciones al espacio Libre:

Como ya se dijo el espacio libre es una idealización muy difícil de encontrar en la realidad, en los casos más corrientes las antenas están en presencia de la **atmósfera** y el **suelo**.

Estos dos elementos modifican los niveles de señal de espacio libre a través de varios mecanismos, la **Figura 1.4** muestra las diversas zonas de la atmósfera y en esa zona, con la presencia del suelo, pueden presentarse 6 modos de propagación:

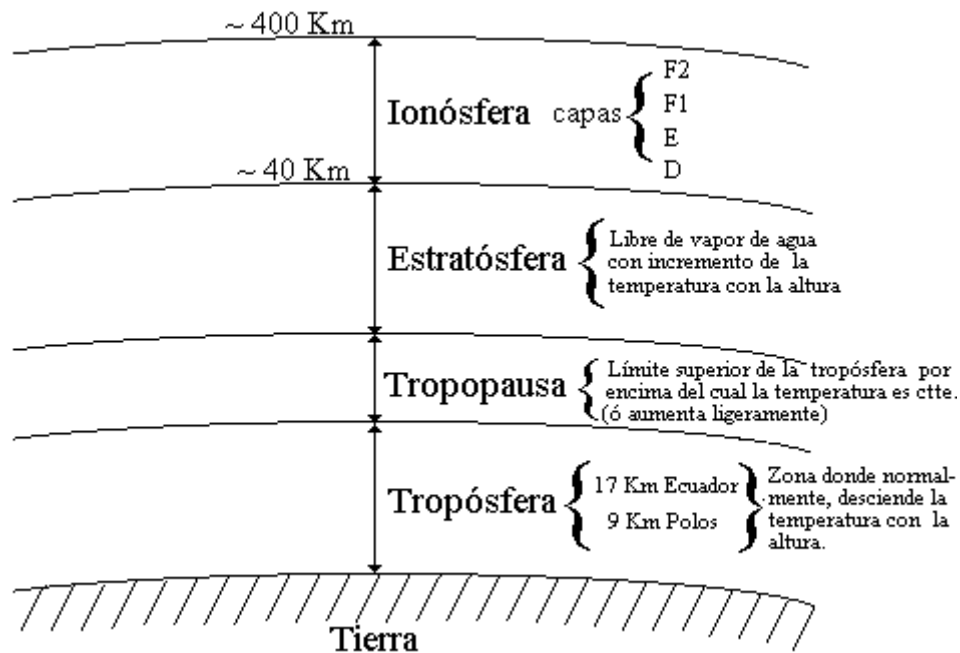


Fig. 1.4- Zonas de la Atmósfera

1. Espacio Libre. (Ideal).
2. Propagación a lo largo de un haz curvado por refracción en la tropósfera.
3. Propagación más allá del horizonte por difracción de la tierra.
4. Propagación más allá del horizonte por reflexión ionosférica.
5. Propagación más allá del horizonte por irregularidades en la tropósfera.
6. Propagación más allá del horizonte por repetidores. (En tierra o satélite).

Otra clasificación de las ondas de radio por su modo de propagación es la siguiente:

a) Propagación por onda terrestre:

- Onda superficial ú onda de tierra
- Onda espacial, compuesta de:
 - Onda directa, que es refractada por la tropósfera.

- Onda reflejada por la tierra ó agua

b) Propagación por onda troposférica dispersa

c) Propagación por onda de cielo ú onda ionosférica.

Lo anterior se observa en la **Figura 1.5.**

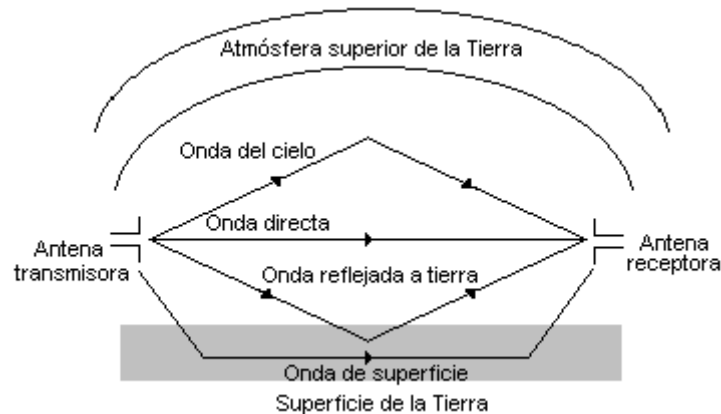


Fig. 1.5.- Modos normales de la propagación de ondas

Onda superficial ó de tierra:

Esta **onda** se llama **superficial ó de tierra** porque viaja por la superficie de la tierra, deben estar polarizadas **verticalmente**, pues si lo estuviesen horizontalmente el campo eléctrico se atenuaría rápidamente al generar intensas corrientes en la tierra que es conductora. La polarización vertical no impide las corrientes en la tierra pero las minimiza. Por lo tanto, estas ondas de tierra polarizadas verticalmente se atenúan a medida que se propagan y lo hacen mejor cuanto mayor sea la conductividad de la superficie, tal es el caso del agua salada y áreas desérticas muy áridas. Las pérdidas de las ondas de tierra se incrementan con la frecuencia lo que las limita generalmente a frecuencias por debajo de 2 MHz.

La onda de tierra se usa en radiodifusión de AM (modulación de amplitud), en comunicaciones marítimas (barco a barco y barco a tierra), para la radionavegación y difusión de estándares de tiempo. Su utilización tiene algunas desventajas:

1. Requieren de potencias de transmisión relativamente altas.
2. Están limitadas a frecuencias muy bajas, bajas y medias (VLF, LF y HF).
3. Las pérdidas por tierra varían considerablemente con las características de la superficie.

Dos ventajas importantes:

1. Con suficiente potencia de transmisión, la onda de tierra puede comunicar dos ubicaciones cualesquiera en el mundo salvando las irregularidades del terreno.
2. Las ondas de tierra no son muy afectadas por los cambios atmosféricos.

La **Figura 1.6** ilustra esta onda de tierra y las componentes de la espacial que se describe en lo que sigue.

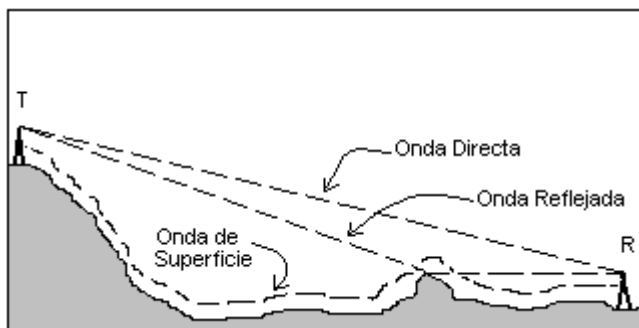


Fig.1.6.- Ondas Terrestres

Onda espacial:

La **onda espacial** se compone la **onda directa**, que viaja esencialmente en línea recta entre la antena transmisora y la receptora por lo que se la llama *transmisión de línea de vista (LOS)* ó *visión directa*, lo que limita su alcance debido a la curvatura de la tierra, y la **onda reflejada**, cuyo efecto de concurrir al punto de recepción conjuntamente con la onda directa puede ser aditivo o

substractivo, dependiendo del camino que recorra la onda reflejada, de su polarización, de las características de la superficie en el punto de reflexión, etc.

Tanto la onda directa como la reflejada transitan por la tropósfera y son muy afectadas por esta como se verá dentro de poco. El esquema de la propagación se muestra en la **Figura 1.7**.

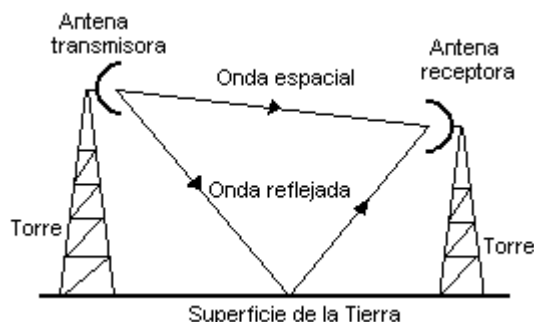


Fig. 1.7.- Propagación de ondas espaciales

La Figura 1.7 ilustra este mecanismo, muy común en frecuencias ultra altas.

Propagación por onda troposférica dispersa:

Esta propagación llamada también **por dispersión troposférica**, se basa en que cuando se hacen incidir potencias grandes (del orden de KW) en la tropósfera, las irregularidades de ésta hacen que una parte muy pequeña de esa potencia regrese a la tierra y pueda establecerse así una comunicación. Este mecanismo muy en uso en los 50 y 60, cayó en desuso con las técnicas satelitales. Lo anterior se observa en la **Figura 1.8**.

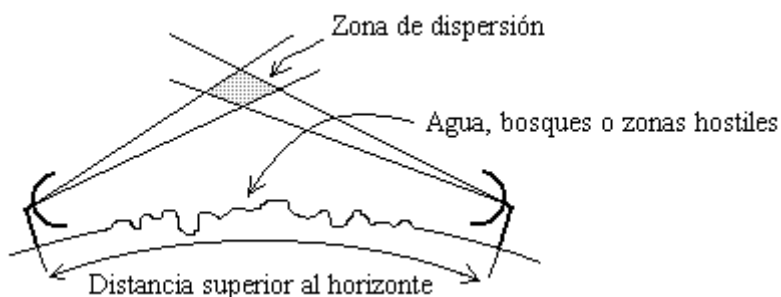


Fig. 1.8.- Propagación por onda troposférica dispersa

Propagación por onda de cielo ú onda ionosférica:

A alturas entre 50 y 400 Km se encuentra una región con niveles de ionización suficientes para curvar la trayectoria de ondas electromagnéticas de frecuencia entre 3 y 30 MHz regresándolas a la tierra tal como ilustra la **Figura 1.9**.

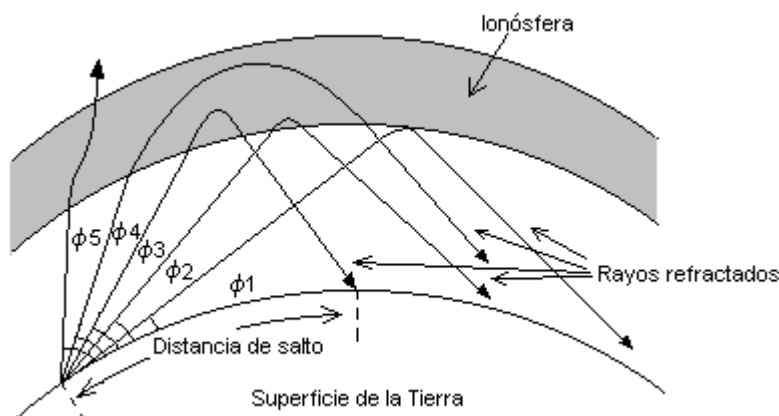


Fig. 1.9.- Propagación por Onda de Cielo

La ionósfera está lejos de ser un medio estable. Se compone de diversas **capas** o zonas de intensa ionización: existen las capas D, E y F (con una subdivisión F1 y F2) cuyo agente ionizante es el sol, de manera que varían notablemente según las horas del día, las épocas del año y la actividad solar. El estudio de la comunicación por este medio fue de gran importancia a principios de este siglo dado que era el único medio de establecer comunicaciones transatlánticas, por ello conceptos como el de **frecuencia crítica**, **altura virtual**, **frecuencia máxima utilizable (MUF)**, etc. y los **estudios ionosféricos** cobraron gran importancia y son sumamente interesantes.

El advenimiento de cables transatlánticos y satélites redujo su importancia y actualmente tiene usos militares, de comunicación con zonas muy aisladas y de radioaficionados.

Cada factor modificante tiene importancia a distintas frecuencias, así hablamos de propagación de:

- Ondas Hectométricas y Kilométricas.



- Ondas Decamétricas.
- Ondas Métricas.
- Ondas Decimétricas y Centimétricas.
- Ondas Milimétricas.

1.3.5.- Caso Particular de la radio propagación de ondas deci, centi y milimétricas:

La atmósfera y el suelo modifican la propagación de espacio libre debido a los siguientes factores:

Atmósfera:

- Refracción
- Absorción
- Dispersión

Suelo:

Difracción de superficie (*desviación de la propagación rectilínea cuando el obstáculo es pequeño comparado con la longitud de onda*).

- Reflexión.

Como estos factores no son estables y pueden cambiar tanto lenta como muy rápidamente aparecerá, a consecuencia de esos cambios incontrolables, un factor adicional que denominamos:

desvanecimiento.

1.3.6.- Propagación en la troposfera:

1.3.6.1.- Refracción.

La tropósfera presenta cambios en la *temperatura, presión y humedad*, a medida que la altura varía, esto produce variaciones en el **Índice de refracción n** ($n = v/c$ con c la velocidad de la luz igual a 3×10^8 m/s y v la velocidad de la onda en el medio, y también $n = (\epsilon\mu_r)^{1/2}$). Las variaciones



del índice de refracción producen curvatura de los rayos, que según la óptica geométrica describen la propagación.

Existen diversas fórmulas que vinculan a **N** con **T**, **p** y **e**, estas fórmulas son de distinta precisión y se utilizan, salvo casos muy especiales, las recomendadas por el CCIR (*Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones*). En 1937 Debye determinó una fórmula teórica:

$$N = \frac{A}{T} \left(\frac{Bp + Ce}{T} \right) \quad (1.10)$$

En 1953 Smith y Wientraub determinaron las constantes resultando:

$$N = \frac{77.6}{T} \left(p + \frac{4810}{T} e \right) \quad (1.11)$$

T en °K, **p** y **e** en milibares.

Expresión válida hasta 30 GHz según Shuklin y con un error menor ó igual al 0.5% según el CCIR Beam y Dutton (1966) en el Radiometeorology Monograph

$$N = 77.6 - 5.6 \frac{e}{T} + 3.75 * 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1.12)$$

Por otra parte las variaciones de **T**, **p** y **e** con la altura son generalmente como las ilustradas en la **Figura 1.10**, por lo que **N** resulta función de la altura **h**.

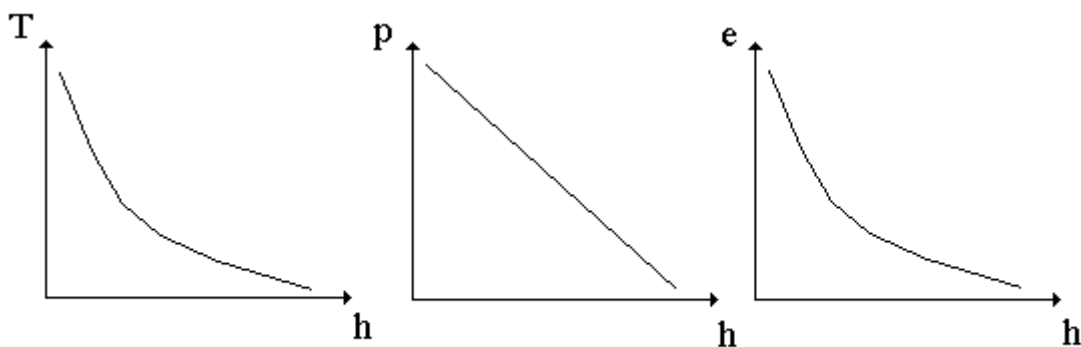


Fig. 1.10.- Variación Normal de T, p y e con la altura

Para conocer el tipo de dependencia de **N** con la altura hay que conocer las de **T**, **p** y **e**, esas funciones varían en diversos climas, con la hora, el día, el mes, el año y es necesario hacer estudios de tipo estadístico en base a mediciones tanto en tierra como a diversas alturas por medio de sondas.

Las mediciones a baja altura (< 1 Km) sugieren una variación lineal de **N** con la altura así se estableció **el modelo lineal**.

a- Modelo Lineal:

La variación lineal con la altura se puede expresar así:

$$N(h) = N_s(1 + bh) \quad (1.13)$$

Donde: $N(h)$ = Refractividad a la altura h.

$N(s)$ = Valor de N en la superficie.

h= Altura sobre la superficie en Km

b= Constante que depende de la región.

Si h= 1Km será:

$$\frac{N_{1000}}{N_s} = 1 + b \quad \text{de donde } b = \frac{N_{1000} - N_s}{N_s} \quad \text{ó bien}$$



$$b = \frac{\Delta N}{N_s} \quad \text{con: } \Delta N = N_{1000} - N_s$$

Este modelo que da lugar a la idea de **Radio efectivo** de la tierra, no es suficientemente preciso pues conduce a errores en aplicaciones con grandes diferencias de elevación.

Los datos sugieren que el modelo puede cambiarse para mejorarlo, así se escoge el *modelo exponencial* sugerido por el CCIR en 1958.

b- Modelo Exponencial:

Puede expresarse así:

$$N(h) = N_s e^{-ch} = N_s \exp(-ch) \quad (1.14)$$

Donde **N**, **N_s** y **h** tienen el mismo significado que en el modelo lineal y **c** es una constante que depende de la región.

De la definición del modelo exponencial puede obtenerse:

$$c = -\ln\left(\frac{N_{1000}}{N_s}\right) \quad (1.15)$$

1.3.6.2. Distribución estadística de K (Eficiencia de la antena).

El valor de **K** varía estadísticamente a lo largo del día, mes y del año, generalmente el porcentaje del tiempo en que se excede un valor determinado de **K** es el dado en la tabla 1 siguiente:

| %Tiempo | K |
|---------|-----|
| 99.9 | 2/3 |
| 80 | 1 |
| 50 | 4/3 |
| 20 | 2 |
| 0.1 | 10 |

Tabla 1

En consecuencia si se ha diseñado para $K = 4/3$ y K cambia a $2/3$ puede haber obstrucción, tal como se ve en la **figura 1.11**.

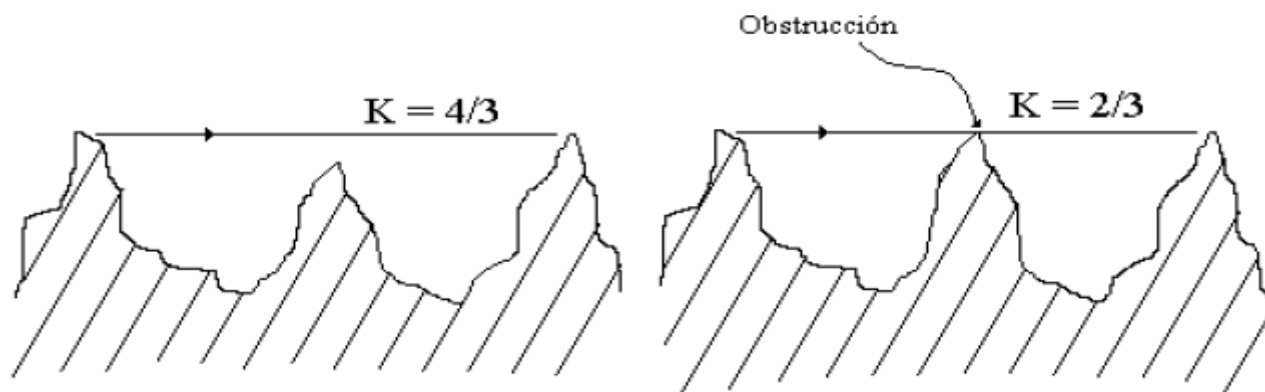


Fig. 1.11.- Efectos de la variación de K.

Para diseñar hay que tomar el valor mínimo de K en la zona por lo que la experiencia es muy importante, un criterio recomendable es:

$f > 2 \text{ GHz}$, $K_{\text{mínimo}}$: 1 sobre tierra y $2/3$ sobre mar.

$f < 2 \text{ GHz}$, K_{promedio} $4/3$

1.3.7.-Propagación en la tropósfera:

1.3.6.3. Absorción:

La absorción atmosférica es causada por la presencia de gases, principalmente oxígeno y vapor de agua, y se debe a que la estructura de las moléculas hace que se comporten como dipolos eléctricos o magnéticos. Al incidir sobre ellas campos electromagnéticos producen movimientos rotacionales o de oscilación de estas moléculas, por lo que hay una cesión de energía electromagnética a energía mecánica (calor) que atenúa el campo. En el caso del oxígeno el fenómeno se debe al dipolo magnético y el de vapor de agua se debe a que las moléculas tienen un momento eléctrico.

Es obvio que en caso de la lluvia, niebla, nieve y/o nubes la atenuación se incrementará pues aumentará la cantidad de H₂O además de estos fenómenos atmosféricos producirán dispersión.

1.3.6.4. Dispersión.

La presencia de gotas de agua por lluvia, niebla o nubes y la de partículas de hielo por nieve y granizo produce una re irradiación de energía electromagnética que se traduce en disminución de la señal en el radioenlace. La **figura 1.12** muestra la disminución de la señal producida por distintos niveles de lluvia y niebla.

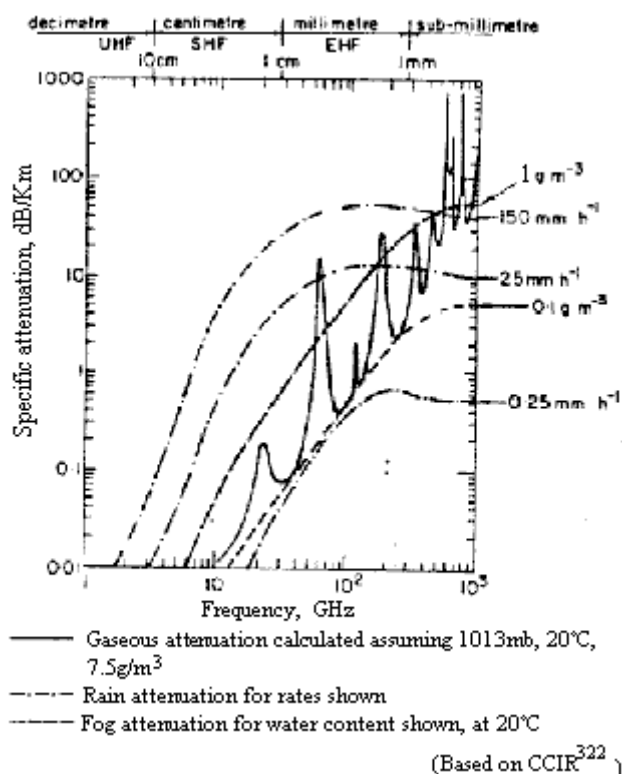


Figura 1.12.- Curvas de atenuación y dispersión atmosférica



1.3.7. *Protocolo DNP 3.0.*

DNP 3.0 (acrónimo del inglés Distributed Network Protocol, en su versión 3) es un protocolo industrial para comunicaciones entre equipos inteligentes (IED) y estaciones controladores, componentes de sistemas SCADA. Es un protocolo ampliamente utilizado en el sector eléctrico.

DNP 3.0 es un protocolo de tres capas o niveles según el modelo OSI: nivel de enlace (Data Link Layer), Nivel de Aplicación (Application Layer), y un tercer nivel de Transporte (Transport Layer) que realmente no cumple con todas las especificaciones del modelo OSI, y por lo cual se suele denominar pseudo-nivel de Transporte. Por este motivo suele referirse a él como un protocolo de dos capas o niveles.

La estructuración en capas o niveles, sigue el siguiente esquema:

Los mensajes a nivel de aplicación son denominados **Fragmentos**. El tamaño máximo de un fragmento está establecido en 1024 bytes.

Los mensajes a nivel de transporte son denominados **Segmentos**.

Los mensajes a nivel de enlace son denominados **Tramas**. El tamaño máximo de una trama DNP 3.0 es de 292 bytes.

Cuando se **transmiten** datos, estos sufren las siguientes transformaciones al pasar por las diferentes capas:

Los datos se encapsulan en fragmentos a nivel de aplicación.

El nivel de transporte es el encargado de adaptar los Fragmentos para poder encapsularlos en tramas (nivel de enlace), para lo cual, secciona el mensaje del nivel de aplicación si es necesario, y les agrega la cabecera de transporte, formando de este modo los segmentos.



En el nivel de enlace, los segmentos recibidos del nivel de transporte son empaquetados en tramas, para lo cual se les añade a estos una cabecera de enlace, y además, cada 16 bytes un CRC de 2 bytes.

Cuando se **reciben** datos, las transformaciones se suceden de la siguiente forma:

El nivel de enlace se encarga de extraer de las tramas recibidas los Segmentos que son pasados al nivel de transporte.

El nivel de transporte lee la cabecera de los segmentos recibidos del nivel de enlace, y con la información obtenida extrae y compone los fragmentos que serán pasados al nivel de aplicación.

En el nivel de aplicación los fragmentos son analizados y los datos son procesados según el modelo de objetos definido por las especificaciones del estándar.

1.3.8. Punto a multipunto, sistemas de multiples direcciones [Multiple Address Systems (MAS)]

La aplicación más común que tiene el radio modem es de tipo Punto a multipunto

Se trata de una central de la estación maestra y varias unidades asociadas a distancia como se muestra en la **figura 2.5**. Una red de MAS permite la comunicación entre una central de el equipo host y unidades terminales remotas (UTR) o recopilación de información dispositivos.

A menudo, sin embargo, un sistema de radio consiste en varios radios remotos muy distantes entre si. Un sistema punto a multipunto o SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es el utilizado en estos casos para el monitoreo de las UTRs.

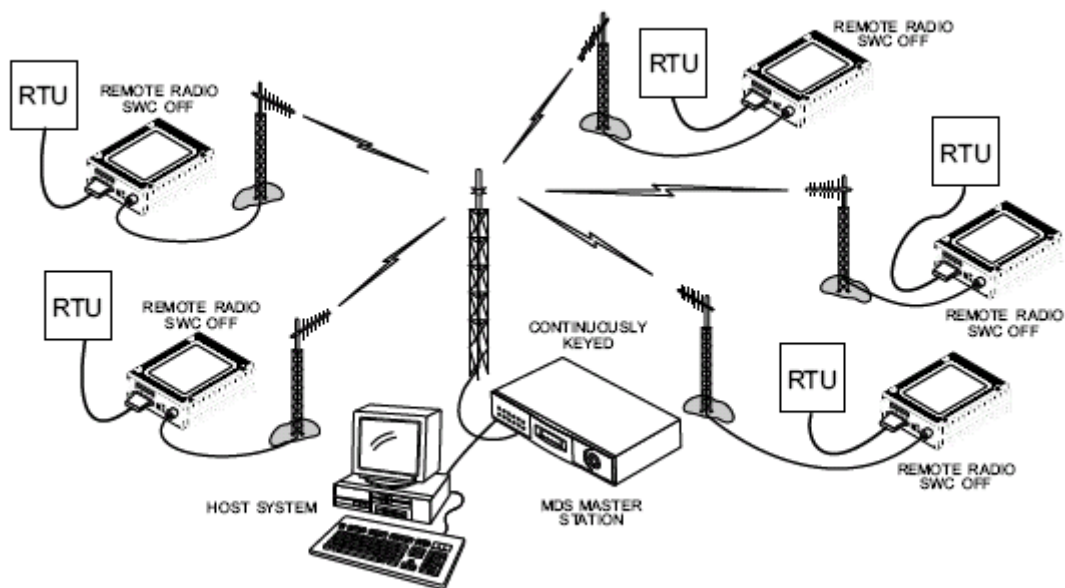


Figura 1.13. MAS red típica punto a multipunto.

1.3.9. Radio modem MDS-4710

En la siguiente figura 1.3.9., podemos observar sus conectores e indicadores.

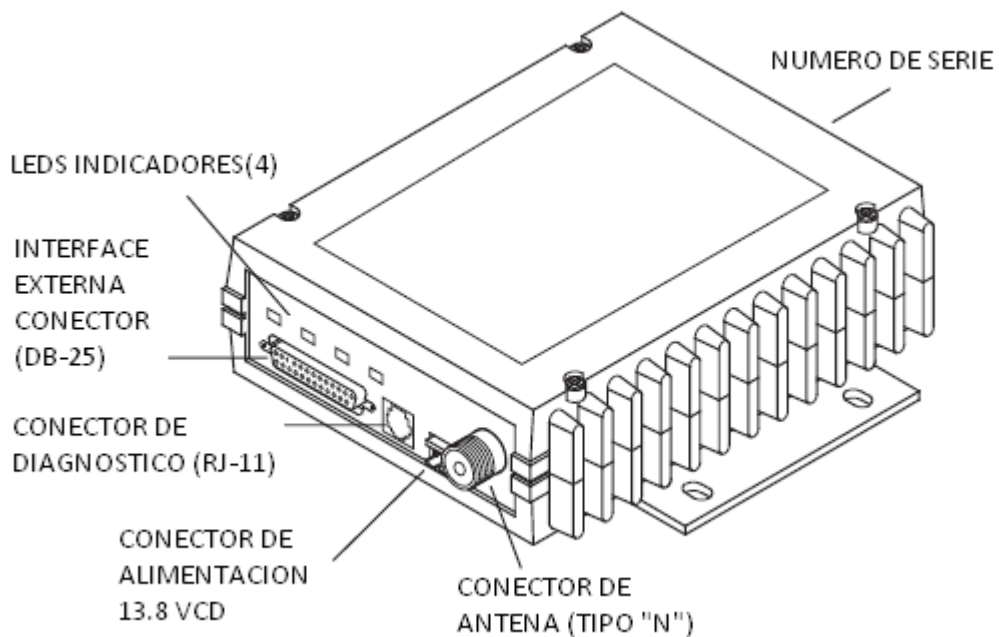


Figura 1.14. Conectores e indicadores de radio modem MDS-4710



MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL
Instalación de repetidor en banda VHF para protocolo DNP 3.0

El Radio modem transmisor – receptor marca Microwave Data Systems, modelo MDS 4710A, cuenta con las siguientes características:

- Banda de operación de 330-512 MHz
- Salida RF de 5 Watts, sintetizado
- Modem configurable por software
- Canal RF de 12.5 KHz
- Alimentación de 13.8 VCD
- Software de monitoreo y diagnóstico

El tipo de antenas utilizada para el enlace es:

Antena Yagui con las siguientes características:

- Ganancia 9 dB
- Ancho de banda 406-440 MHz
- Marca Maxrad PCTEL de SYSCOM
- Conector N hembra.

Antena Omni con las siguientes características:

- Ganancia 9 dB
- Ancho de banda 406-430 MHz
- Marca Hustler
- Conector N hembra.

III. Método.

El enlace que se llevo a cabo entre la subestación “La Garza” y la UCM se muestra a continuación en la siguiente figura.

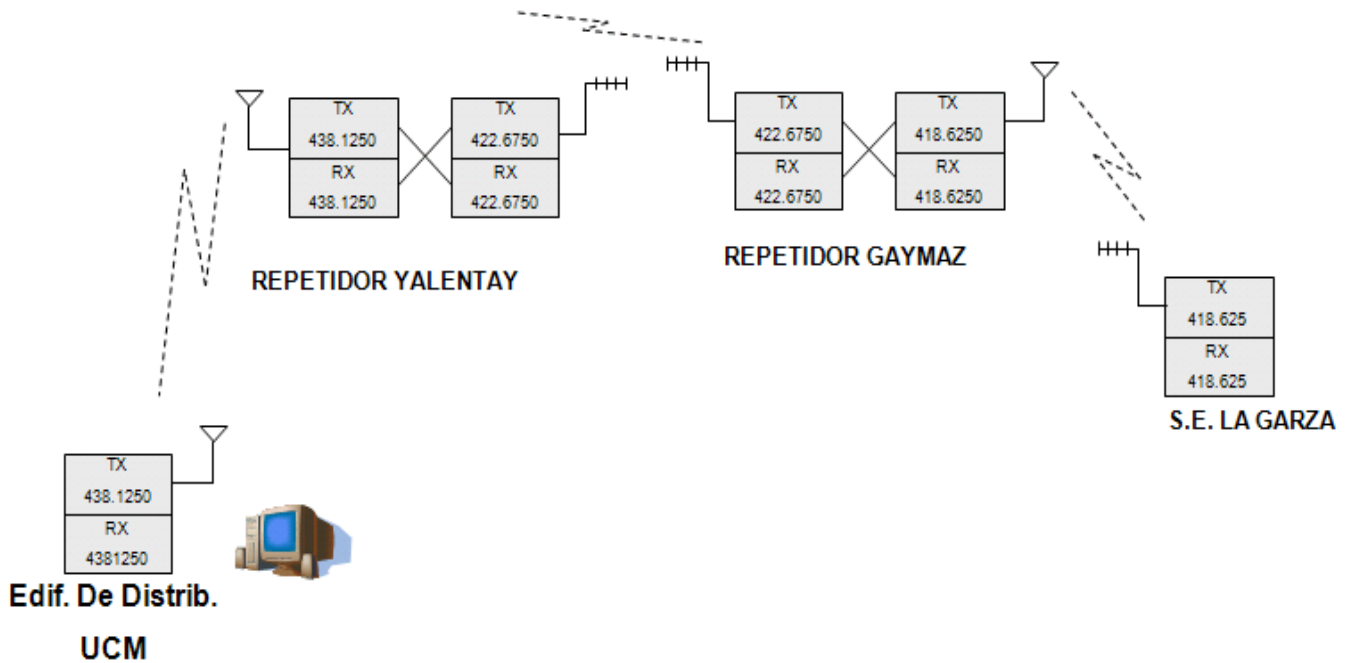


Figura 1.15. Enlace 400 MHz zona Tuxtla S. LA GARZA

Se utilizaran dos radio módems MDS-4710 que se utilizaran para hacer un repetidor. Uno de los radios tendrá las frecuencias de recepción 422.675 MHz para enlazarse con el repetidor de Yalentay, el otro tendrá las frecuencias de transmisión 418.625 MHz para comunicarse con la subestación La Garza.

Para la interface entre los radio módems se utilizaron dos conectores DB25 con la configuración de la siguiente figura.



Figura 1.15. Configuración interface para repetidor



MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL Instalación de repetidor en banda VHF para protocolo DNP 3.0

El radio que contiene las frecuencias de recepción, tiene conectado una antena yagui que esta en línea de vista con el repetidor de Yalentay. El otro tiene una antena omni, a travez de la cual se comunica con la subestación.

Para alimentar los radios se utilizo dos baterías de 12 V a 100 Amperes/hora, para mantener la carga de las baterías se utilizaron dos paneles solares, en diferentes posiciones, uno para cuando los rayos del sol están del lado oriente y otro para cuando esta al poniente, esto hará que la carga de la batería se mantenga constante a lo largo de todo el día. Se utilizo un pequeño cargador en donde están conectados las baterías y los paneles, y es el encargado de suministrar carga de los paneles a las baterías.

La antena yagui se coloco en la cima de la torre de 12 m, mientras que la omni, se coloco aproximadamente a 7 de m.

Para proteger a las antenas de la humedad, se cubrió las colillas de estas con silicón.

Una vez echa todas las conexiones, se enlazaron los radios desde la UCM.

IV. Resultados.

Se efectuaron las pruebas en el repetidor de la recepción de la señal con la terminal de mano, y se obtuvo una recepción de -91 a -97 dBs, que es la señal recibida desde el repetidor de Yalentay.

De igual manera se probó el enlace entre el repetidor y la subestación La Garza, y se obtuvo un nivel de señal de -56 dBs.

Se realizaron pruebas del enlace entre la UCM y la subestación por medio de la Unidad terminal Remota 15000.

Para esto se los enviaron dos cambios de estados de la UTR:

El primero se desconecto la alimentación (CA) de la UTR y el equipo quedo funcionando con las baterías, en la UCM se aprecio el cambio de estado en la base de datos del equipo (estaba en 0 y cambio a 1), esto nos indica que la UTR si envió el cambio a través del enlace hacia la UCM.

El siguiente cambio de estado fue cambiar el control Remoto de la UTR a Local, este cambio de igual forma se observo en la UCM.

Se logro en enlace en la banda de los 400 MHz entre la UCM y el nuevo repetidor "Gaymas".

La subestación se logro enlazar con el repetidor Gaymas de manera eficiente, ya que el enlace tuvo un nivel de señal de -56 dB que nos indica una buena recepción del repetidor hacia la UTR.



V. Conclusiones y recomendaciones.

En las pruebas que se realizaron del enlace entre la subestación La Garza y la UCM con la UTR, los cambios de estados se pudieron apreciar en la base de datos del equipo en la UCM, por lo que podemos concluir que el enlace funciona de manera óptima.

El enlace entre el nuevo repetidor Gaymas y el de Yalentay en la banda de los 400 MHz tubo un nivel de señal bueno, para lograr el enlace deseado entre la UCM y la UTR de la subestación La Garza.

Con el cambio de banda de VHF a UHF se logro mejorar el canal de comunicación entre la UCM y la subestación La Garza, logrando que el monitoreo y control sea mas eficiente.

Es importante verificar antes de enlazar a los radios verificar las frecuencias de transmisión y recepción, para no tener problemas a la hora de enlazar a los equipos.

También direccionar correctamente las antenas para lograr el mejor enlace posible, esto se puede hacer con la terminal de mano.

La posición de los paneles solares es importante, ya que en las mañanas los rayos solares están sobre el lado oriente y conforme pasa el día estos caen sobre el poniente, por tal motivo uno tiene que estar direccionado al oriente y el otro hacia el poniente, para que el cargador suministre carga a las baterías durante la mañana y tarde.

Es recomendable aislar las colillas de las antenas con silicón para que no presente humedad y se presente perdidas en el conector.



VI. Fuentes consultadas.

- (1) HUURDEMAN Anton, **Radio-Relay Systems**, Artech House.
- (2) FREEMAN Roger, **Telecommunication Transmission Handbook**, 3ª edición pág. 342, Wiley Interscience.
- (3) HALL M.P., **Effects of the Troposphere on Radio Communications**, Peter Peregrinus (Inglaterra) para IEE.
- (4) JORDAN y BALMAIN, **Electromagnetic Wavs and Radiating Systems**, 2da De, Prentice Hall.
- (5) VIDAL, **Conceptos básicos de Radiopropagación**, CET, Centro de Estudios de Telecomunicaciones de CANTV.
- (6) GE MDS. (Junio 2008). **MDS 4710/9710 Series**. Recuperado el 11 de Noviembre de 2011 de: www.gedigitalenergy.com/products/.../MDS/3305D-x710ACMT.pdf
- (7) Radioenlaces. Recuperado el 16 de diciembre de 2011 de: ocw.upm.es/teoria-de-la-.../radioenlaces-07.pdf