

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo, se procede a culminar el proceso de investigación, atendiendo a lo planteado en los capítulos I, II y III, con el objeto de evaluar los resultados obtenidos luego de la aplicación de los instrumentos y técnicas de recolección de datos y la metodología utilizada para la evaluación de los modelos de propagación.

#### 1.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS

En función de cumplir con el primer objetivo específico de esta investigación, el cual está orientado a **analizar los modelos de propagación que existen en la tecnología celular GSM del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila**, correspondiente a la primera fase metodológica del cronograma de actividades, enfocada a **observar y analizar los modelos de propagación existentes**, se realizaron visitas al Municipio Maracaibo Estado Zulia, parroquia Juana de Ávila, en dicha parroquia se procedió a observar directamente los fenómenos electromagnéticos presentes a partir de los materiales de construcción comúnmente utilizados; así como también, medir la temperatura y ubicar la localidad dentro del ambiente socioeconómico.

En esta investigación preliminar se constataron los siguientes aspectos

1. La parroquia Juana de Ávila se encuentra ubicada en la denominada planicie de Maracaibo, de territorio llano y plano con formación aluvial constante. El relieve de esta localidad es casi plano y forma parte de los 176 km<sup>2</sup> de área urbana de la ciudad de Maracaibo. Para el año 2010 registra temperaturas entre 20°C y 41°C.

2. Es la parroquia número cinco del municipio Maracaibo; la entidad local, creada en 1989, es considerada una de las más importantes de la zona norte porque posee numerosas áreas residenciales. Algunas de las urbanizaciones que encontramos allí son: La Trinidad, El Naranjal, Juana de Ávila y San Jacinto.

3. Ubicación geográfica: Límites de la Parroquia Juana de Ávila

**Al norte:** desde la intersección de la carretera vía a el Moján con la avenida milagro norte (10°43'50.13" Norte – 71 ° 37' 40.20" Oeste), se sigue por el eje medio de la avenida milagro norte con rumbo este y sureste hasta interceptar a la avenida fuerzas armadas (10° 43' 31.08" Norte – 71° 37' 14.20" Oeste).

**Al este:** desde la intersección de la avenida milagro norte con la avenida 15 (10° 41' 36.03" Norte – 71° 37' 31.37" Oeste), hasta interceptar a la calle 67 o Cecilia costa (10° 40' 34.79" Norte – 71° 37' 18.14" Oeste).

**Al sur:** desde la intersección de la avenida 15 con calle 67 (10° 40' 34.79" Norte – 71° 37' 18.14" Oeste) hasta interceptar a la avenida 16 o guajira (10° 40' 29.56" Norte – 71° 37' 37.39" Oeste).

**Al oeste:** desde la intersección de la calle 67 con la avenida 16 (10° 40'

29.56" Norte – 71° 37' 37.39" Oeste), siguiendo la carretera vía al moján, hasta interceptar a la avenida milagro norte (10°43'50.13" Norte – 71 ° 37' 40.20" Oeste).

De ésta manera se construye el siguiente plano en función de la información obtenida:



**Figura 12.** Límites y coordenadas geográficas de la Parroquia Juana de Ávila.

**Fuente:** Software Google Earth v5.0 (2010)

4. Como parte de la investigación sobre el modo en el que se propagan los

modelos y para calcular las pérdidas por trayectoria, surge la necesidad de observar el grado de conductividad eléctrica de los materiales empleados para la construcción de viviendas, edificios y obras de ingeniería dentro de la localidad, determinando que se pueden clasificar en cuatro grupos principales tal y como se encuentran comercialmente:

a. Materiales Pétreos

- Mampuesto
- Losa o chapa
- Adoquín
- Bordillo o Encintado
- Paneles y rollo de lana de roca

b. Materiales Cerámicas y vidrios

- Ladrillos
- Tejas
- Otros materiales cerámicos

c. Materiales Aglomerantes y Conglomerantes

- Yeso
- Cal
- Cemento

d. Materiales Metálicos

- Materiales Férricos: Acero, Fundición, Aceros Inoxidables
- Materiales no Férricos: Aluminio, Cobre.

En la tabla a continuación se presentan las características de conducción eléctrica de los materiales estándar de construcción de edificaciones en Venezuela, con el propósito de hacer relación entre ellos y la eficiente conducción de los mismos de ondas electromagnéticas en función de favorecer la propagación de los modelos para calcular pérdidas de tráfico de información.

**Tabla 3**

Conducción eléctrica de materiales de construcción.

| MATERIAL          | PROPIEDADES  | EJEMPLOS  | OBTENCIÓN   |
|-------------------|--|---|---|
| Madera            | No conduce calor ni electricidad.  | Pino. Roble. Haya                               | A partir de árboles   |
| Metal             | Buen conductor de calor y electricidad. Ductil y maleable.   | Acero. Cobre. Estaño                            | A partir de determinados materiales   |
| Plástico          | Ligero. Mal conductor del calor y la electricidad.   | PVC. PET. Porexpan (corcho blanco). Metacrilado | Mediante procesos químicos, a partir del petróleo   |
| Pétreos           | Pesados y resistentes. Dificiles de trabajar. Buenos aislantes de calor y electricidad.                        | Mármol. Granito                                 | Se obtienen de las rocas  |
| Cerámica y vidrio | A bajas temperaturas son aislantes de calor y electricidad. Entre 25°C y 1200°C son semiconductores variables. | Loza. Porcelana. vidrio                         | Cerámica: a partir de arcilla y arenas por modelado y cocción. Vidrio: se obtiene mezclando y tratando arena, caliza y soza |

**Fuente:** Fajardo, Garrido, Rosario (2010).

5. Continuando con el proceso de investigación, se pudo constatar que el

tipo de modelo de propagación registrado dentro de la localidad, de acuerdo a las propiedades ambientales y eléctricas de los materiales presentes en la parroquia Juana de Ávila, es el modelo Okumura , el cual está definido como empírico de 2da generación y que es compatible con el sistema de telecomunicaciones GSM, que a su vez, emplea el Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA de banda estrecha que permite 8 llamadas simultáneas sobre la misma radiofrecuencia. Información que fue obtenida de las especificaciones técnicas aportadas por el operador de una de las estaciones base presentes en la localidad.

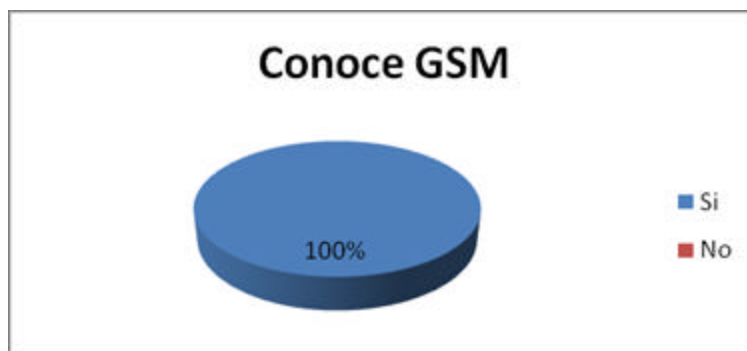
6. También, se verificó que existen equipos y sistemas de arquitectura de red de telefonía celular GSM instalados en diversos puntos dentro de la localidad y de diferentes compañías de servicios, dentro de estos sistemas se encuentra el subsistema de Estación (BSS), referente a una serie de dispositivos que soportan el interface de radio de redes de conmutación, es decir, la estación Transceptora de Base (BTS) o modems de radio, el equipo de antenas y el Controlador (BSC) el cual gestiona las operaciones de radio de varias BTS y conecta a un único NSS (Network and Switching Sub-System).

Igualmente, dentro de éstos sistemas de arquitectura de red GSM, está presente el Subsistema de Conmutación y Red (NSS) cuya función es proporcionar la conmutación entre el subsistema GSM y las redes externas junto con las bases de datos utilizadas para la gestión adicional de la

movilidad y de los abonados.

Del mismo modo, se obtuvieron resultados importantes mediante la aplicación del instrumento de recolección de información expresado mediante un guion de encuesta, dirigida a expertos en el área de modelos de propagación, pertenecientes a la empresa de telecomunicaciones Digitel, con el propósito de validar el proceso de recolección de datos.

El **primer ítem**, correspondiente a ¿Conoce usted la tecnología GSM?, el 100% respondió Si a la interrogante, como se muestra en la figura 13. Pudiendo determinar a partir de ésta información, que la tecnología GSM es comúnmente conocida como una tecnología digital que asigna una frecuencia fija a cada usuario en su red y que es aplicada y desarrollada en Venezuela por compañías de servicios de telecomunicaciones, por lo tanto, se puede ubicar dicha tecnología dentro del Municipio Maracaibo, como tecnología móvil actualmente activa, para proporcionar servicios de comunicación.

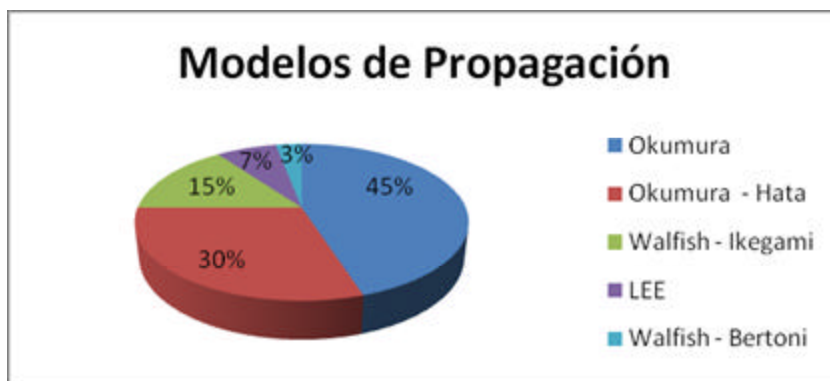


**Figura 13.** Gráfico de porcentaje primer ítem.

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

Debido a que todas las respuestas fueron afirmativas, el **segundo ítem**, está orientado a descubrir bajo que modelos de propagación opera comúnmente la tecnología GSM en Maracaibo, obteniendo como respuesta que las compañías de telecomunicaciones existentes en el Municipio Maracaibo, entiéndase Digitel, Movistar y Movilnet, han empelado en algún momento los siguientes modelos de propagación, todos para ambientes suburbanos: modelo Okumura en un 45% de coincidencias, modelo Okumura - Hata en 30% de coincidencias y Walfish - Ikegami en un 15%, siendo estos los resultados más populares de este ítem (figura 14).

Sin embargo, los modelos LEE en un 7 % y Walfish-Bertoni en un %3, también fueron mencionados en las respuestas de los expertos representando así, el resto del porcentaje de los resultados, lo cual permite corroborar, de ésta manera que la información sobre el modelo de propagación Okumura, seleccionado como el principal para la investigación y obtenido mediante la visita a la parroquia Juana de Ávila, es verdadera.



**Figura 14.** Gráfico de porcentaje del segundo ítem.

**Fuente:** Elaboración propia (2010)



En relación con el **tercer ítem**, sobre ¿cuál es la experiencia de la propagación utilizada en Maracaibo, en cuanto a las pérdidas de transmisión?, se pudo determinar que el comportamiento es bueno en un 72%, regular en el 26% y muy bueno en un 2%, de acuerdo con las respuestas de los expertos, como se muestra en la figura 15.

Esto se debe principalmente, a que el comportamiento efectivo de la propagación de ondas de radiofrecuencia, es influenciado por el contorno del terreno y por la longitud de onda, de ésta manera, la Parroquia Juana de Ávila se ubica dentro de éste criterio, como un ambiente favorable para la propagación de ondas de radiofrecuencia, pudiendo ser clasificada, como se explica anteriormente, bajo el dominio de ambiente suburbano.



**Figura 15.** Grafico de porcentaje del tercer ítem

**Fuente:** Elaboración Propia (2010)

De acuerdo con Balcells (1992), la propagación de ondas de radio, se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre y a

su vez, define la propagación de las mismas, como el conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas en cualquiera de sus tipos, desde el transmisor hasta el receptor. Así mismo, explica que la ventaja del tipo de ondas de radiofrecuencia, es que prácticamente no necesitan un medio específico para propagarse, pudiendo ésta ocurrir simplemente en el espacio libre utilizando la atmósfera para viajar entre el transmisor y el receptor.

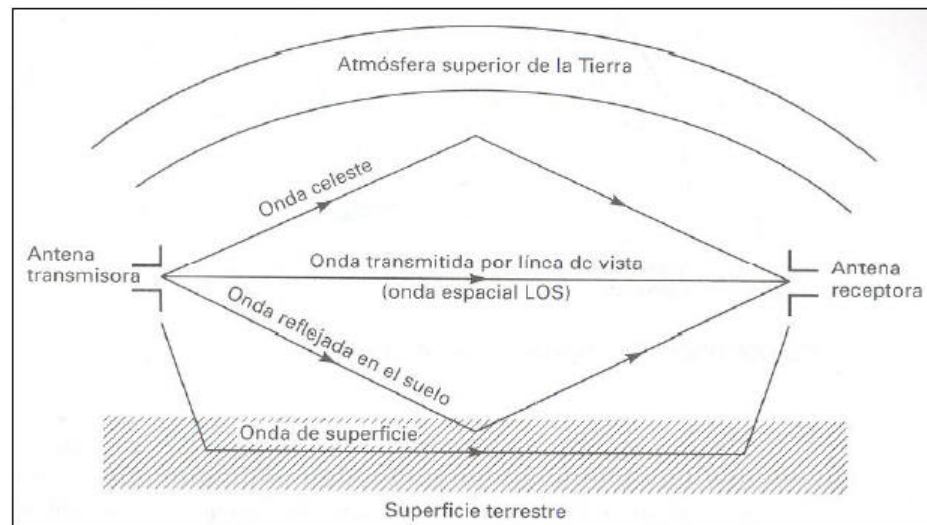
A pesar de que el espacio libre implica en el vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se llama propagación por el espacio libre, aunque ésta verdaderamente introduce pérdidas de la señal, mientras que en el vacío este efecto no ocurre.

Del mismo modo, en relación al medio en el que se propagan las ondas electromagnéticas, las ondas de radio se propagan a través de cualquier material dieléctrico, incluyendo el aire, pero no se propagan bien a través de conductores con pérdidas como el agua de mar, ya que los campos eléctricos hacen que fluyan corrientes en el material, disipando con rapidez la energía de la onda.

Así mismo, este tipo de ondas por ser de tipo electromagnéticas, al igual que la luz, viajan a través del espacio libre en línea recta con una velocidad de 300,000,000 m/s y se propagan por la atmósfera terrestre con energía transmitida por la fuente, la cual es recibida luego, del lado de la antena receptora.

En tal sentido, existen tres tipos de propagación de ondas de radio para

las telecomunicaciones dentro de la atmósfera, que corresponden a las ondas terrestres, ondas espaciales y ondas celestes o ionosféricas, como se muestra en la figura 16.

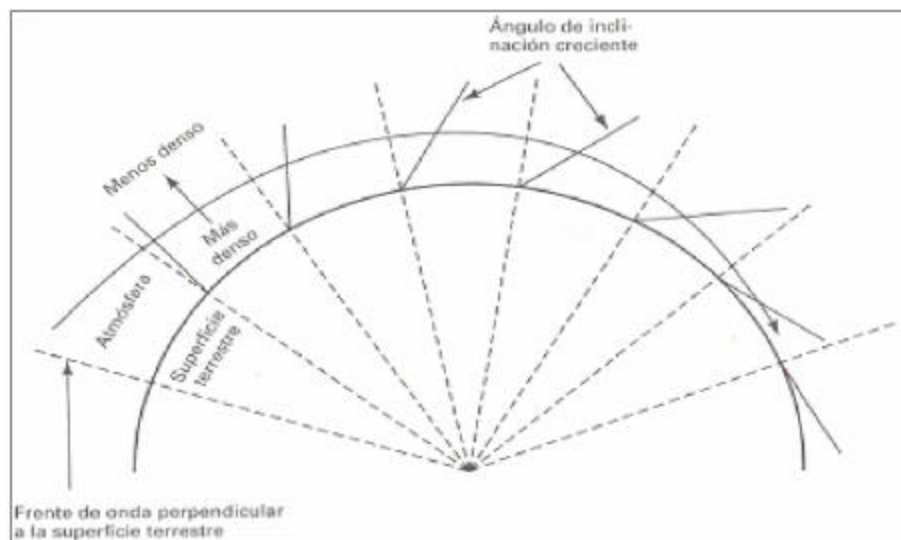


**Figura 16.** Modo de propagación de ondas de radio. **Fuente:** Balcells (1992)

Por su parte, las ondas terrestres son las ondas que viajan por la superficie de la tierra, estas deben estar polarizadas verticalmente debido a que el campo eléctrico en una onda polarizada horizontalmente sería paralelo a la superficie de la tierra y se pondría en corto debido a la conductividad del suelo.

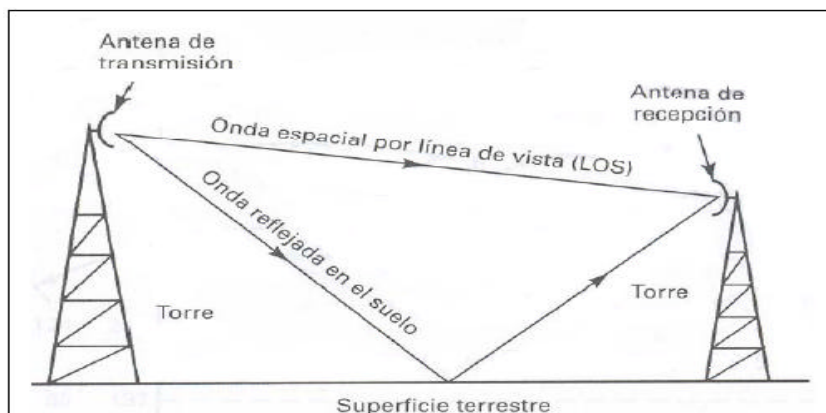
En este tipo de onda el campo eléctrico induce voltajes en la superficie terrestre y ésta a su vez, presenta pérdidas de resistencia y por dieléctrico, por consiguiente, las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan con un gradiente de densidad que disminuye en forma gradual conforme aumenta la distancia a la superficie terrestre, de forma que el frente de onda

se inclina hacia adelante, como se expresa en la figura 17.



**Figura 17.** Propagación de ondas terrestres. **Fuente:** Balcells (1992)

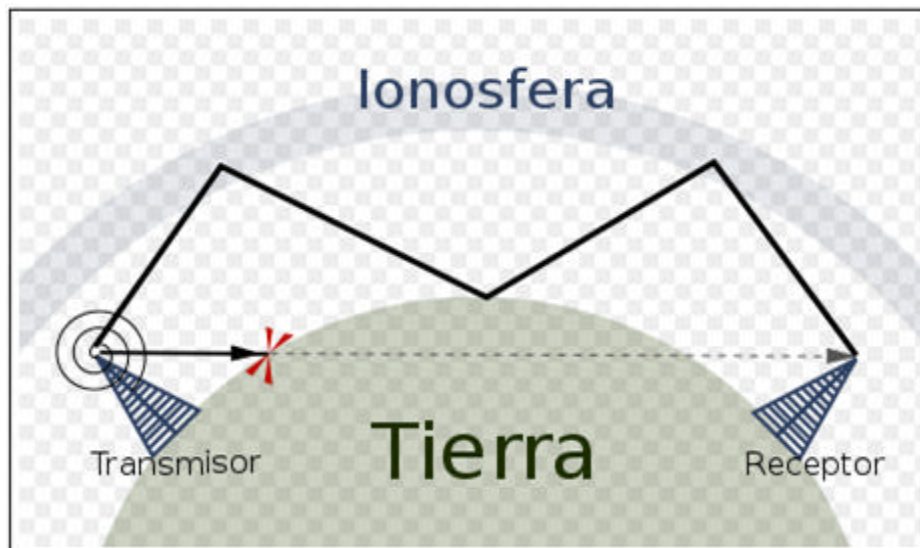
Aunado a ello, la propagación de ondas espaciales, corresponde a la energía irradiada que viaja en las capas inferiores de la atmósfera terrestre de ondas directas y reflejadas en el suelo. Viajan esencialmente en línea recta de la antena transmisora a la antena receptora. Esta transmisión se llama transmisión de línea de vista como se muestra en la figura.



**Figura 18.** Propagación de ondas espaciales. **Fuente:** Balcells (1992)

Así mismo, las ondas ionosféricas son obtenidas mediante la propagación del frente de ondas en las diferentes regiones de la ionosfera después de una o varias reflexiones. La seguridad en este tipo de propagación no se considera tan grande como la de la propagación por medio de onda terrestre (debido a las variaciones ionosféricas), pero debido a las grandes distancias que pueden cubrirse hacen que este método de propagación sea muy importante.

Generalmente se utilizan altas frecuencias de 3 a 30 Mhz, 300KHz a 3MHz y se aplican principalmente en las bandas de High Frecuencias HF y Medium Frecuencias MF respectivamente. Alcanza distancias de hasta 2000 Kms en MF y entre 50 y 4000 Kms en HF. Con enlaces multisalto pueden tener una cobertura global, utilizándose en radiodifusión y en comunicaciones puntuales. En la figura se observa la propagación de ondas en la ionósfera.



**Figura 19.** Propagación por onda ionosférica. **Fuente:** Wikipedia (2009)

Las antenas utilizadas son muy diversas en función del empleo, y de sus características, suelen ser antenas muy altas con polarización vertical u horizontal.

Por otro lado, en términos de uso general, en comunicaciones alámbricas, sin hilos y señal de propagación, es importante definir las pérdidas de transmisión, de esta manera, se dice que son todas aquellas que se generan como consecuencia de fallas en los equipos, es decir, son fallas puntuales que se originan en un determinado nodo de la arquitectura. También, dichas pérdidas son influenciadas por el medio de propagación, bien sea éste aire seco o húmedo, la distancia entre el transmisor y el receptor, la altura y la localización de antenas, y éstas se suman a las pérdidas de trayectoria mencionadas a continuación, las cuales pueden ser causadas debido a muchos efectos, por ejemplo:

- Pérdidas del libre espacio  $L_p$ , se pueden considerar como las pérdidas que ocurren cuando una onda electromagnética es transmitida en el vacío, no existiendo en realidad pérdida de energía al transmitir las ondas electromagnéticas, el efecto que ocurre es una dispersión de la señal según se aleja el transmisor. Por ello es conveniente llamar ésta fenómeno como pérdidas por dispersión.

La ecuación 1.1 muestra las pérdidas por dispersión.

$$L_p = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2$$

Ecuación (1.1)

Expresando en decibeles ésta ecuación, se obtiene:

$$L_p(dB) = 10 \text{Log} \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2 = 20 \text{Log} \frac{4\pi Df}{c} \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

En caso de que la frecuencia sea expresada en MHz, la ecuación es la siguiente:

$$\begin{aligned} L_p(dB) &= 20 \text{Log} \frac{4\pi (10)^6 (10)^3}{3 \times (10)^8} + 20 \text{Log} f(MHz) + 20 \text{Log} D(Km) \\ &= 32.4 + 20 \text{Log} f(MHz) + 20 \text{Log} D(Km) \quad \text{Ecuación (1.3)} \end{aligned}$$

Si la frecuencia es expresada en GHz, la ecuación es la siguiente:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \text{Log} f(GHz) + 20 \text{Log} D(Km) \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

Donde:

$L_p$  = pérdidas por trayectoria en el espacio libre

$L_p$  (dB) = pérdidas por trayectoria en el espacio libre en decibelios

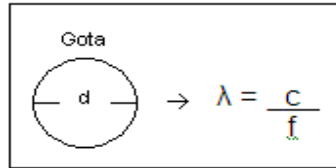
$D$  = distancia a la que viaja la señal expresada en metros

$f$  = frecuencia de transmisión expresada en hertzios

$c$  = velocidad de la luz de  $2.99792458 \times 10^8 \approx 3 \times 10^8$  metros por segundo.

En aplicaciones de campo, el efecto de la dispersión aparece cuando las ondas de radio atraviesan alguna masa de electrones o pequeñas gotas de agua en áreas suficientemente grandes. En comunicaciones de radio es importante mencionar que la dispersión de la señal generada por la lluvia depende de la comparación del tamaño de la longitud de onda de la señal y

el diámetro de la gota de lluvia. Si el diámetro  $d$  de la gota de lluvia es menor a la longitud de onda, la atenuación será pequeña, pero ésta se acrecentará si el diámetro de la gota supera a la longitud de onda de la señal.



**Figura 20.** Relación de diámetro de gota con longitud de onda.

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

$c$  = velocidad del viento  $2.99792458 \times 10^8 \approx 3 \times 10^8$  m/s

$f$  = frecuencia

$\lambda$  = longitud de onda

- Refracción, las ondas de radio están expuestas a sufrir cierta desviación en su trayectoria cuando atraviesan de un medio a otro con densidad distinta. En comunicaciones, éste efecto sucede cuando las ondas electromagnéticas atraviesan las distintas capas de la atmósfera, variando el ángulo de su trayectoria. La desviación de la trayectoria es proporcional al índice de refractividad el cual está dado por:

$$IR = \frac{V_p}{V_m} \quad \text{Ecuación (1.5)}$$

IR = índice de refractividad

$V_p$  = velocidad de propagación en el espacio libre

$V_m$  = velocidad de propagación en el medio



- Difracción, se puede entender como difracción, el esparcimiento de las ondas en los límites de una superficie, esto quiere decir que para que exista una difracción tiene que haber un obstáculo, de manera que éste efecto permita que parte de la señal llegue al otro lado del objeto. Éste fenómeno es de gran utilidad para las zonas de sombra de señal que pueden ser producidas por grandes edificios o montañas.

La difracción es junto con la interferencia, un fenómeno típicamente ondulatorio. La difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. Normalmente los radioenlaces de servicio móvil se diseñan de forma que se verifiquen las condiciones de visión directa entre las antenas de estaciones consecutivas. Para ello es necesario que nada interfiera en el primer elipsoide de Fresnel del rayo directo que une ambas estaciones.

En estas condiciones, y siempre que no haya interferencia en el rayo reflejado, puede considerarse que la potencia recibida coincide con la de espacio libre. Sin embargo, debido a la variación de las condiciones atmosféricas, puede ocurrir que, durante un determinado porcentaje de tiempo haya obstrucción de la primera zona de Fresnel. Esta situación también puede deberse a una mala planificación del radioenlace o a imposiciones del terreno en el que se ubican las estaciones.

Cuando se pierde la condición de visión directa es necesario tener en cuenta la pérdida o ganancia adicional que interfiere en la zona de Fresnel,

éste factor depende del despejamiento del rayo o claridad, que es la altura  $h$  entre este y el obstáculo como se muestra en la ecuación.

$$h(di) = B_i - O_i + fE$$

$$= h_1 + \frac{h_2 - h_1}{d} di - O_i - \left(\frac{4}{51}\right) \frac{(d - di)di}{k} \quad \text{Ecuación (1.6)}$$

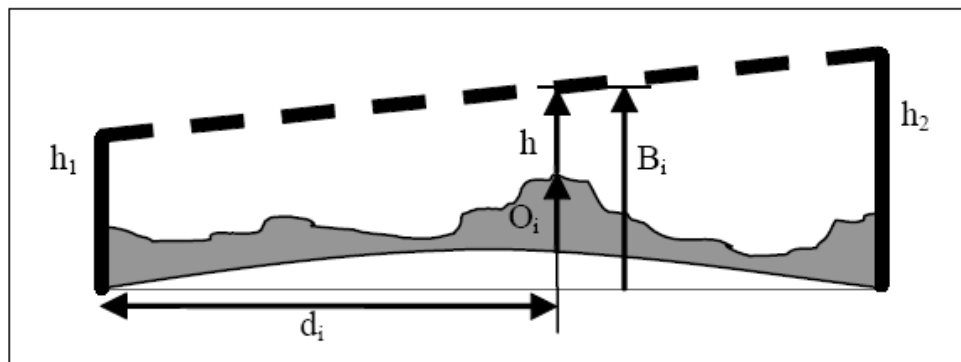
$d_i$  = distancia en kilómetros al punto donde se desee calcular el despejamiento

$O_i$  = altura en metros del terreno en dicho punto

$fE$  = flecha o protuberancia de la “tierra ficticia” en ese mismo punto

$h_1, h_2$  = altura de las antenas en metros

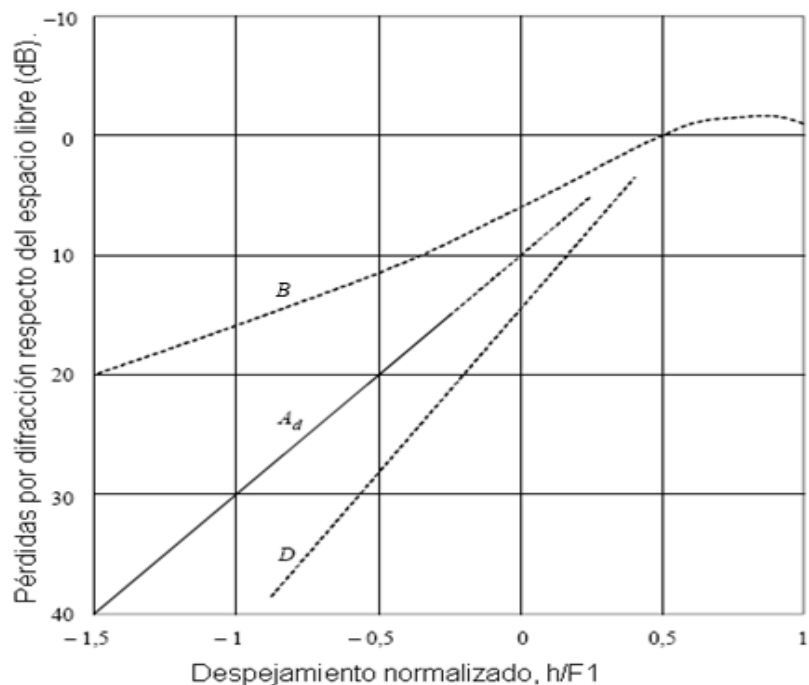
Las pérdidas por difracción son diferentes dependiendo del tipo de terreno que interfiere en la primera zona de Fresnel: tierra esférica, obstáculo afilado u obstáculo redondeado. Además, la predicción de las pérdidas se efectúa por separado, según se trate de obstáculos aislados o múltiples.



**Figura 21.** Geometría del rayo con respecto a la superficie terrestre.

**Fuente:** grp.tsc.uvigo.es (2008)

Para un determinado despejamiento del rayo, la pérdida por difracción variará desde un valor mínimo en el caso de un obstáculo único en arista (filo de cuchillo), hasta un valor máximo en el caso de una tierra esférica lisa.



**Figura 22.** Curva de Pérdidas. Fuente: grp.tsc.uvigo.es (2006)

La figura muestra esos límites superior e inferior de la pérdida de difracción en el caso de existir obstáculos en trayectos radioeléctricos de microondas con visibilidad directa donde:

B : curva teórica de pérdida por difracción en obstáculos en filo de cuchillo

D: curva teórica de pérdida sobre la tierra esférica lisa

h: es el despejamiento o claridad (h es negativa si la parte superior del obstáculo en cuestión está por encima de la línea de visibilidad directa)

Ad: curva empírica de la pérdida por difracción para terreno intermedio en

dB, basada en la ecuación:

$$Ad = - \frac{20 h}{f1} + 10 \quad \text{Ecuación (1.7)}$$

F1: radio del primer elipsoide de Fresnel. Se calcula mediante:

$$F1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_i (d - d_i)}{f d}} \quad \text{Ecuación (1.8)}$$

f = frecuencia en GHz

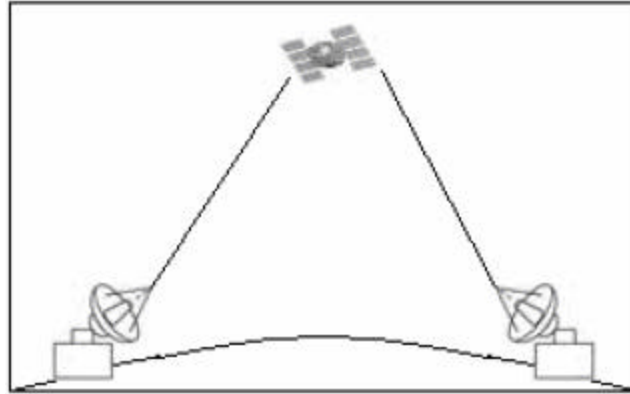
d = distancia en kilómetros

- Reflexión, las ondas de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, desde la tropósfera hasta la ionósfera, y si los índices de refractividad de cada una de éstas capas son muy diferentes, pueden llegar a producir reflexión total, siendo las frecuencias de muy altas (Very High Frequency) VHF y superiores, las más propensas a ésta desviación de trayectoria.

Existen dos tipos de reflexión, la primera es la propagación por reflexión en la luna, la cual utiliza al satélite natural como reflector, para que este tipo de propagación funcione es necesario que la luna se puede ver entre las dos estaciones tanto transmisora como receptora, además de que se utilizan frecuencias muy altas Very High Frequency VHF y ultra altas Ultra High Frequency UHF para poder cruzar la atmósfera. La segunda forma de propagación, es la que usan los satélites artificiales como reflector y funciona bajo el mismo efecto que la primera.

La figura muestra el funcionamiento básico de una transmisión más allá

de la atmósfera.



**Figura 23.** Propagación de RF por medio de un satélite artificial.

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

Las pérdidas por reflexión en la frontera entre dos medios, aire y blindaje o entre dos distintos metales, están relacionadas con las impedancias características de cada uno de los dos medios. Las ecuaciones para el cálculo de las pérdidas por reflexión, son las siguientes:

$$R = 141,7 - 10 \log (\mu t f^3 d^2 / \sigma t) \text{ dB} \text{ Para campos eléctricos. Ecuación (1.9)}$$

$$R = 74,6 - 10 \log (\mu t / f d^2 \sigma t) \text{ dB} \text{ Para campos magnéticos. Ecuación (1.10)}$$

$$R = 108,1 - 10 \log \left( \frac{\mu t f}{\sigma t} \right) \text{ dB} \text{ Para campos electromagnéticos. Ecuación (1.11)}$$

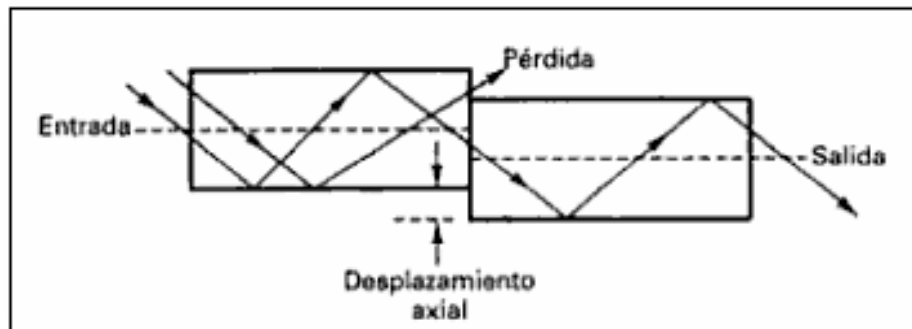
Donde la distancia  $d$  está expresada en metros y la frecuencia  $f$  en MHz y los datos de  $\mu t$  y  $\sigma t$  son valores estándar.

- Abertura-medio pérdida de acoplador, de acuerdo con el criterio de Tomasi (2003), éste tipo de pérdidas por lo general se miden en los cables de fibra utilizados para conectar los nodos de sistemas de

comunicaciones, antenas, transmisores y receptores. Estos cables pueden presentar pérdidas por acoplamiento en cualquiera de los tres tipos siguientes de uniones ópticas: conexiones de fuente luminosa de fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a fotodetector. Las pérdidas en las uniones se deben con frecuencia a uno de los siguientes problemas de alineación:

a. Desalineamiento lateral:

Se refiere al desplazamiento lateral o axial entre dos tramos de cables de fibra adjuntos. La cantidad de pérdida puede ser desde un par hasta varias décimas de decibelio. Estas pérdidas pueden ser despreciables si los ejes de las fibras se alinean a menos de 5% del diámetro de la fibra menor.

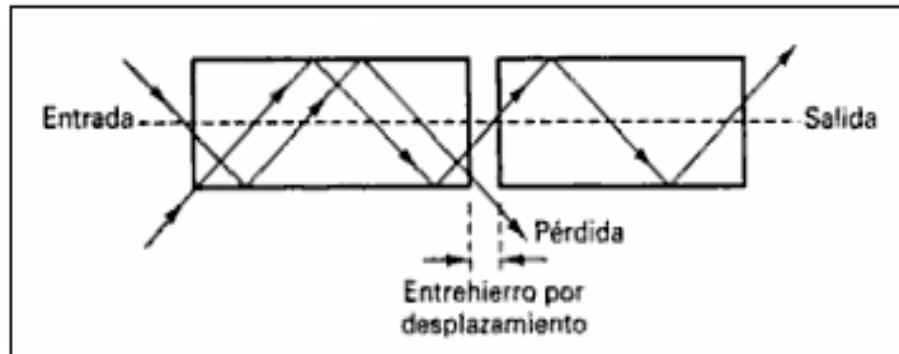


**Figura 24.** Desalineamiento lateral. **Fuente:** Tomasi (2003)

b. Desalineamiento de entrehierro:

También conocido como separación entre extremos. Si dos fibras se unen con un conector, los extremos no se deben tocar, porque al frotarse entre sí

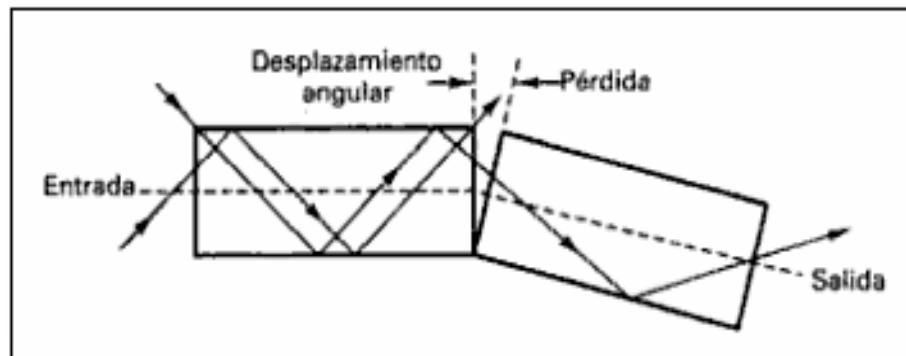
en el conector se podrían dañar una o las dos fibras.



**Figura 25.** Desalineamiento por entrehierro. **Fuente:** Tomasi (2003)

c. Desalineamiento angular:

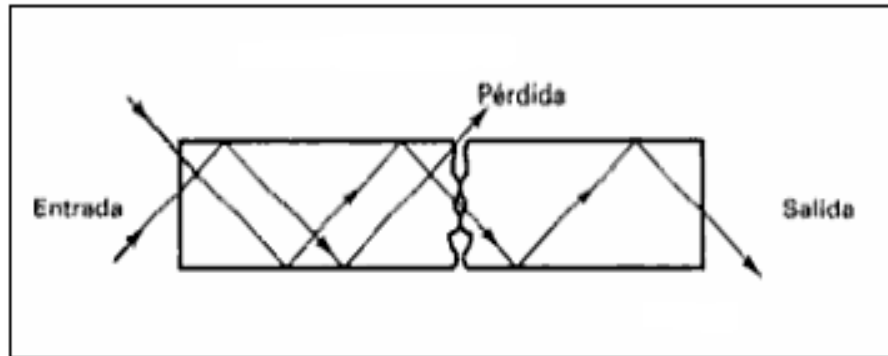
Si es desplazamiento angular es menor que  $2^\circ$ , la pérdida será menor que 05 dB.



**Figura 26.** Desalineamiento angular. **Fuente:** Tomasi (2003)

d. Acabado superficial imperfecto:

Los extremos de las dos fibras adjuntas deben estar muy pulidos y asentar entre sí. Si los extremos de las fibras están a menos de  $3^\circ$  fuera de la perpendicular, las pérdidas serán menores que 0.5 dB.



**Figura 27.** Desalineamiento angular. **Fuente:** Tomasi (2003)

- Absorción, las pérdidas de absorción de radiaciones por lo materiales, ocurre en función del ángulo de incidencia, el material de cubierta y el espesor del mismo. Cuando una onda electromagnética pasa a través de un obstáculo, su amplitud decrece exponencialmente debido a las corrientes inducidas en el mismo. Éstas provocan pérdidas por efecto Joule y por ello disipan calor en el material. La distancia requerida para que la onda sea atenuada ( $1/e$ ) veces, está definida como profundidad de penetración :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{0.0066}{\sqrt{\mu t \sigma t}} \quad \text{Ecuación (1.12)}$$

$\delta$  = profundidad dada en centímetros

$\omega$  = pulsación  $2\pi f$  dada en radianes/segundo

$\mu$  = permeabilidad del material

$\sigma$  = conductividad del material

$\mu t$  = permeabilidad del material relativa al cobre

$\sigma t$  = conductividad del material relativa al cobre



Así, en el caso del cobre esta variables  $\mu t = \sigma t = 1$

| Frecuencia | $\delta$ para mumetal | $\delta$ para cobre | $\delta$ para aluminio | $\delta$ para hierro |
|------------|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| 100 Hz     | 0,028                 | 6,60                | 8,46                   | 0,66                 |
| 1 kHz      | 0,008                 | 2,08                | 2,67                   | 0,20                 |
| 10 kHz     | —                     | 0,66                | 0,84                   | 0,08                 |
| 100 kHz    | —                     | 0,20                | 0,28                   | 0,02                 |
| 1 MHz      | —                     | 0,08                | 0,08                   | 0,008                |
| 10 MHz     | —                     | 0,02                | 0,03                   | 0,002                |

( $\delta$  en mm)

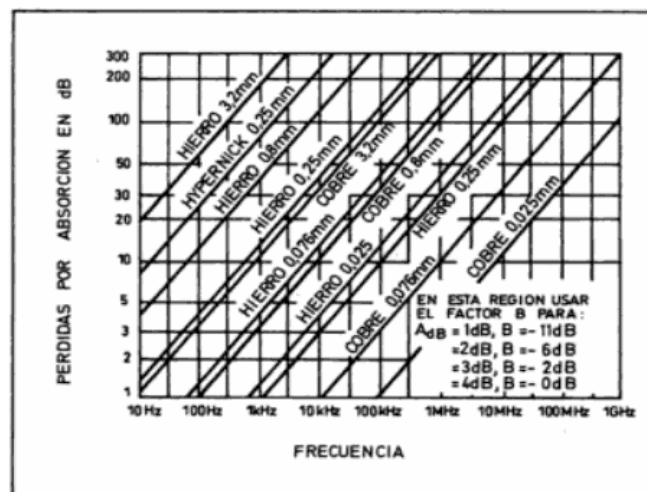
**Figura 28.** Profundidad de penetración  $\delta$  en materiales.

**Fuente:** Balcells (1992)

Las pérdidas por absorción constituyen el principal mecanismo de esquematización en el caso de campos magnéticos de baja frecuencia. La ecuación de las pérdidas por absorción es la siguiente:

$$A = 1314,7 t \sqrt{\mu t \sigma t f} \quad \text{Ecuación (1.13)}$$

Donde  $A$  = absorción expresada en decibelios (dB),  $t$  = espesor en centímetros (cm),  $f$  = frecuencia de la expresada en MHz.



**Figura 29.** Pérdidas por absorción  $A$  en función de la frecuencia para varios espesores. **Fuente:** Balcells (1992)

El gráfico anterior, representa las pérdidas por absorción para varios materiales con una referencia cuantificada del factor  $B$  para la región en que  $A = 4\text{dB}$ . Nótese que se debe aplicar el factor  $B$  debido a las múltiples reflexiones. La ecuación para el cálculo del factor de corrección  $B$  debido a las multi reflexiones es la siguiente:

$$B = 20 \log \left( 1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right) \text{ Ecuación (1.14)}$$

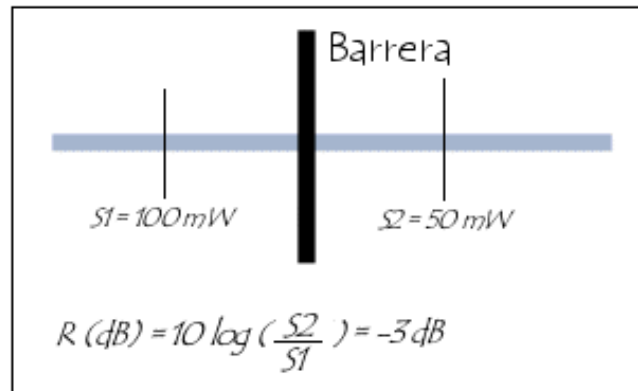
Cuando una onda de radio se topa con un obstáculo, parte de su energía se absorbe y se convierte en otro tipo de energía, mientras que otra parte se atenúa y sigue propagándose. Es posible que otra parte se refleje. Por lo tanto, la atenuación se da cuando la energía de una señal se reduce en el momento de la transmisión.

En los casos de transmisiones inalámbricas, la atenuación es más común y ésta aumenta cuando sube la frecuencia o se aumenta la distancia. Asimismo, cuando la señal choca con un obstáculo, el valor de atenuación depende considerablemente del tipo de material del obstáculo. Los obstáculos metálicos tienden a reflejar una señal, en tanto que el agua la absorbe.

De esta manera, la atenuación se mide en belios (símbolo:  $B$ ) y equivale al logaritmo de base 10 de la intensidad de salida de la transmisión, dividida por la intensidad de entrada. Por lo general, se suelen usar los *decibelios* (símbolo:  $dB$ ) como unidad de medida. Cada decibelio es un décimo de belio, siendo un belio 10 decibelios, la fórmula sería:

$$R(\text{dB}) = 10 \log \left( \frac{S_2}{S_1} \right) \quad \text{Ecuación (1.15)}$$

Cuando R es positivo, se denomina amplificación, y cuando es negativo se denomina atenuación. En función de explicar la relación  $S_1/S_2$ , se realiza el siguiente ejemplo:



**Figura 30.** Relación  $S_1/S_2$ . **Fuente:** Elaboración propia

Ante lo expuesto en este tercer ítem, se puntualiza que las pérdidas de propagación, son aquellas que resultan de la intervención del entorno terrestre en las ondas de radiofrecuencia, es decir, dependen del medio en el que viaja este tipo de ondas electromagnéticas, mientras que las pérdidas de transmisión o trayectoria vienen dadas por el nivel de rendimiento de los equipos, fallas técnicas y tiempo de vida de los mismos y surgen como resultado de las características de las ondas de radio: difracción, refracción, reflexión, absorción, entre otros.

Ahora bien, con respecto al **cuarto ítem**, referente a ¿De qué manera han afectado estas pérdidas al servicio de telefonía celular?, las estadísticas

apuntan a diferentes factores como se nombran a continuación, con el propósito de puntualizar los elementos a considerar para el cálculo de pérdidas de propagación y transmisión dentro de un sistema de comunicación celular bajo la tecnología GSM, así como también las consecuencias de éste tipo de interferencia al momento de la transmisión de datos

De ésta manera, el resultado de éste ítem, señala que un problema inherente a las señales de radio en la gama de 800 a 900 MHz (banda de comunicaciones celulares en la que opera GSM), es que las señales tienden a moverse sólo en líneas rectas a partir de su antena. Dichas ondas de radio de alta frecuencia son debilitadas o atenuadas por la humedad de la atmósfera, reflejada por edificios y superficies lisas tales como agua y pueden ser bloqueadas completamente por obstáculos geográficos grandes como montañas y colinas o cerros.

Cuando un teléfono celular está en movimiento, la intensidad de la señal recibida puede disminuir lo suficiente en algunos casos como para causar interrupciones breves de la señal recibida. Casos más severos pueden impedir que la señal transmitida llegue a la estación de celda. Se observan éstas pérdidas de señal como pausas repentinas en la recepción. Podrían ocurrir una o dos pausas breves, o una serie de pausas de duración variable, dependiendo de la severidad de la circunstancia.

Otra causa común de la pérdida de la señal propagada, ocurre cuando se está en proximidad a la región fronteriza de un área de servicio en la que no

haya otras estaciones que acepten la transferencia de una conversación. En caso de que esto ocurra, se origina ante este escenario, un debilitamiento gradual de la señal hasta que comiencen pérdidas de propagación breves de la señal. Las pérdidas de señal rápidamente empeorarán hasta que quede completamente desconectado el equipo móvil.

Los controles de la estación de celdas generalmente están diseñados para pasar por alto pérdidas menores de señal sin interrumpir una conversación. Sin embargo, algunas pérdidas de propagación de la señal en forma continua o prolongada, pueden hacer que la estación de la celda lo desconecte.

En áreas con colinas o cerros, montañosas o urbes densas, a menudo se experimentan zonas muertas en las que las señales son absorbidas o reflejadas; evitando que las ondas de radio se propaguen hasta el área deseada. Algunas veces una zona muerta puede eliminarse cambiando la localización de la estación de celda dividiendo la celda para añadir estaciones adicionales que cubran adecuadamente el área afectada. En principio, las zonas muertas ocurren por las mismas razones generales que las pérdidas de señal, aunque el área de cobertura débil se presenta a escala mucho mayor.

De este modo, la pérdida de las señales recibidas pueden ser de tanto tiempo, que la estación de celdas interpreta la pérdida de señal como haber colgado la comunicación. La estación de celda responde dejando libre el canal perdido, reasignando los canales según lo necesiten otras llamadas.

En correlación a ésta situación, la parroquia Juana de Ávila se clasifica como favorable para la propagación de ondas electromagnéticas, debido a que su estructura de construcción no comprende edificaciones de gran altitud que pudieran interferir con la alineación de los sistemas, equipos y arquitectura de la tecnología GSM ya establecidas en dicha área.

Así mismo, la temperatura en ésta área, es característica de la zona tropical de sabana, donde el período de lluvia es muy corto y pudiera representar una de las razones de pérdida de transmisión de la información, proporcionando de ésta manera un medio de transmisión en su mayoría seco con cierto grado de humedad.

Por su parte, las ondas de radio (se abrevia RF por Radio Frequency) tal y como se mencionó en el ítem anterior, se propagan en línea recta y en varias direcciones al mismo tiempo. En el vacío, las ondas de radio se propagan a  $3,10^8$  m/s. En cualquier otro medio, la señal se vuelve más débil debido a las pérdidas por las propiedades de las ondas como reflexión, refracción, difracción, entre otros.

Las ondas de radio se propagan en el ambiente bajo una polaridad las cuales se presentan de dos formas diferentes, vertical o horizontal siendo más conveniente para las telecomunicaciones la vertical debido a su mejor propagación ante la presencia de obstáculos por lo que esta es la más utilizada en los radioenlaces.

En relación a las propiedades de los medios, el debilitamiento de la señal se debe en gran parte a las propiedades del medio que atraviesa la onda. La

tabla siguiente muestra los niveles de atenuación para diferentes materiales:

**Tabla 4**

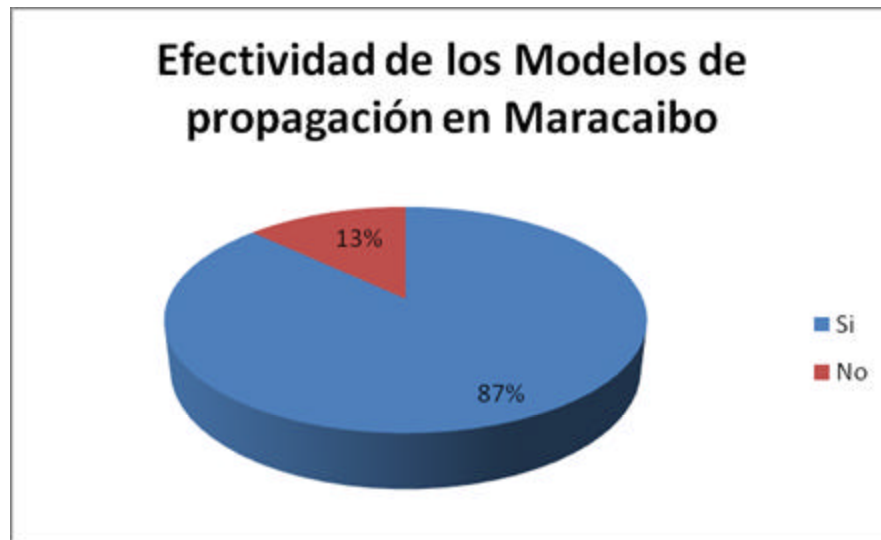
Propiedades de los medios.

| <b>Materiales</b>        | <b>Grado de atenuación</b> | <b>Ejemplos</b>  |
|--------------------------|----------------------------|--|
| Aire                     | Ninguno                    | Aire libre, patio interno  |
| Madera                   | Bajo                       | Puerta, piso, medianera  |
| Plástico                 | Bajo                       | Medianera  |
| Vidrio                   | Bajo                       | Ventanas sin teñir   |
| Vidrio teñido            | Medio                      | Ventanas teñidas   |
| Agua                     | Medio                      | Acuario, fuente  |
| Seres vivientes          | Medio                      | Multitud, animales, personas, plantas                                |
| Ladrillos                | Medio                      | Paredes  |
| Yesc                     | Medio                      | Medianeras   |
| Cerámica                 | Alto                       | Tejas  |
| Papel                    | Alto                       | Bobinas de papel   |
| Concreto                 | Alto                       | Muros de carga, pisos, columnas                                      |
| Vidrio a prueba de balas | Alto                       | Ventanas a prueba de balas   |
| Metal                    | Muy alto                   | Concreto reforzado, espejos, armarios metálicos, cabina del ascensor |

**Fuente:** Mirónov (2007).

Con respecto al **quinto ítem**, referente a la interrogante sobre si realmente es efectivo el modelo de propagación utilizado en Maracaibo, en un 87% las respuestas son afirmativas para esta interrogante siendo el resto del porcentaje 13%, respuestas negativas. Lo que explica que los modelos matemáticos para cálculos de pérdidas de propagación y de transmisión aplicados en el Municipio Maracaibo, los cuales han sido

señalados en ítems anteriores como Okumura, Okumura-Hata y Walfish-Ikegami entre los más destacados, son en general modelos apropiados de acuerdo a las características presentes en la localidad para áreas urbanas y suburbanas. Estos porcentajes son expresados en la figura siguiente:



**Figura 31.** Grafico de porcentaje del quinto ítem.

**Fuente:** Elaboración propia (2010).

El modelo Okumura, es utilizado para predecir la potencia en un receptor ubicado en un área urbana para comunicaciones móviles. Este modelo es aplicable para el rango de frecuencias entre 150 y 1920 MHz, pero puede ser extrapolado sobre los 3.000 MHz. Según este modelo, la distancia máxima de Separación que puede existir entre el transmisor y el Receptor es de hasta 100 km. Las pérdidas existentes en el enlace puede ser obtenido mediante la ecuación siguiente:



$$L_{50} (dB)_{okumura} = PL + A_{mu} (f, d) - G (h_{ts}) - G(h_{rs}) + G_{AREA} \quad \text{Ecuación (1.16)}$$

$L_{50} (dB)_{okumura}$  = Pérdidas por propagación al 50% de recepción de señal.

$PL$  = pérdidas en el espacio libre.

$A_{mu} (f, d)$  = Atenuación media relativa al espacio libre.

$G (h_{ts})$  = Ganancia de la antena transmisora dB.

$G(h_{rs})$  = Ganancia de la antena receptora dB.

$G_{AREA}$  = Factor de corrección dependiente del entorno del lugar.

Okumura encontró que  $G (h_{ts})$  tiene una variación de pérdidas de 20dB/década y que  $G(h_{rs})$  tiene una variación de 10dB/década para alturas menores de 3m.

$$G(h_{rs}) = 20\text{Log}(h_{rs} / 200) \text{ para } 30\text{m} < h_{rs} < 1000\text{m} \quad \text{Ecuación (1.17)}$$

$$G(h_{rs}) = 10\text{Log}(h_{rs} / 3) \text{ para } h_{rs} < 3\text{m} \quad \text{Ecuación (1.18)}$$

$$G(h_{rs}) = 20\text{Log}(h_{rs} / 3) \text{ para } 3\text{m} < h_{rs} < 10\text{m} \quad \text{Ecuación (1.19)}$$

Por su parte, el modelo Okumura - Hata formula empíricamente los gráficos de pérdidas por propagación. Se basa en los datos de las pérdidas de propagación previstos por Okumura y es válido para el rango de frecuencias VHF y UHF pero dentro de los límites de los 150 MHz hasta los 1500 MHz. Las pérdidas existentes en el enlace pueden ser obtenidas por medio de la ecuación anterior, en que se ha incluido el factor de corrección suburbano.

$$L_{50} (dB)_{Hata} = 60.12 + 26.16 \log(fc) - 13.82 \log(h_{te}) - 3.2 (\log(11.75h_{re}))^2 + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) - 2 (\log(fc/28))^2 \quad \text{Ecuación (1.20)}$$

$L_{50} (dB)_{Hata}$  = Pérdidas por propagación al 50% de recepción de señal

$fc$  = Frecuencia portadora en MHz.

$h_{te}$  = Altura efectiva de la antena transmisora en metros.

$h_{re}$  = Altura efectiva de la antena receptora en metros.

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en km.

Para ésta ecuación se deben tomar en cuenta ciertas restricciones como:

- 150 MHz <  $fc$  < 1500 MHz.
- 30m <  $h_{te}$  < 200m.
- 1m <  $h_{re}$  < 10m.

$fc$  = frecuencia portadora en MHz

$h_{te}$  = la altura de la antena transmisora en metros para un rango que va de 30m a 200m

$h_{re}$  = altura de la antena receptora en metros para un rango que va de 30m a 200m.

De la misma manera, el modelo Walfish – Ikegami se basa en parámetros como densidad de edificios en ambientes urbanos, altura promedio de los edificios, anchura de las calles, separación entre los edificios, dirección de la calle con respecto a la trayectoria directa de la antena transmisora y antena receptora. Es un modelo híbrido para sistemas celulares PCS de corto alcance, y puede ser utilizado en las bandas Ultra High Frequency UHF y

Super High Frequency SHF. Se utiliza para predicciones en micro células para telefonía celular.

Las pérdidas se modelan en las ecuaciones siguientes:

a. Cuando no hay línea de vista entre las antenas:

$$L_p(dB) = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad \text{Ecuación (1.21)}$$

b. Cuando hay línea de vista entre las antenas

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad \text{Ecuación (1.22)}$$

$L_o$  = pérdidas por el espacio libre

$L_{rts}$  = pérdidas por difracción de múltiples esquinas de los techos y de los edificios

$L_{msd}$  = pérdidas debido a una difracción final cuando la onda se propaga hacia la calle

$L_b$  puede llegar a ser mínimo de  $L_o$  cuando  $L_{rts} + L_{msd} = 0$

La determinación de  $L_{rts}$  se basa en el modelo Ikegami junto con el ancho de las calles y la orientación de estas con respecto a las antenas transmisoras.

Ahora bien, luego de haber obtenido los resultados explicados anteriormente, se considera esta primera fase de investigación como conclusa, debido a que se logró exitosamente observar y analizar los modelos de propagación aplicados dentro de la parroquia Juana de Ávila, de acuerdo a las características geográficas, topográficas y ambientales obtenidas de la observación directa aplicada, pudiendo determinar que es un área suburbana.

Del mismo modo, luego de cumplir con el instrumento de recolección de información, expresado como un guión de encuesta, dirigido a expertos en el área de modelos de propagación, se pudo comprobar que la tecnología GSM es una de las tecnologías actualmente utilizadas para proporcionar servicios de comunicación en el Municipio Maracaibo; que los modelos de propagación Okumura, Okumura –Hata y Walfish – Ikegami han sido comúnmente utilizados por las compañías de telecomunicaciones, para el cálculo de pérdidas de propagación de la señal GSM que ellas envían, así como también se especifican la relación matemática para cada uno de estos modelos.

Así mismo, se comprobó que la propagación en cuanto a pérdidas de transmisión, en el Municipio Maracaibo es calificada en un 72% como aceptable, considerando la influencia del contorno del terreno, las características y longitud de las ondas de radiofrecuencia emitidas, también se obtuvo como resultado, que la Parroquia Juana de Ávila, por ser un ambiente suburbano con clima poco lluvioso y por no presentar obstáculos de gran altitud o densidad, representa un escenario que pudiera decirse favorable para la propagación de ondas de radio en el rango de frecuencias en el que opera la tecnología GSM entre 800 – 900 MHz.

En función de cumplir con el segundo objetivo específico de esta investigación, que trata sobre **comparar las pérdidas de transmisión generadas por los modelos de propagación entre sí, en cuanto a**

**telefonía celular GSM dentro de la Parroquia Juana de Ávila**, correspondiente a la segunda fase metodológica del cronograma de actividades, orientada a la **proyección y ejecución de los modelos**, se realizaron los respectivos cálculos de pérdidas de propagación en función de las pérdidas de transmisión, con el propósito de evaluar los tres modelos de propagación dominantes en porcentaje, resultantes de la herramienta de recolección de datos aplicada en la primera fase de esta investigación.

Así mismo, para lograr desarrollar éste objetivo, es necesario especificar sobre de los enlaces presentes en la parroquia Juana de Ávila, de manera de definir la muestra seleccionada, que en este caso, son los tres enlaces principales obtenidos mediante la observación directa en dicha localidad, con el propósito de analizar detenidamente cada uno de ellos para evaluar su rendimiento en cuanto a transmisión de datos y calidad de servicio de manera individual. Los enlaces de comunicación GSM seleccionados en la parroquia Juana de Ávila son:

- **San Jacinto → Milagro Norte ( caminos del Doral)**
- **San Jacinto → Mara Norte**
- **San Jacinto → Sambil**

A partir de los resultados obtenidos se elaboró el mapa correspondiente a la ubicación geográfica de los enlaces mencionados (figura 31), de acuerdo a las coordenadas de longitud y latitud obtenidas mediante el uso del equipo GPS modelo Garmin Nuvi 205 w. Este dispositivo de Sistema

Satelital de Posicionamiento (GPS) cuenta con funciones de navegación avanzada y a su vez incluye funciones como visor de imágenes de estructura y es un dispositivo de fácil uso, con instrucciones precisas para descargar los mapas del sitio.



**Figura 32.** Mapa geográfico de Enlaces de comunicación.

**Fuente:** Google Maps (2010)

Luego de la implementación del equipo GSM modelo Garmin Nuvi 205 w, para la búsqueda de la posición geográfica de bs enlaces mostrados en la figura 31, se determinó que dichos enlaces están ubicados según sus coordenadas de latitud y longitud como se muestra:

- **San Jacinto** → **Milagro Norte** ( caminos del Doral)

|               |                |
|---------------|----------------|
| Latitud:      | Latitud:       |
| 10° 42' 58 N  | 10° 42' 32.7 N |
| Longitud:     | Longitud:      |
| 71° 37' 24" O | 71° 36' 58" O  |

Distancia del Enlace: 1.04 km

En dirección: 310.85°

- **San Jacinto** → **Mara Norte**

|               |               |
|---------------|---------------|
| Latitud:      | Latitud:      |
| 10° 42' 58 N  | 10° 42' 33 N  |
| Longitud:     | Longitud:     |
| 71° 37' 24" O | 71° 38' 12" O |

Distancia del Enlace: 1.67 km

En Dirección: 61.26°

- **San Jacinto** → **Sambil**

|              |              |
|--------------|--------------|
| Latitud:     | Latitud:     |
| 10° 42' 58 N | 10° 43' 32 N |
| Longitud:    | Longitud:    |

71° 37' 24" O          71° 38' 03" O

Distancia del Enlace: 1.56 km

En Dirección: 130.90°

A partir de la información obtenida, a continuación se desarrollan los modelos de propagación mencionados, sean estos, Okumura, Okumura-Hata y Walfish – Ikimigami, en su forma matemática, en función de evaluar las pérdidas en decibeles de la potencia para un ambiente suburbano señalado como la parroquia Juana de Ávila, de la siguiente manera:

#### a. CÁLCULO DE MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA

En éste sentido, el modelo matemático Okumura, se desarrolla utilizando la Ecuación (1.16):

$$L_{50} (dB)_{okumura} = PL + A_{mu} (f, d) - G (h_{te}) - G(h_{re}) + G_{AREA}$$

Donde:

$L_{50} (dB)_{okumura}$  = Pérdidas por propagación al 50% de recepción de señal

$PL$  = pérdidas en el espacio libre

$A_{mu} (f, d)$  = Atenuación media relativa al espacio libre

$G (h_{te})$  = Ganancia de la antena transmisora dB

$G(h_{re})$  = Ganancia de la antena receptora dB

$G_{AREA}$  = Factor de corrección dependiente del entorno del lugar

Luego, para desarrollar la ecuación anterior, referente al modelo de



propagación de señales de radio frecuencia, es necesario determinar el valor de las variables que en ella están presentes, cuyos valores no hayan sido especificados hasta ahora. En este orden de ideas, se procede a desarrollar las siguientes ecuaciones:

$$PL (dB) = -10 \log \left( \frac{G(h_{te})G(h_{re})\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \text{ Ecuación (1.23)}$$

$\lambda^2$  = longitud de onda en metros

$d^2$  = distancia entre la antena transmisora y receptora en metros

En la que:

$$c = \lambda \cdot f \text{ Ecuación (1.24)}$$

$c$  = velocidad de la luz [m/s] ( $3 \times 10^8 \frac{m}{s} = 300.000 \frac{km}{s}$  en el vacío)

$\lambda$  = longitud de onda en metros, m

$f$  = frecuencia expresada en Hz, la que a su vez se representa como  $\frac{1}{seg}$

**Tabla 5**

Variables para el modelo Okumura

| ENLACES      | FRECUENCIA | DISTANCIA | Gt    | Gr    | ?      |
|--------------|------------|-----------|-------|-------|--------|
| → Doral      | 900Mhz     | 1004 m    | 36.75 | 35.44 | 0.33 m |
| → Mara Norte | 900Mhz     | 10640 m   | 50    | 48.3  | 0.33 m |
| → Sambil     | 900Mhz     | 2150 m    | 36.75 | 35.44 | 0.33 m |

Fuente: Elaboración propia (2010)

En la tabla 5, se muestran los valores de las variables necesarias para resolver la ecuación, considerando como valores estándar la frecuencia en 900MHz, las distancias de cobertura entre los enlaces, las ganancias en dB de las antenas transmisora y receptora y la longitud de onda, la cual fue calculada en la Ecuación (1.24)

Al obtener todos los valores de la Ecuación (1.23), se sustituyen en la misma para calcular las pérdidas del espacio libre PL, para los enlaces mostrados en la tabla anterior, de esta manera se logran los siguientes resultados:

Pérdidas en el espacio libre:

- **San Jacinto → Caminos del Doral**

$$PL (dB) = -10 \log \left( \frac{G(h_{te})G(h_{re})\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) = PL (dB) = 54.78$$

- **San Jacinto → Mara Norte**

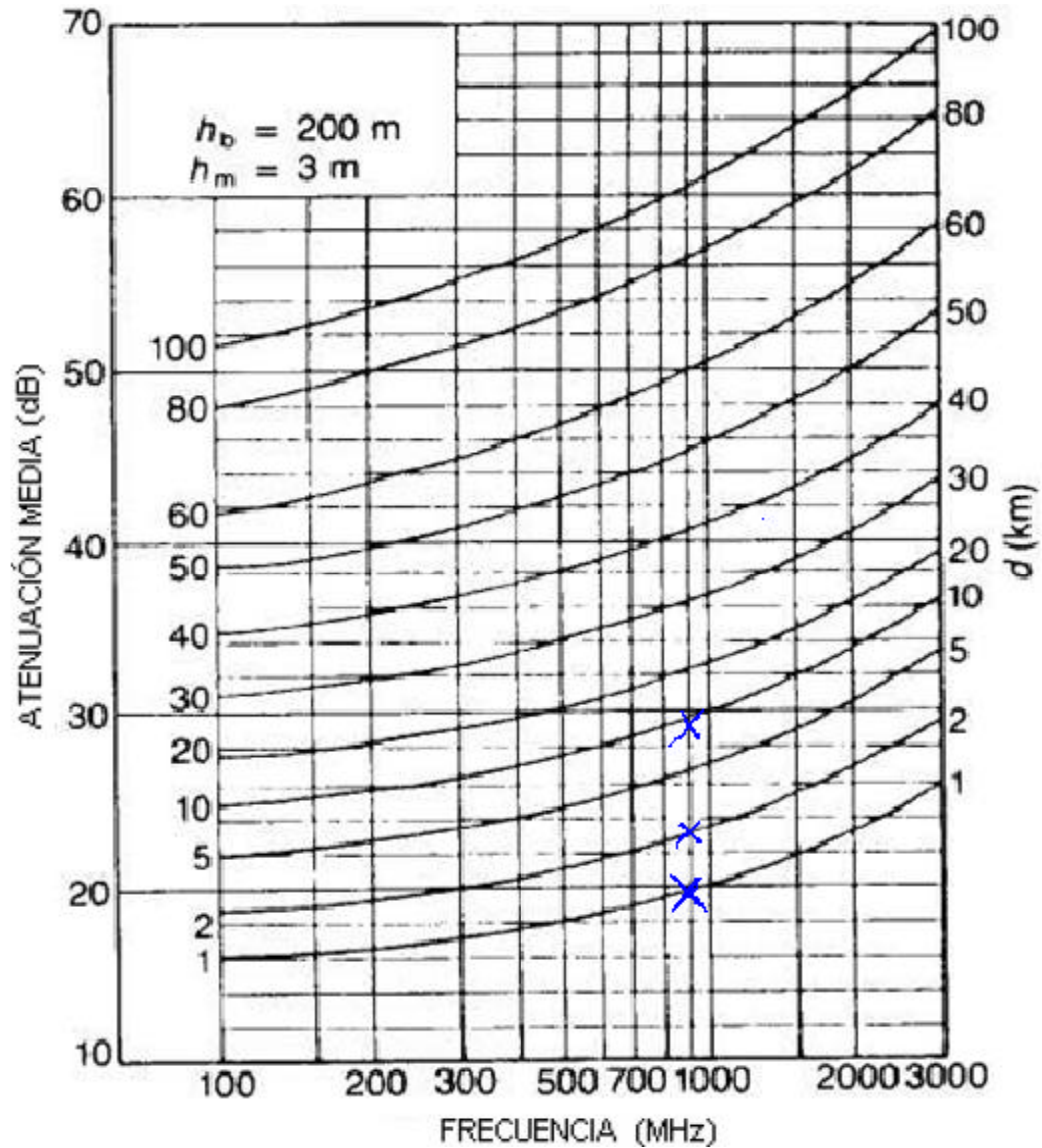
$$PL (dB) = -10 \log \left( \frac{G(h_{te})G(h_{re})\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) = PL (dB) = 71.67$$

- **San Jacinto → Sambil**

$$PL (dB) = -10 \log \left( \frac{G(h_{te})G(h_{re})\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) = PL (dB) = 61.15$$

Del mismo modo, Okumura desarrollo un set de curvas para poder obtener el valor de la atenuación media relativa al espacio libre, la cual se usa como nivel de referencia, para una zona suburbana sobre terreno casi plano, en base a diferentes medidas, además de parámetros

predefinidos. Los valores obtenidos de esta curva logarítmica son aproximaciones del valor real y se obtienen a partir del cruce entre las líneas de distancia en metro, con las líneas de frecuencia expresada en MHz, tal y como se observa en la figura:



**Figura 33.** Gráfica logarítmica para calcular la atenuación media.

**Fuente:** Pérez, Vega (2007)

En cada uno de los enlaces estudiados, se debe identificar la atenuación media promedio, para ello, se toma el valor izquierdo de la gráfica  $[(A)_{mu}(f, d)]$ , donde se interceptan los valores de frecuencia en MHz con respecto a la distancia en kilómetros, de esta manera se presentan los resultados:

- **San Jacinto → Doral**

Para la distancia de 1 km y frecuencia de 900 MHz se obtiene a partir de la gráfica logarítmica, una atenuación aproximada de 20dB.

- **San Jacinto → Mara Norte**

Para la distancia de 10 km y frecuencia de 900 MHz se obtiene una atenuación aproximada de 30dB.

- **San Jacinto → Sambil**

Para la distancia de 2 km y frecuencia de 900 MHz se tiene una atenuación aproximada de 22dB.

Consecutivamente, el factor de corrección dependiente del entorno del lugar  $G_{AREA}$ , en este caso definido como ambiente suburbano, que se aplicará a los enlaces analizados en esta evaluación, tiene un valor constante de 145.7 tal y como lo especifica Okumura en el modelo de propagación, debido al tipo de edificación que se encuentra en la parroquia Juana de Ávila.

Ahora bien, resolviendo la ecuación del modelo Okumura,

$L_{50} (dB)_{okumura} = PL + A_{mu} (f, d) - G (h_{te}) - G(h_{re}) + G_{AREA}$ , a partir de los valores obtenidos anteriormente se pueden expresar los resultados para cada enlace seleccionado como se muestra en la tabla de resultados como se muestra.

**Tabla 6**

Resultados de acuerdo a Okumura

| Enlaces                  | Perdidas<br>$L_{50} (dB)_{okumura}$ |
|--------------------------|-------------------------------------|
| San Jacinto → Doral      | 149.7                               |
| San Jacinto → Mara Norte | 151.07                              |
| San Jacinto → Sambil     | 155.85                              |

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

Este procedimiento se realizó en función de evaluar el tamaño de las celdas en las que se dividen los radioenlaces seleccionados, para obtener el análisis de potencia, en razón de las pérdidas máximas permitidas por los estándares establecidos por la ITU, por lo que se dedujo a partir de los resultados mostrados en la tabla 6, que el uso de las pérdidas de Okumura, permite el factor de corrección de 145.7 con el objeto de tener un alcance de celda mayor, observándose de esta manera que a mayor distancia mayor será la pérdida y a mayor altura de la antena mejor será la cobertura. Esto es en razón de las ventajas de este modelo aplicado a zonas suburbanas.

## **b. CÁLCULO DE MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA – HATA**

Con el proposito de continuar con la evaluación de los modelos de

propagación obtenidos de la fase I, se realizan los cálculos matemáticos del modelo Okumura-Hata, para predecir la atenuación en zonas urbanas considerando los efectos de desvanecimiento de la señal o variación instantánea en un cualquier punto de los tres diferentes radioenlaces estudiados en esta investigación. De esta manera, la pérdida en zonas urbanas se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_{50} (dB)_{Hata} = 60.12 + 26.16 \log(fc) - 13.82 \log(h_{te}) - 3.2 (\log(11.75h_{re}))^2 + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) - 2 (\log(fc/28))^2 \quad \text{Ecuación (1.20)}$$

$L_{50} (dB)_{Hata}$  = Pérdidas por propagación al 50% de recepción de señal.

$fc$  = Frecuencia portadora en MHz de 900MHz.

$h_{te}$  = Altura efectiva de la antena transmisora en metros.

$h_{re}$  = Altura efectiva de la antena receptora en metros.

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en km.

**Tabla 7**

Resultados para el modelo Okumura - Hata

| Enlaces    | Frecuencia | Altura Efectiva transmisor | Altura Efectiva receptor | Distancia | Perdidas $L_{50} (dB)_{Hata}$ |
|------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------------|
| Doral      | 900 MHz    | 20 m                       | 3 m                      | 1 km      | 197.06                        |
| Mara Norte | 900 MHz    | 20 m                       | 3 m                      | 1.67 km   | 215.6                         |
| Sambil     | 900 MHz    | 20 m                       | 3 m                      | 2.1 km    | 197.4                         |

**Fuente:** Elaboración Propia (2010)

Luego de evaluar el modelo de propagación Okumura – Hata y de

determinar las pérdidas en cada radioenlace, se puede deducir que la atenuación es mayor a medida que aumenta la distancia de cobertura en cada uno de los enlaces, sin embargo, en este tipo de modelo de propagación, al variar la frecuencia de manera ascendente se pueden obtener valores de pérdidas menores.

### c. CÁLCULO DE MODELO DE PROPAGACIÓN WALFISH – IKEGAMI

En función de continuar con el proceso de investigación sobre la evaluación de los modelos de propagación, se realizaron los cálculos matemáticos de la siguiente fórmula:  $L_p(dB) = 42.6 + 26\log(d) + 20\log(f)$  Ecuación (1.21), la cual se utiliza para realizar un análisis de la atenuación de este modelo que en general es aplicado a zonas densamente pobladas y toma en consideración la distancia y la frecuencia como factores determinantes en cuanto a pérdidas, en un ambiente con líneas de vista exactas entre las antenas de los enlaces.

**Tabla 8**

Resultados para el modelo Walfish – Ikegami

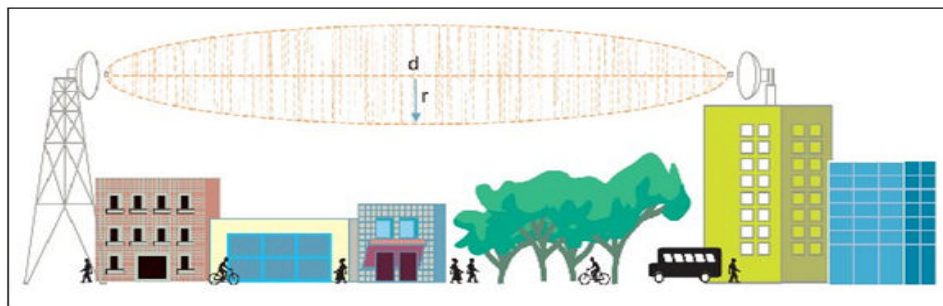
| Enlace     | Frecuencia | Distancia | Perdidas $L_p$ (dB) |
|------------|------------|-----------|---------------------|
| Doral      | 900 MHz    | 1 Km      | 179.68              |
| Mara Norte | 900 MHz    | 1.67 Km   | 205.76              |
| Sambil     | 900 MHz    | 2.1 Km    | 187.51              |

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

Luego de evaluar el modelo Walfish – Ikegami, se puede observar a partir

de la tabla 8 de resultados, que las pérdidas por trayectoria de la señal aumenta a medida que la distancia del radioenlace es mayor, resultado que es de esperarse en este caso, en virtud de que la teoría que sustenta este modelo es apta para ambientes urbanos o ciudades bastante desarrolladas por lo que las caracteriza de una mejor manera, caso contrario para ambientes suburbanos.

Por otro lado, uno de los aspectos menos favorables en el modelo de propagación Walfish – Ikegami, es que requiere de la existencia de una perfecta línea de vista entre las antenas de transmisión y recepción del radioenlace, como se muestra en la figura 31, de lo contrario, habrá mayor atenuación de la señal, siendo de esta manera, un sistema empleado para tecnologías celulares de corto alcance, es el caso de las microcélulas las cuales están comprendidas entre los 30 y 40 metros de cobertura radial. Este factor es una de las razones que lo convierten en un modelo de propagación no factible para esta investigación puesto que se estudian celdas de cobertura con distancias de 1km de radio.



**Figura 34.** Radioenlace con línea de vista plena. **Fuente:** García (2002)

El modelo de propagación Walfish – Ikegami, a pesar de proponer



en su teoría una ecuación alternativa para casos en los que no existe una línea de vista directa, sigue siendo considerablemente inexacta para calcular la atenuación de señales entre radioenlaces diseñados dentro de zonas suburbanas.

Luego de haber definido los valores en las expresiones matemáticas aplicadas a cada uno de los radioenlaces especificados en esta fase, se realiza la siguiente tabla con el objeto de registrar los resultados obtenidos, en función de realizar finalmente la comparación de los modelos de propagación Okumura, Okumura-Hata y Walfish-ikegami, para el cálculo de la atenuación de una señal de radio y determinar el mas eficiente de acuerdo a los requerimientos de esta investigación.

**Tabla 9**

Resultados para el modelo Walfish – Ikegami

| Radioenlace              | Okumura | Okumura-Hata | Walfish – Ikegami |
|--------------------------|---------|--------------|-------------------|
| San Jacinto → Doral      | 149.7   | 197.06       | 179.68            |
| San Jacinto → Mara Norte | 149.07  | 215.6        | 205.68            |
| San Jacinto → Sambil     | 156.85  | 197.4        | 187.51            |

**Fuente:** Elaboración Propia (2010)

En la tabla mostrada se expresan los valores de las pérdidas de cada uno de los modelos de propagación aplicados a los enlaces de comunicación estudiados, pudiendo determinar entonces que el modelo de Okumura es el

que arroja menos pérdidas de potencia de la señal transmitida, por lo que se puede considerar como el más adecuado, mostrando un 20 % de mejor eficiencia en comparación con los otros modelos presentes en el área.

Ahora bien, en este punto de la investigación, se han definido los modelos mas conocidos que han sido aplicados a un caso específico, siendo este, la parroquia Juana de Ávila, mediante el cálculo de los parámetros matemáticos, teniendo en consideración los valores de altura, distancia, terreno, y características topográficas de la zona, realizando una comparación cuyos resultados finales fueron expresados en las tabla 9, a partir de los cuales se puede concluir que el modelo de propagación Okumura, presenta un mejor desempeño para áreas suburbanas, en referencia de los modelos Okumura – Hata y Walfish – Ikegami.

Con el propósito de dar cumplimiento al tercer objetivo de esta investigación, dirigido a **determinar la efectividad de la arquitectura existente en redes celulares del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila**, correspondiente a la tercera fase metodológica, orientada a **integración de la tecnología GSM para determinar la efectividad**, a continuación se explican los siguientes aspectos referentes a la arquitectura de red para el sistema móvil de telefonía GSM.

En función de dar cumplimiento a este objetivo, la primera actividad tuvo como objetivo realizar una revisión de la arquitectura de la red mediante manuales técnicos relacionados con el tema, distintos software y planos

pertinentes al área, determinando así, que la red GSM es un sistema de telefonía móvil celular, cuyos principales usos son la transmisión móvil de voz o de datos y opera en las bandas de 850 MHz y 900 MHz dependiendo de la compañía proveedora de servicios.

Para el estudio de la arquitectura de la red GSM en la parroquia Juana de Ávila es necesario conocer su estructura tecnológica, así como también el tipo de datos que operan en cada radioenlace. De ésta manera, con el objeto de llevar a cabo la recolección de los datos, se efectuaron las siguientes actividades, en función de evaluar los enlaces en la localidad, las cuales son las siguientes:

- Obtener las características de los equipos existentes en cada una de las estaciones, así como también conocer su implementación y rangos óptimos de trabajo, mediante la observación directa, manuales técnicos y las especificaciones del fabricante como fuentes.

En esta etapa se presenta un análisis de la red de los enlaces estudiados, donde se destacan las principales características de la red GSM, su estructura y cada elemento que conforma el proceso que corresponde a la recepción, procesamiento y transmisión de los datos, como se describe:

En una red de telefonía celular GSM, los usuarios comparten el acceso al medio a través de distintos canales de datos, utilizando el protocolo TDMA Acceso Múltiple por División de Tiempo, que es una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras ("slots") alternas de

tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

A cada persona que hace una llamada se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferir entre ellos. En GSM cada frecuencia se divide en ocho ranuras de tiempo, es un proceso digital que se puede aplicar cuando la capacidad de la tasa de datos de la transmisión es mayor que la tasa de datos necesaria requerida por los dispositivos emisores y receptores. En este caso, múltiples transmisiones pueden ocupar un único enlace subdividiéndole y entrelazándose las porciones.

La tecnología GSM, también utiliza el protocolo FDMA Acceso Múltiple por División de Frecuencia, el cual envuelve la división de frecuencia del ancho de banda total, de 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de ancho de banda de 200 KHz. Una o más frecuencias portadoras están entonces asignadas a cada estación base. Cada una de estas frecuencias portadoras es entonces dividida en el tiempo, usando un esquema TDMA, en ocho canales de tiempo. Un canal (slot) de tiempo es usado para transmitir por el móvil y uno para recibir. Ellos están separados en el tiempo, ya que el móvil no recibe y transmite al mismo tiempo, un hecho que simplifica la electrónica.

Del mismo modo, se puede especificar que este tipo de sistema de comunicación GSM, es Dúplex por División de Frecuencia, lo que significa que el transmisor y receptor operan a diferentes frecuencias portadoras, es

decir, que tanto el canal de transmisión como el canal de recepción del móvil operan a diferentes frecuencias. Es por ellos que el sistema permite la comunicación en ambas direcciones, ya que el intercambio de datos sucede de forma simultánea.

Asimismo, el enlace ascendente o Uplink es asignado para GSM en 900 MHz, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en las bandas de 890-915 MHz para el enlace ascendente (estación móvil a estación base) y es en esta parte donde se amplifica la señal.

Dentro de la arquitectura de red de GSM presente en las estaciones de los radioenlaces observados en la parroquia Juana de Ávila, se encuentra el Subsistema de Red, el cual se ocupa de las funciones de control y manejo de todos los procesos de la red y comprende un conjunto de elementos que se encargan de una función específica en el sistema:

- a. El MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles), es el elemento principal del NSS desde el punto de vista del control de llamadas. El MSC es responsable del control de llamadas funciones de control del BSS, funciones de funcionamiento, tarificación, estadística y señalización de los interfaces.
- b. El HLR (Registro de Posición Base) es el lugar donde se almacenan permanentemente todos los datos del abonado. El HLR también proporciona una posición conocida, fija, para la información del encaminamiento de variables. Las funciones principales del HLR son los datos del abonado y

gestión de servicios, estadísticas y gestión de la movilidad.

c. El VLR (Registro de Posición Visitante), es la memoria local para las variables y funciones necesarias para gestionar llamadas hacia y desde un abonado móvil en el área correspondiente al VLR, este gestiona toda llamada que realice un visitante y gestiona el proceso necesario para su realización,.

d. El AC (Centro de Autenticación) y el EIR (Registro de Identificación del Equipo) son elementos de la red del NSS que se ocupan de los aspectos relacionados con la seguridad. El AC se ocupa de la información de seguridad de identidad del abonado junto con el VLR. El EIR se ocupa de la información de seguridad del equipo móvil (hardware) junto con el VLR.

La parte NSS de la red GSM (y de otras redes detrás del NSS) utilizan codificación a 64 kbits/s y por lo tanto se necesita un conversor capaz de manejar ambos métodos de codificación. Este conversor se llama TC (TransCoder). Por lo que cada canal en las estaciones estudiadas es de 64 kbits/s.

Toda red de telefonía celular GSM en general, tiene una ruta digital de radio, donde se transfieren bits a través de una interfaz en el aire. Debido a este formato de bits, la información transferida emplea un espectro de frecuencias considerablemente ancho: cuanto mayor sea la velocidad de bits usada, se necesitará un espectro más ancho. Si el espectro es ancho se reduce la capacidad de la interfaz en el aire.

Esta es la razón por la que el sistema de codificación de la voz que se

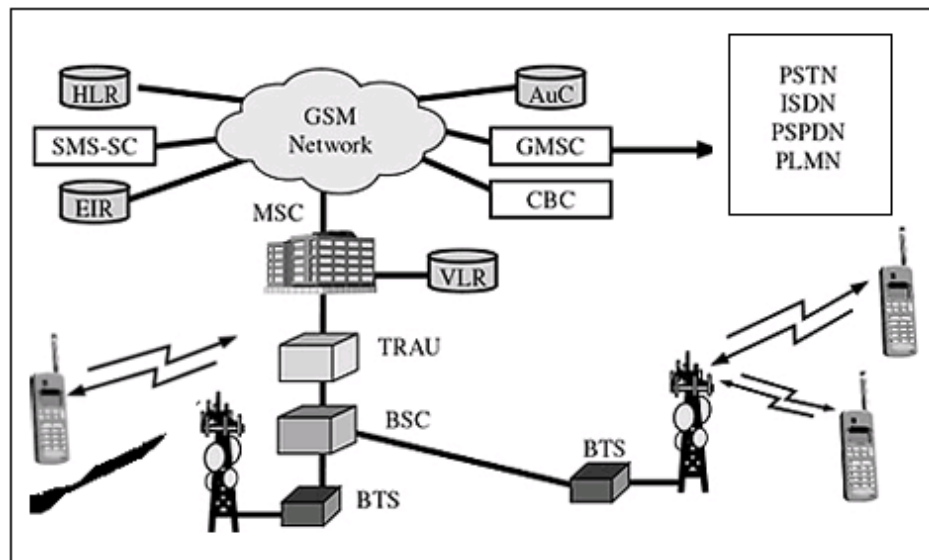
utiliza en las redes PSTN/ISDN no es adecuada como tal, al interfaz en el aire en GSM. Las redes PSTN/ISDN utilizan el formato de codificación Ley-A generando 64 kbits/s de flujo de información digital por cada canal de tráfico. Si este flujo de bits se transfiriese a través de ésta Interfaz en el Aire, el espectro de frecuencias sería tan ancho que no sería razonable.

Para mantener la capacidad de dicha interfaz, el sistema GSM introduce otra forma de codificar (y decodificar) la voz. El sistema de codificación utilizado se llama RPE-LTP (Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction) que es una forma más efectiva de convertir voz en bits. Utilizando este sistema de codificación, la codificación de voz ocupa 13 kbit/s en lugar de 64 kbit/s. Sin embargo, la parte NSS de la red GSM (y de otras redes detrás del NSS) utilizan codificación a 64 kbits/s y por lo tanto se necesita un conversor capaz de manejar ambos métodos de codificación. Este conversor se llama TC (TransCoder).

El procesamiento de la voz en este contexto significa que las funciones que la BTS y la MS realizan, para garantizar una transferencia de información libre de errores, son la codificación de bloques, la codificación convolucional y el entrelazado. La codificación de bloques es para la detección de errores, la codificación convolucional para la corrección de errores y el entrelazado es tanto para detección como para corrección.

Las características de la interconexión de la red y todos los equipos que en ella actúan fueron obtenidos de la revisión de manuales técnicos y las especificaciones del operador y a continuación se muestra la arquitectura

para el funcionamiento de la red en la figura 33, donde se representa una ilustración de la red GSM:



**Figura 35.** Estructura de la red GSM. **Fuente:** Gorricho (2002).

En base a determinar la configuración de cada equipo, sus funciones y los servicios brindados a los usuarios, al visitar cada una de las estaciones, se pudo comprobar mediante la observación directa y la revisión de manuales técnicos, los equipos existentes en cada una de las estaciones estudiadas, cuyas características e información recopilada, se presentan en párrafos siguientes :

Con respecto a todas las estaciones que fueron evaluadas en el presente trabajo de investigación, se pudo determinar mediante la observación directa, que todas ellas cuentan con el mismo tipo de mástil, el cual es utilizado para dar la altura requerida para las antenas de los radioenlaces, también son llamados comúnmente torre, el cual se describe en la siguiente tabla:



**Tabla 10**

## Especificaciones del mástil

| Características         | Valores                                |
|-------------------------|--|
| Altura                  | 60m                                    |
| Longitud de tubo y peso | 9 "tubo - 10 m / m 3, 88 libras /40 kg |
| Alambre                 | Tipo galvanizado                       |
| Par de apriete          | 18 pulgadas-libras                     |

**Fuente:** Manual ITU 2001.

Luego de realizar las visitas a la zona seleccionada para el estudio, las cuales fueron previamente planificadas en el cronograma de actividades, e implementar los instrumentos de recolección de datos en forma de observación directa y revisión de manuales, en cada una de las estaciones dentro de la parroquia Juana de Ávila, a continuación se muestran las siguientes tablas 11, 12,13, con la información de los equipos de radio, utilizados para la transmisión de señales a la antena en forma de pulsos eléctricos, presentes en cada enlace:

**Tabla 11**

## Equipo de radio enlace San Jacinto → Caminos del Doral

| Enlace      | Marca    | Modelo     | Capacidad | Configuración |
|-------------|----------|------------|-----------|---------------|
| San Jacinto | Ericsson | Minilink E | 16x2      | 1+1           |
| Doral       | Ericsson | Minilink E | 16x2      | 1+1           |

**Fuente:** Elaboración propia (2010).

**Tabla 12**

Equipo de radio enlace San Jacinto → Mara Norte

| Enlaces     | Marca    | Modelo     | Capacidad | Configuración |
|-------------|----------|------------|-----------|---------------|
| San Jacinto | Ericsson | Minilink E | 16x2      | 1+1           |
| Mara Norte  | Ericsson | Minilink E | 16x2      | 1+1           |

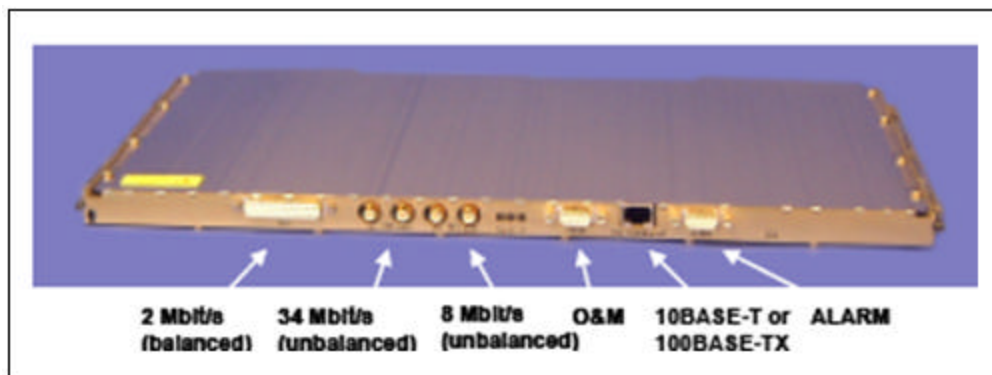
**Fuente:** Elaboración propia (2010)**Tabla 13**

Equipo de radio enlace San Jacinto → Sambil

| Enlaces     | Modelo     | Capacidad | Configuración | Modelo     |
|-------------|------------|-----------|---------------|------------|
| San Jacinto | Minilink E | 16x2      | 1+1           | Minilink E |
| Sambil      | Minilink E | 16x2      | 1+1           | Minilink E |

**Fuente:** Elaboración propia (2010)

Como se puede observar en las tablas, todos los radios son modelo MINI-LINK E, que es la solución de Ericsson para enlaces punto a punto en la banda de radio de microondas (7GHz a 38GHz) que se aplica a cualquier requerimiento donde se necesite acceso y transmisión de banda ancha con características para redes totalmente flexibles, de alta confiabilidad y rápida instalación, tanto en configuraciones simples, estrella o de anillo, como se muestra en la figura 34, donde se refleja también la estructura general de un radio Ericsson y sus especificaciones técnicas:



**Figura 36.**Componentes del Radio Ericsson. **Fuente:** Manual Ericsson 2006.

En la figura 35, se presenta una red de GSM con cuatro enlaces interconectados entre si para la transmisión y control de datos de la arquitectura donde cada uno de ellos brinda cobertura en un área específica, el ambiente es suburbano con presencia de algunas edificaciones pero con una buena línea de vista en las antenas:

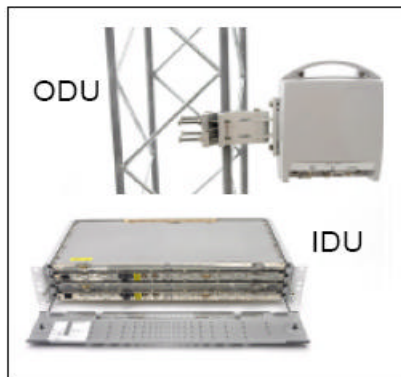


**Figura 37.** Radio enlaces. **Fuente:** Gorricho (2002).

En la figura anterior se presenta la interconexión de un conjunto de estaciones, las cuales se comunican entre sí a través de la red diseñada y a su vez cada una de ellas brinda cobertura a los usuarios que se encuentren dentro de una de sus celdas, de esta manera se mantiene la organización y administración de la red esto presenta las siguientes ventajas:

- a. Alta confiabilidad y bajo costo de mantenimiento.
- b. Rápido diseño, fácil instalación y configuración de la red.
- c. Uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- d. Inmunidad a las interferencias.
- e. Modo protegido, diversidad de frecuencia y espacio.

Cada terminal puede ser configurado sin protección (1+0) o protegido (1+1), empleando diversidad de frecuencia y espacio. Sin embargo, hay disponible un nuevo "Power Splitter" integrado para configuraciones protegidas que hace posible instalar dos unidades de radio directamente a una sola antena, sin necesidad de usar guías de ondas separadas, teniendo en cuenta cada odu y idu como se muestra en la figura 36:



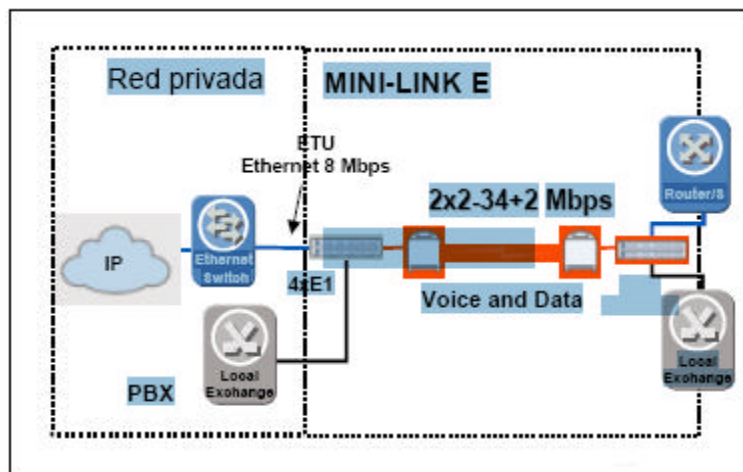
**Figura 38.** Equipo terminal 1+0. **Fuente:** Manual Ericsson (2006)

El sistema de transmisión, se compone de una unidad interior Indoor Unit (IDU) y una unidad exterior Outdoor Unit (ODU). Las unidades se conectan por un simple cable coaxial que transporta el tráfico y la alimentación de energía. La IDU concentra las funciones de switching, servicios, modem y tráfico, mientras que la ODU que se compone de una unidad de radio y una antena que transmite y recibe las señales de radio, como se muestra en la 36. Un portfolio amplio de antenas permite dimensionar la solución para una óptima eficiencia para cada enlace, combinando alto desempeño (nivel de errores) y bajo impacto visual externo.

Todas las estaciones están configuradas como 1+1, es decir, poseen una antena de respaldo por cada enlace cumpliendo así las normas de la ITU. Para una óptima utilización de los recursos disponibles, los terminales de radio del Mini-Link E están disponibles con dos esquemas diferentes de modulación, C-QPSK y 16-QAM. Esta flexibilidad hace posible usar eficientemente el espectro de radiofrecuencia y la energía a través de la red.

En este sentido, la Unidad de Fase de Ethernet (ETU) tiene una interface Ethernet 10BASE-T o 100BASE-T para la conexión a la LAN. Esta a su vez puede ser configurada de forma flexible a cualquiera de las capacidades de las interfaces G.703 a 2Mbps, 8Mbps o 34Mbps que se conecta directamente a la unidad de modem MMU o a la unidad de SMU (switch multiplexer). La capacidad adicional de la MMU no usada por la ETU podría destinarse, por ejemplo, para la interconexión de enlaces E1. Asimismo, la ETU soporta transparencia para tramas VLAN tagged, Ethernet full dúplex, auto

negociación y para regulación automática del ancho de banda de datos, el sistema de control se muestra en la siguiente figura 37:



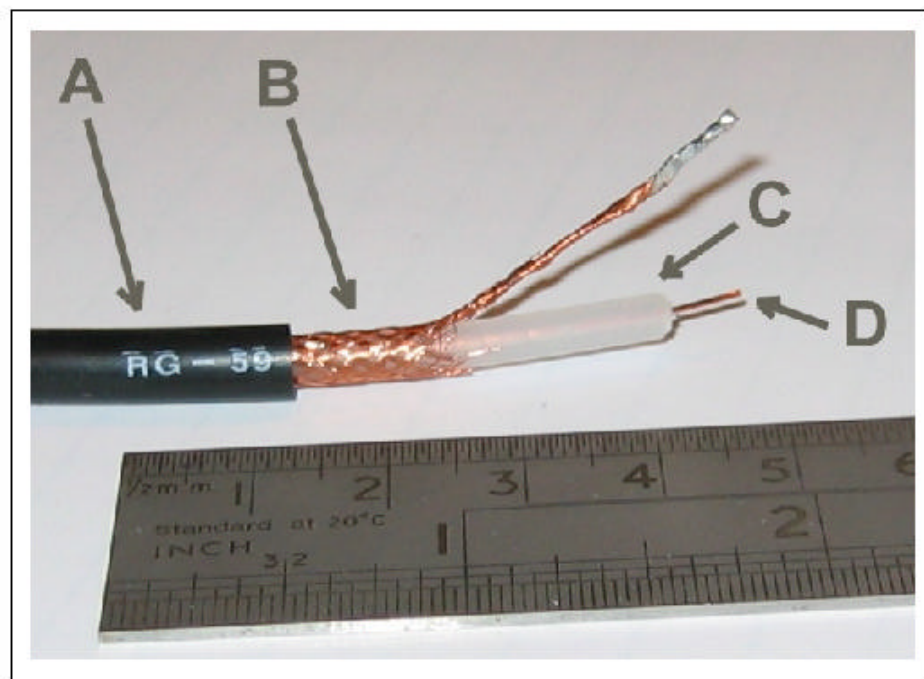
**Figura 39.** Interconexión del radio. **Fuente** Manual Ericsson (2006).

En la figura anterior, se expone la estructura general donde se provee de un sistema de transmisión a una red privada, la cual es completamente invisible para el proveedor del servicio el cual cuenta con un ancho del canal de 34+2 Mbps para voz y datos, y el radio está conectado para su administración de red a un proveedor de internet mediante un router, y cuenta con 4 E1 (un E2 o 8192 Kbits).

Para cada E1 se utiliza un cable UTP (10BASE-T, 100BASE-TX y 1000BASE-T, funciona a 10 Mbit / s (Mbps o también Mbs -1), 100 Mbit / s, y 1000 Mbit / s. Éstos usan de 8 posiciones conectores modulares, normalmente llamados RJ-45 en el contexto de Ethernet sobre par trenzado. Los cables utilizados son generalmente de cuatro pares de cable de par trenzado (aunque 10BASE-T y 100BASE-TX sólo se requieren realmente dos

de los pares). Cada una de las dos normas V21, planteadas por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica IEEE, referente al modo de apoyo de conexión de cableado, expresa que es de tipo tanto full-dúplex, half dúplex o comunicación de dúplex medio. De acuerdo con estas normas, todos ellos operan en distancias de hasta 100 metros.

Para la conexión entre la estación y la antena se utiliza el cable coaxial como una línea de transmisión de frecuencia de radio señales, en aplicaciones tales como la conexión de transmisores de radio y receptores con sus antenas. Este es un cable eléctrico con un conductor central rodeado por una tubular capa aislante flexible, rodeado por un escudo de la realización de tubular ver figura 38.donde se muestra la estructura del cable coaxial:



**Figura 40.** Estructura del cable coaxial. Fuente Manual Ericsson (2006)

En la figura anterior se muestra la estructura de un cable coaxial de tipo RG-59 que es utilizado para transmisión en banda ancha, con el objeto de describir cada una de las partes que lo conforman, destacando las cuatro (4) más relevante según la utilidad debido a sus ventajas para la conexión entre los equipos. Cada una de las letras asignadas se define de la siguiente manera:

- a. Cubierta protectora de plástico
- b. Malla de cobre
- c. Material aislante
- d. Núcleo de cobre

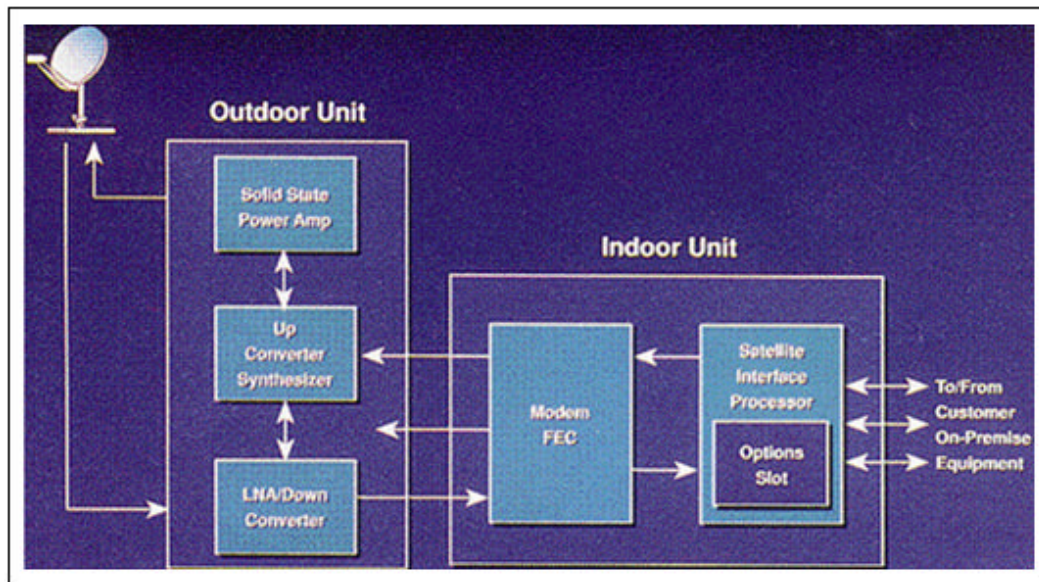
Las antenas presentes en cada enlace son dispositivos diseñados con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas, hacia el espacio libre, donde una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. Estas antenas cuentan con la dos polaridades RF (radio frecuencia como forma de transmisión) y estas utilizan una polaridad o la otra vez, cuando esa polaridad es verticalmente polarizada, su campo eléctrico es perpendicular al plano de la tierra (FM), cuando la polaridad es horizontal, ese campo eléctrico de la onda, es paralelo al plano de la Tierra (AM).

Ésta estructura de los enlaces con respecto a las antenas es la siguiente :

- a. Unit Indoor (unidad de entrada): es la que se encarga de procesar los datos recibidos y enviarlos a la unidad de salida.
- b. Unit Outdoor (unidad de salida): esta es una serie de convertidores que



envían los datos a la antena para su transmisión.



**Figura 41.** Elementos del sistema. **Fuente** Manual Ericsson (2006).

La polarización de las antenas de los radioenlaces, de tipo horizontal presenta la desventaja de desvanecimiento de la señal ante precipitaciones, es por ello, que la polarización vertical es la más utilizada en la configuración de todas las antenas estudiadas, por que las ondas de radio (FM) viajan en la dirección en la que la lluvia no ejerce efecto sobre ellas.

En las antenas, la polarización radica en la conexión del cableado inherente a ellas, ya que esta tiene dos entradas y dependiendo cual se conecte se le dará polaridad que se requiera, característica que muestra una de las numerosas ventajas del equipo MINILIK E. A continuación se muestran las especificaciones técnicas del equipo Ericsson en la siguiente tabla.

Tabla 14

## Especificaciones técnicas radio Ericsson

| Technical data                                 |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|--|---|--------|--------|--------|-------------|---|---------------|-----|-----|-----|
| Frequency (GHz)                                | 7   | 8      | 13     | 15     | 18          | 23  | 26            | 28  | 32  | 38  |
| <b>C-QPSK</b>                                  |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| RF output power (dBm)                          | +21/28  | +20/26 | +18/23 | +18/25 | +17/24      | +20/23                                      | +10/18        | +17 | +17 | +17 |
| Receiver threshold (dBm), BER 10 <sup>-3</sup> |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| 2x2 Mbit/s                                     | -95   | -94    | -94    | -94    | -95         | -94   | -94           | -93 | -92 | -92 |
| 4x2 Mbit/s                                     | -92   | -91    | -91    | -91    | -92         | -91   | -91           | -90 | -89 | -89 |
| 2x8 and 8x2 Mbit/s                             | -89   | -88    | -88    | -88    | -89         | -88   | -88           | -87 | -86 | -86 |
| 34+2 and 17x2 Mbit/s                           | -86   | -85    | -85    | -85    | -86         | -85   | -85           | -84 | -83 | -83 |
| <b>16 QAM</b>                                  |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| RF output power (dBm)                          | +26   | +22    | +18    | +18    | +17         | +18   | +17           | +17 | +17 | +14 |
| Receiver threshold (dBm), BER 10 <sup>-3</sup> |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| 2x8 and 8x2 Mbit/s                             | -87   | -87    | -86    | -86    | -86         | -86   | -86           | -85 | -84 | -83 |
| 34+2 and 17x2 Mbit/s                           | -84   | -84    | -83    | -83    | -83         | -83   | -83           | -82 | -81 | -80 |
| <b>ATPC</b>                                    |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | Available in all frequency bands  |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Channel spacing</b>                         |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| C-QPSK   | 2x2   |        | 4x2    |        | 2x8 and 8x2 |   | 34+2 and 17x2 |     |     |     |
| 16 QAM   | 3.5 MHz   |        | 7 MHz  |        | 14 MHz      |   | 28 MHz        |     |     |     |
|  | -   |        | -      |        | 7 MHz       |   | 14 MHz        |     |     |     |
| <b>Frequency stability</b>                     |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | ± 10 ppm  |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Antennas</b>                                |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | 0.2/0.3/0.6/1.2/1.8 m compact antennas for integrated and separate installation<br>2.4/3.0/3.7 m antennas for separate installation |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Integrated power splitters</b>              |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | Available in symmetrical and asymmetrical versions  |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Traffic interfaces</b>                      |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | ITU-T Rec G.703 balanced or unbalanced, Ethernet 10/100BaseT(x)   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Power supply</b>                            |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | 24-60 V DC nominal  |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Power consumption</b>                       |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | 30-110 W (depending on configuration)   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Weights and dimensions (HxWxD)</b>          |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| Radio unit 7/8/18 GHz                          | 7 kg/411x326x144 mm   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| Radio unit 13/15/23/26/28/32/38 GHz            | 4 kg/321x260x97 mm  |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| Access module (fully equipped)                 |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| 1U/2U/4U (19")                                 | 3.7/9.4/16.3 kg, 43x483x280/88x483x280/176x483x280 mm   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
| <b>Operational temperature</b>                 |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | -50°C to +60°C (outdoor, full functionality)  |        |        |        |             | -20°C to +60°C (indoor, full functionality) |               |     |     |     |
| <b>Standards and recommendations</b>           |   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |
|  | CEN/CENELEC, ETSI, ITU, IEC, IEEE   |        |        |        |             |   |               |     |     |     |

**Fuente:** Manual Ericsson (2006).

Para la conexión de estos equipos es necesaria una interface Ethernet 10BASE-T o 100BASE-T, al realizar observación directa y revisión de los manuales técnicos se comprobó que el cable utilizado es coaxial. El cable coaxial necesita un protocolo para el envío de datos y el utilizado actúa como un E1 o trama es un formato de transmisión digital; su nombre fue dado por

la administración de la (CEPT).

Para la implementación de la protocolo E1, se debe considerar que este tiene la característica de 32 divisiones (time slots) PCM (pulse code modulation) modulación por código de pulsos, de 64kB cada una, lo cual hace un total de 30 líneas de teléfono normales mas 2 canales de señalización, en cuanto a conmutación. La señalización, es lo que usan las centrales (nodos) para intercambiar información entre ellas y descifrar que tipo de datos pasa a través del protocolo E1, es el caso de la central de San Jacinto ubicada en la parroquia Juana de Ávila, la cual utiliza la señalización para recibir datos y luego transmitirlos a la central de administración del sistema.

Resumiendo, un E1 equivale a 2048 kilobits o 256 kilobytes en el vocabulario tecnológico convencional y el ancho de banda se puede calcular multiplicando el número de canales, que transmiten en paralelo, por el ancho de banda de cada canal. Hoy contratar una trama E1 significa contratar el servicio de 30 líneas telefónicas digitales para nuestras comunicaciones.

- Obtener todos los valores y especificaciones mediante los cuales se realizaron los montajes de cada elemento de la red para la transmisión de datos y cobertura brindada por cada estación. Se presentan las especificaciones técnicas de cada una de las estaciones y su respectivo enlace:

**San Jacinto → Milagro Norte (Doral)**

Todos estos valores fueron obtenidos mediante la revisión de los

manuales y especificaciones técnicas aportadas por la empresa, el uso de equipos y herramientas técnicas como el Sistema de Posicionamiento Global GPS, para obtener las coordenadas de cada estación y la distancia entre los enlaces cuyas características se presentan en las tablas 15, 16 y 17:

**Tabla 15**

Especificaciones del enlace San Jacinto → Doral

| Características  | Valores Obtenidos              |
|--|--------------------------------|
| Distancia entre ambos enlaces                            | 1,04 Km.                       |
| Banda  | 18Ghz                          |
| Frecuencia Tx Estación San Jacinto                       | 18497,5                        |
| Frecuencia Tx Estación Doral                             | 19507,5                        |
| Latitud y Longitud Estación San Jacinto                  | 71° 37' 24" O ;10 ° 42'58" N   |
| Longitud Latitud Estación Doral                          | 71° 36' 58" O ;10 ° 41'32.7" N |
| Diámetro de la antena del enlace San Jacinto (figura 40) | 0.6 m                          |
| Azimut Estación San Jacinto                              | 314°                           |
| Altura Antena San Jacinto                                | 25 m                           |
| Diámetro de la antena del enlace Doral (figura 41)       | 0.6 m                          |
| Azimut Estación Doral                                    | 141°                           |
| Altura Antena Doral                                      | 20m                            |

**Fuente:** Elaboración propia (2010).

En las especificaciones se definen las características del enlace, en donde se debe observar que la distancia es de 1,04 Km, por lo tanto la frecuencia

se puede ajustar en la banda de los 18Ghz, debido a que esta banda necesita una antena con menor diámetro (0.6 m) lo que representa menores costos, como es el caso la antena de San Jacinto, mostrada en la figura 40, la cual está orientada con un azimut de 314° en función de tener una línea de vista con la antena de la estación denominada Doral, mostrada en la figura 41 con un azimut de 145°.



**Figura 42.** Antena Doral → San Jacinto. **Fuente:** Cámara fotográfica



**Figura 43.** Antena San Jacinto → Doral. **Fuente:** Cámara fotográfica.

Luego de revisar los enlaces San Jacinto → Doral y describir las características de los equipos presentes en cada estación, se procede a presentar el análisis del radio enlace San Jacinto → Mara Norte las especificaciones técnicas las cuales se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16**

Especificaciones del enlace San Jacinto → Mara Norte.

| Características   | Valores Obtenidos            |
|---|------------------------------|
| Distancia entre ambos enlaces                             | 1,64 Km.                     |
| Banda   | 8Ghz                         |
| Frecuencia Tx Estación San Jacinto                        | 8440.00                      |
| Frecuencia Tx Estación Mara Norte                         | 8321.00                      |
| Latitud y Longitud Estación San Jacinto                   | 71° 37' 24" O ;10 ° 42'58" N |
| Longitud Latitud Estación Mara Norte                      | 71° 38' 12" O ;10 ° 42'33" N |
| Diámetro de la antena del enlace San Jacinto (figura 42 ) | 1.2m                         |
| Azimut Estación San Jacinto                               | 141°                         |
| Altura Antena San Jacinto                                 | 45m                          |
| Diámetro de la antena del enlace Mara Norte (figura 43 )  | 1.8 m                        |
| Azimut Estación Mara Norte                                | 321°                         |
| Altura Antena Mara Norte                                  | 20 m                         |

**Fuente:** Elaboración propia (2010).

En las especificaciones se definen las características del enlace, observando que la distancia es de 1,64 Km, por lo que la frecuencia puede ser en la banda de los 8Ghz debido a necesitar una antena con menor diámetro (1.2 m) y representar menores costos, donde la antena de san jancito mostrada en la figura 42 está orientada con un azimut de  $141^\circ$  para tener línea de vista con la antena de el dorsal mostrada en la figura 43 con un azimut de  $321^\circ$ .



**Figura 44.** Antena San Jacinto → Mara Norte. **Fuente:** Cámara fotográfica



**Figura 45.** Antena Mara Norte → San Jacinto. **Fuente:** Cámara fotográfica.

Luego de revisar los enlaces San Jacinto → Mara y describir las características de los equipos presentes en cada estación en la tabla 16 se procede a presentar el análisis del radio enlace San Jacinto → Sambil, cuyas características técnicas obtenidas de la observación directa y la revisión de los manuales técnicos se presentan en la tabla 17.

**Tabla 17**

Especificaciones del enlace San Jacinto → Sambil

| Características  | Valores Obtenidos            |
|--|------------------------------|
| Distancia entre ambos enlaces                            | 2,15 km                      |
| Banda  | 18 GHz                       |
| Frecuencia Tx Estación San Jacinto                       | 19562.50                     |
| Frecuencia Tx Estación Sambil                            | 18552.50                     |
| Latitud y Longitud Estación San Jacinto                  | 71° 37' 24" O ;10 ° 42'58" N |
| Longitud Latitud Estación Sambil                         | 71° 38' 03" O ;10 ° 43'32" N |
| Diámetro de la antena del enlace San Jacinto (figura 44) | 0.6 m                        |
| Azimut Estación San Jacinto                              | 144°                         |
| Altura Antena San Jacinto                                | 20 m                         |
| Diámetro de la antena del enlace Sambil (figura45)       | 0.6 m                        |
| Azimut Estación Sambil                                   | 145°                         |
| Altura Antena Sambil                                     | 30 m                         |

**Fuente:** Elaboración propia (2010)



En las especificaciones se especifican las características del enlace observando que la distancia es de 2,15 km, por lo que la frecuencia puede ser en la banda de los 8GHz debido a necesitar una antena con menor diámetro (0.6 m) y representar menores costos, donde la antena de San Jacinto mostrada en la figura 44 está orientada con un azimut de  $144^\circ$  para tener línea de vista con la antena de El Doral mostrada en la figura 45 con un azimut de  $145^\circ$ , todas estas figuras fueron obtenidas mediante el uso de cámara fotográfica



**Figura 46.** Antena San Jacinto → Sambil. **Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 47.** Antena Sambil → San Jacinto. **Fuente:** Elaboración propia.

En la parroquia Juana de Ávila se evaluaron 3 enlaces con cuatro (4) estaciones de las cuales todas trabajan bajo la tecnología GSM y sus equipos tienen una configuración 1+1, estos fueron instalados luego de realizar extensas pruebas, los equipos utilizados son en su mayoría marca Ericsson, concluyendo que toda la infraestructura es importante para mantener los niveles de cobertura desde la recepción hasta la transmisión.

Finalmente, para concluir esta tercera fase se debe especificar que al evaluar la arquitectura presente en la parroquia Juana de Ávila, se comprobó que es GSM, en donde las estaciones presentes se rigen bajo sus estándares, dando cobertura celular a la frecuencia de 900 Mhz, utilizando en la estación en su mayoría equipo Ericksson, cada estación cuenta con un radio que tiene una capacidad de 16E1, una estación base cuya potencia máxima es de 45 dB, un banco de baterías y para la interconexión de las estaciones, se utiliza una frecuencia de 18 GHz en distancias cortas y de 8 GHz para distancias largas, en cumplimiento con las normas de ITU, siendo una estructura flexible y efectiva con facilidad de monitoreo y mantenimiento.

Con el propósito de dar cumplimiento al cuarto objetivo específico de esta investigación, cuyo principio es **establecer el modelo de propagación más óptimo según los resultados obtenidos en la evaluación de la propuesta**, se desarrolla esta última fase metodológica, destinada a **evaluar los resultados**, mediante la construcción de un instrumento de validación de la información, expresado mediante un guión de entrevista, el cual estuvo dirigido a un experto en el área de telecomunicaciones, conocedor de los

modelos de propagación. De igual manera, se registra la información obtenida a través de las visitas a compañías del área comprendida por la parroquia Juana de Ávila.

De ésta manera, luego de aplicar el instrumento de validación de la información, el **primer ítem**, correspondiente a determinar si ¿el modelo de propagación Okumura es aplicable en Maracaibo, según su conocimiento?, se obtuvo como respuesta que en relación a los modelos de propagación todos son aplicables ya que son modelos matemáticos que nos proporcionan las herramientas para evaluar los factores necesarios para implementar un enlace en un área determinada. En general, aportan una predicción en base a los datos y para el caso de la ciudad de Maracaibo, el mejor sería un modelo empírico ya que es más preciso como es el caso de Okumura - Hata el cual sería uno de los más apropiados o sus equivalentes.

Sin embargo, no siempre el modelo mas apto para la zona es el aplicado, muchas veces resulta mejor o mas fácil de ejecutar un modelo según su grado de aceptación, debido a que estos son utilizados es en el departamento de planificación y requieren de la plena aprobación para poder ser aplicados en los radio enlaces, en vista de ello, por ser Okumura un modelo más práctico y utilizado a nivel mundial, presentando valores en general aproximados del otro modelo mencionado(Okumura-Hata), este pudiera ser el más apto para ser aplicado.

En el **segundo ítem**, se procede a determinar si ¿es correcto que los principales factores que proporcionan pérdidas en las estaciones son los que

se encuentran presente en el sistema de transmisión?. En este ítem se obtiene como respuesta que la transmisión, es el proceso de envío y recepción a través de un punto, ya sea por cable, fibra óptica o inalámbrica, esto se lleva a cabo a través de distintas capas como son, la modulación , demodulación , codificación de línea , de estabilización , control de errores , la sincronización de bits y de multiplexación, siendo estos procesos, la base de toda comunicación, en la que se realiza una revisión capa a capa del proceso de transmisión.

Debido a que la transmisión se efectúa en general, en la capa física y esta siempre es propensa al deterioro por los elementos presentes en ella, es la primera opción a evaluar al presentarse cualquier falla en el sistema siendo menos probable presenciar percances en un software o protocolo de una red lógica.

Con respecto al **tercer ítem**, sobre ¿como se deben comparar los modelos propagación?, se explica que siendo los modelos propagación un conjuntos de fórmulas matemáticas para realizar predicciones sobre la calidad de un enlace a partir de sus pérdidas, es necesario ejecutar un modelo previamente seleccionado y adaptado al área de estudio. De ésta manera, será a partir de las características de dicha área, que dependerán sus resultados, siendo la mejor opción el modelo que arroje menos pérdidas en la comparación estadística.

En relación al **cuarto ítem**, sobre ¿cuáles son las características de la arquitectura GSM en general?, se obtiene como respuesta que la red GSM

en términos normales es centralizada por la operadora que brinda el servicio de comunicaciones, y es la que administra los equipos mediante una estación de control llamada BSC, por lo que los radioenlaces mantienen un canal de comunicación entre sí, hasta llegar a esta antes de realizar cualquier servicio. Es un sistema donde todas las partes juegan un papel importante para su correcto funcionamiento, tanto la estación base como cada elemento de conexión.

Es necesario destacar que la probabilidad de errores debe ser reducida al mínimo por parte del operador, ya que un sistema de telecomunicaciones no puede permitir la pérdida del servicio y de presentarse, debe corregir esta situación en la brevedad posible de manera de mantener un buen funcionamiento, por lo que el operador generalmente dispone de un equipo de monitoreo, mantenimiento y también de presupuesto para solucionar fallas

El **quinto ítem**, expone que ¿al haber fallas en un sistema de comunicación GSM se sigue un procedimiento específico para la solución de problemas?, el experto explica que en los sistemas de telecomunicaciones es de suma importancia la calidad de servicio brindada, por lo que los enlaces son constantemente monitoreados al detectarse pérdidas por encima de los parámetros normales, es decir, parámetros superiores a 45 dB.

Asimismo, explica que el paso principal es determinar la fuente donde se origina el problema, el cual por lo general ocurre por mal funcionamiento del equipo presente en la estación, por ello se revisa desde la etapa de recepción hasta la de transmisión y por descarte mediante equipos de

medición se determina la eficiencia del cableado, la conexión, y equipos.

En base a la entrevista realizada al experto, donde se expusieron una serie de preguntas referentes a la investigación, se obtuvieron resultados importantes, con el fin de crear un sustento de guía y validación para la interpretación de los resultados obtenidos a partir de la recolección de datos y su efectiva evaluación.

Por otro lado, con el objeto de continuar con el proceso de investigación, se organizó y desarrolló una prueba de drive test, con un grupo de equipos especiales, el cual consta de una laptop conectada a 3 periféricos: 1 GPS que marca la ubicación actual y 2 equipos móviles (MS), uno en modo ingeniería midiendo canales y eventos y el otro en modo normal, realizando una llamada. El equipamiento necesario, luego de ser conectado se ilustra de la siguiente manera:



**Figura 48.** Equipo Drive Test. **Fuente:** Wikipedia (2006)

En la figura 46 se visualizan 2 dispositivos móviles que sirvieron como

receptores, un computador portátil que se utilizó como herramienta para los cálculos y una aplicación software MiniLink E aportado por Ericsson, un cable serial para la conexión de los móviles con el computador y un vatímetro para la medición de la potencia.

El objetivo de la realización de las pruebas de campo o drive test, que se llevarán a cabo de forma conjunta entre los investigadores y un operador de telefonía celular, es supervisar la calidad del servicio mediante el control de parámetros de la Interfaz de radio. Para las mediciones se emplearan los siguientes indicadores de calidad:

- Tiempo promedio de espera para establecer una llamada.
- Porcentaje de llamadas logradas o completadas.
- Porcentaje de llamadas caídas.
- Intensidad de campo en el área de cobertura de la celda.

Para el proceso de medición y pruebas de drive test se utilizó una metodología igual en todos los casos, para asegurar que la recolección de los datos resultara precisa y arrojara los valores lo mas reales posibles. Los pasos que se llevaron a cabo fueron los siguientes:

a. Definición de rutas y metodología de medición: las rutas de medición se acordaron entre ambas partes (Investigador-Operador) y se realizaron sólo en las áreas de servicio autorizadas, en zonas cercanas a cada una de las estaciones evaluadas en Juana de Ávila, para así proceder con la siguiente etapa.

b. Carga de parámetros y verificación de los equipos: los equipos y herramientas de medición fueron configurados con los parámetros recomendados. De la misma forma, será necesario acondicionar el (los) vehículo(s), comprobar en mapas y vialmente las rutas definidas, así como velar por el buen funcionamiento de los equipos de medición.

c. Mediciones en terreno y post-procesamiento: las mediciones se realizarán de forma conjunta entre el investigador y el operador de telefonía celular, con el propósito de que la información recolectada a lo largo de toda la prueba, sirva para la comprobación del estado de los datos de los radioenlaces.

Luego de realizar las mediciones efectuadas a distancias no mayores de 100 metros de cada estación, con el equipo del drive test el cual proporciona el nivel de recepción presente en el punto evaluado, con la finalidad de tomar una serie de muestras en distintos puntos en general desplazando el equipo una distancia acordada con el operador (10 metros), para así realizar una evaluación y determinar el valor promedio de potencia de cada antena del enlace, ya que cada enlace posee dos antenas por su configuración(1+1), por lo cual es se midió una y luego la otra, y para finalizar se realizara el análisis de ellos.

En este orden de ideas, se registró la información recolectada en la tabla 18, referente a los valores obtenidos de la prueba de drive test, en la que se presentan los enlaces y los valores promedios obtenidos, y también se muestra la potencia de recepción de cada antena del enlace, considerando cada una de ellas por separado:



**Tabla 18**

Fuente valores obtenidos del Drive Test

| Enlace      |            | Nivel Rx(A) |       | Nivel Rx(B) |       |
|-------------|------------|-------------|-------|-------------|-------|
| A           | B          | A           | B     | A           | B     |
| San Jacinto | Doral      | -45.1       | -49.7 | -49.1       | -49.0 |
| San Jacinto | Mara Norte | -40.9       | -40.6 | -40.5       | -40.9 |
| San Jacinto | Sambil     | -36.2       | -35.8 | -35.6       | -35.8 |

**Fuente:** Elaboración propia (2010).

De ésta manera, se observó que el enlace San Jacinto → Caminos del Doral presenta valores que superan el rango para valores de pérdidas de transmisión permitidos, los cuales son por debajo de - 45dB, por lo que se llego a la conclusión de que el enlace presenta problemas de cobertura y es necesario realizar cambios en este para solucionar las fallas.

## **1.2.- PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

Una vez culminadas las actividades que permitieron dar cumplimiento al logro de los objetivos específicos planteados al principio de la investigación, de acuerdo a cada una de las fases establecidas en la metodología seleccionada, se procede a desarrollar la propuesta que a continuación se describe brevemente.

### **1.2.1.- ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA**

En esta sección, se presenta la propuesta de la investigación realizada, en función de los resultados obtenidos hasta ahora, de manera de plantear un modelo operativo viable, cuyo propósito es dar una solución posible al problema descrito en el primer capítulo. De esta manera, la propuesta del presente trabajo de investigación, se estructura de la siguiente manera:

#### **1.2.1.1.- PRESENTACIÓN DE LOS MODELOS DE PROPAGACIÓN**

a. El modelo Okumura, que desde su inicio fue desarrollado para zonas suburbanas donde por lo general, la altura promedio de los receptores no era mayor a 2 metros, presenta la característica de operar en un rango de frecuencia que es conveniente para la tecnología GSM, que en éste caso es de 900 MHz. Un aspecto importante en este modelo, es que se debe considerar las alturas de las antenas para promediar las pérdidas de propagación y trayectoria, sin importar la presencia de obstáculos en la línea

de transmisión de la señal, lo que lo convierte en un modelo empírico flexible para el cálculo de pérdidas.

b. Con respecto al modelo Okumura – Hata, debido a que es una derivación de la combinación de Okumura, que es modelo empírico, con el modelo Hata que es un modelo teórico, éste resulta conveniente para las zonas urbanas debido a sus adaptaciones, ya que permite una mayor cantidad de obstáculos, por lo que éste es mucho mas preciso siempre y cuando se encuentre en presencia de zonas metropolizadas.

c. En relación al modelo Walfish – Ikegami, éste considera de forma especial la distancia y la frecuencia como las principales variables al momento de calcular la cobertura, por lo tanto, es el más utilizado cuando es necesario transmitir datos entre dos enlaces que posean una línea de vista muy precisa, resultando generalmente, el modelo mas apropiado para analizar enlaces punto a punto debido a su simplicidad, pero obvia los obstáculos presentes en el ambiente, por lo que pierde precisión al momento de diseñar los enlaces, arrojando así, mayor pérdidas de propagación de la señal entre los enlaces de comunicación.

#### **1.2.1.2.- COMPARACIÓN DE LOS MODELOS ENTRE SÍ Y SELECCIÓN**

Ahora bien, con respecto a la cobertura en la parroquia Juana de Ávila, esta presenta un ambiente suburbano, como se ha explicado anteriormente, para esta característica, el que ofrece mejores resultados es Okumura , este cuenta con poca cantidad de obstáculos considerables y facilidad de

ubicación de de las antenas transmisoras muy por encima de las receptoras lo cual es una ventaja muy importante para Okumura, el estándar empleado es de 900 MHz y se cubren distancias considerables teniendo en cuenta la cantidad de usuarios.

En este orden de ideas, teniendo en cuenta todos estos factores el modelo de propagación Okumura es el indicado para esta área, ya que la localidad seleccionada cumple con la mayoría de las características y aplicando el modelo de propagación Okumura, presenta un 20 % de menos pérdidas en comparación a los otros modelos evaluados.

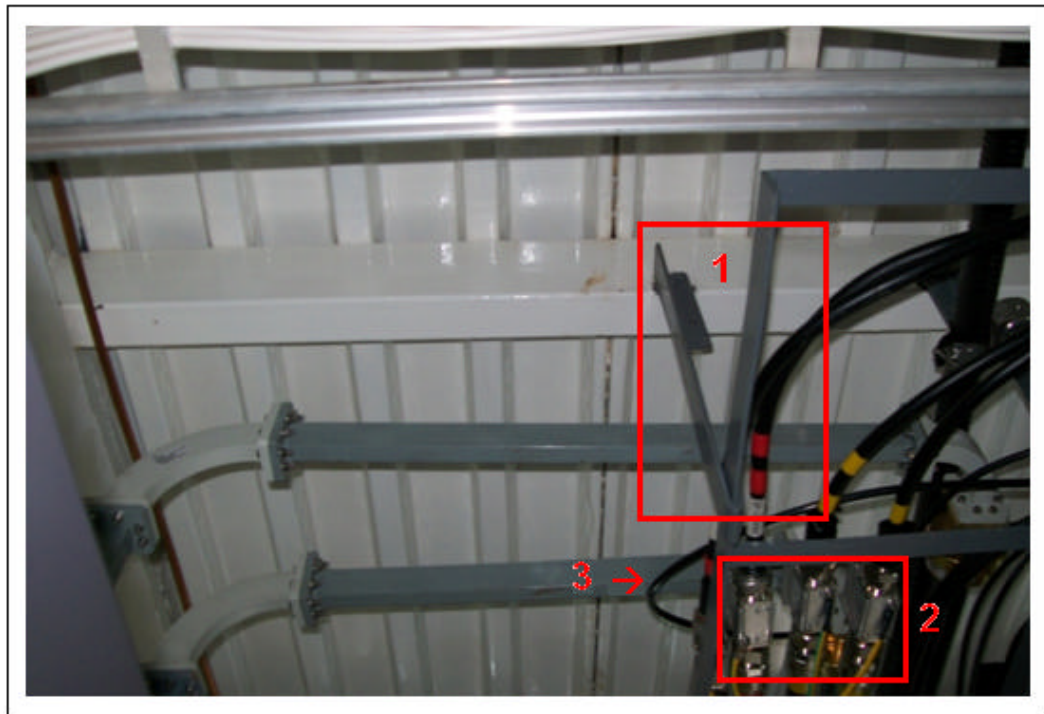
#### **1.2.1.3.- MEJORAS AL MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA**

El modelo de propagación Okumura presenta todas las condiciones para su correcto funcionamiento y siendo éste, un modelo estadístico ya implementado en todos los enlaces estudiados, presentándose solo en el enlace el dorsal pérdidas irregulares por encima del rango normal, por lo que las pérdidas son adheridas o somatizadas por fallas en los equipos detectadas al realizar la revisión de la instalación.

Al determinar el plan requerido para la ejecución del programa debe ser revisado y aprobado por el personal que elabora en el departamento, de esta forma poder definir y desarrollar en el programa solo los pasos que son aplicables en la empresa

Ante esta situación, se plantean los siguientes ajustes para la mejora de cobertura:

En la revisión se encontraron averías en el cable trx de 30 metros que va de la bts a la antena (figura 47), donde se muestra la avería en la trx sombreada en un cuadro rojo con el número 1; así como también el deterioro por la humedad de los conectores lo que produce contactos falsos y perdida de conexión por fracciones de tiempos con el numero dos, y violación de las normas de la IUT como número 3, todas estas perdidas afectan notablemente la calidad del enlace aumentando las perdidas en este.



**Figura 49.** Averías de Cable Coaxial. **Fuente:** Cámara Fotográfica

Es necesaria la sustitución de los 30 metros del cable coaxial, el cambios de los conectores y el ajuste adecuado del cableado según las normas de la IUT, así como la implementación de un brazo de antena este le aporta ala antena mayor ajuste a el mástil impidiendo así la pérdida de azimut

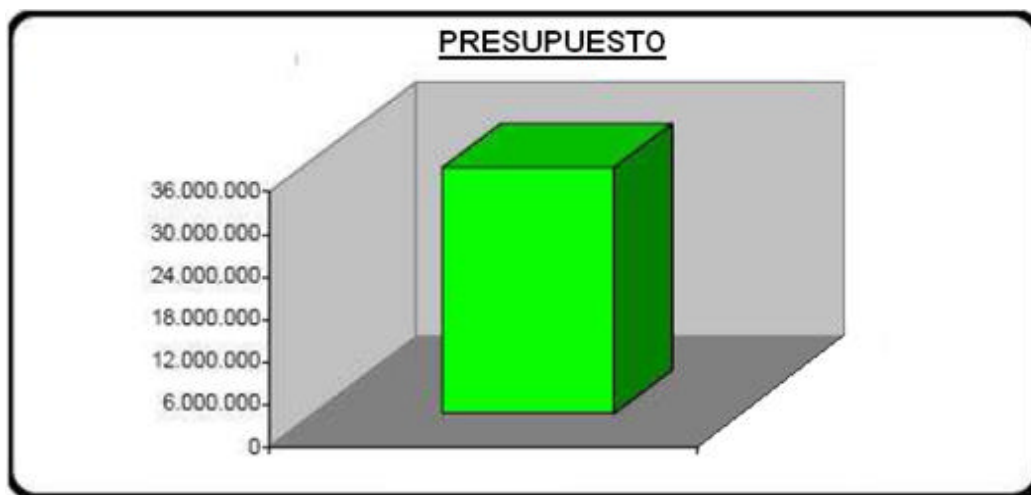


En la transmisión, cada parte del sistema es de suma importancia, las pérdidas son constantes en todo sistema pero al estar una parte de éste funcionando de forma inadecuada le añade más pérdidas a dicho sistema por lo que es necesario mantener todo el conjunto de equipos bajo las normas.

### **1.2.2.- FUNCIONABILIDAD**

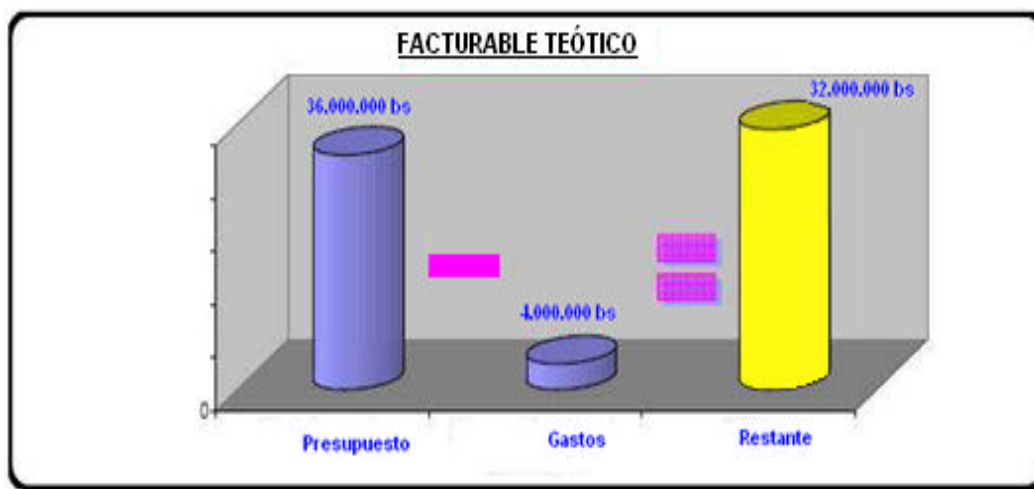
Para la implementación de los modelos de propagación en redes celulares GSM del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila, es necesario cumplir con algunas actividades a fin de garantizar el correcto funcionamiento, entre ellas se plantea un análisis de presupuesto para la corrección de fallas explicadas en la propuesta o proyecto factible de esta investigación.

El objetivo principal de este proyecto ha sido la evaluación de la red de telefonía móvil, en la parroquia Juana de Ávila con cobertura GSM, para ello se analizó cada enlace de comunicaciones ya existente ubicados dentro del área seleccionada para el estudio en la cual se determinaron los parámetros de temperaturas, así como también se observaron fenómenos que pudieran presentar un obstáculo en las líneas de transmisión. Este proyecto nace de la necesidad de evaluar la calidad de los modelos aplicados por los operadores, al tratarse de un proyecto real, uno de los aspectos importantes es el presupuesto económico del que se dispone. A continuación se muestra una gráfica que aportará ayuda en el análisis económico:



**Figura 51.** Presupuesto. **Fuente:** Elaboración propia (2010)

En la gráfica de presupuesto anterior, se representa el capital planificado por la operadora para realizar mantenimientos o cambios en el período anual.



**Figura 52.** Análisis económico del proyecto. **Fuente:** Elaboración propia

De la gráfica de facturación, se puede concluir que el presupuesto con el que cuenta el operador de servicios de telecomunicaciones, de 36 mil



bolívares fuertes, es suficiente para realizar los cambios que se requieren en la estación Doral, en donde se plantea emplear 4 mil bolívares fuertes para llevar a cabo la propuesta descrita en ésta investigación, que si se comparan al precio de los equipos allí presentes, en el mercado, tal y como el radio y estaciones bases, estas reparaciones tienen un valor muy por debajo de dichos equipos; con el único propósito de evitar daños mayores y pérdidas económicas.

Ahora bien, ante lo expuesto en el párrafo anterior, se puede concluir que el proyecto es factible, ya que para aplicar todos los cambios descritos y aquellas mejoras en el radioenlace Doral, solo se utilizará un 11.11 % del presupuesto aprobado por la operadora, para solventar las fallas.

### **1.3.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Luego de haber cumplido con los cuatro (4) objetivos específicos de la investigación, en esta sección se trata de establecer relación entre los resultados obtenidos a través de la observación directa, el guión de encuesta, el guión de entrevista, ambos dirigidos a expertos, para finalmente realizar las comparaciones pertinentes, de acuerdo a lo establecido en la teoría sustentada por los autores.

En este sentido, se procede a analizar los resultados derivados del desarrollo de la primera fase de esta investigación, la cual tuvo como propósito **observar y analizar los modelos de propagación existentes**, en función de cumplir con el primer objetivo específico, orientado a **analizar los**

### **modelos de propagación que existen en la tecnología celular GSM del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila.**

De esta manera, al cumplir con las actividades planificadas, en las que se incluyeron realizar visitas a la Parroquia Juana de Ávila en el Municipio Maracaibo, se pudo completar con el propósito de diagnosticar la situación actual. Se determinó su ubicación geográfica mediante planos, el uso de GPS para la obtención de los valores de latitud y longitud, así como también de software especializados que permitieron materializar ésta información en forma de mapas.

Asimismo, con el objeto de contextualizar en la teoría de modelos de propagación, se pudo clasificar el área de estudio, de acuerdo al criterio establecido por Pérez y Zamanillo, como área suburbana, debido a que los autores explican que ésta consiste en términos básicos, en ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa y en la que existen obstáculos cerca del usuario pero no provocan congestión.

Aunado a ello, en cuanto a las conclusiones realizadas en esta primera fase, resultantes del instrumento de investigación expresado en forma de guión de encuesta, aplicado a expertos en el área, se pudo determinar que existen modelos de propagación, que comúnmente han sido aplicados en algún momento en la parroquia Juana de Ávila, sean estos Okumura, Okumura-Hata y Walfish-Ikegami, para calcular pérdidas de transmisión y potencia de las señales de radiofrecuencia.

En relación a la propagación, se determinó que ésta se puede considerar

en un 72% como buena, considerando la características de terreno presentes en el área de estudio, las cuales pueden resumirse en: clima poco lluvioso y húmedo, cantidad no numerosa de obstáculos de gran altitud o densidad, tales como edificios, montañas y cerros.

Ante lo expuesto en el párrafo anterior, se puede validar esta deducción de acuerdo a las especificaciones realizadas por Crespo – Blanc, quien en su publicación relacionada con los problemas de la propagación en la ciudad, explica que cuando una instalación destinada a las telecomunicaciones, se halla en una gran ciudad repleta de edificios de gran porte, cuantificar la capacidad de cobertura no es una tarea sencilla, puesto que si un receptor no cuenta con una antena exterior despejada de la edificación circundante, efecto que es lo más habitual en la recepción de FM, se dificulta la penetración de las ondas de radio de estas frecuencias en las estructuras.

Por otro lado, en relación a la segunda fase metodológica, orientada a la proyección y ejecución de los modelos, en función de cumplir con el segundo objetivo específico de esta investigación, que trata sobre comparar las pérdidas de transmisión, se puede enfatizar que en ésta se realizó la comparación de los modelos de propagación utilizados en los enlaces presentes en la parroquia Juana de Ávila, resultantes de la etapa anterior sobre observación y análisis, que son Okumura, Okumura-Hata y Walfish Iikigami, de acuerdo a los porcentajes obtenidos mediante la encuesta realizada a expertos.

De acuerdo a las especificaciones de Pérez y Zamanillo (2007), se puede

justificar la evaluación de los modelos de propagación realizada a lo largo de esta investigación, debido a que el autor explica que este tipo de estudio es pertinente realizarlo como mínimo cada 10 años, ya que las ciudades están en constante desarrollo y por posibles cambios estructurales y en caso de que crezcan en densidad, pudieran presentarse nuevos obstáculos que no hayan sido previstos.

Ante lo expuesto en el párrafo anterior, todo sistema de telecomunicaciones debe ser reevaluado cada década, para verificar que cumpla con las disposiciones generales de cuando fue implementado por última vez y así mantener su eficiencia. En este orden ideas, al realizar el estudio se comprobó que la parroquia Juana de Ávila se mantiene en la categoría de suburbano, por lo que el modelo actual (Okumura) aún se mantiene vigente debido a las características presentes en el ambiente.

De la misma manera, con el propósito de dar cumplimiento a la tercera fase metodológica, orientada a la integración de la tecnología para determinar la efectividad, en relación al tercer objetivo de esta investigación, dirigido a determinar la efectividad de la arquitectura existente en redes celulares del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila, se explicaron los aspectos referentes a la arquitectura de red para el sistema móvil de telefonía GSM, a partir de las visitas al lugar destinadas a la revisión de los equipos que integran la red.

Consecuentemente, con el propósito de cumplir el objetivo descrito, se utilizaron manuales técnicos relacionados con el tema, distintos software y

planos pertinentes al área y de esta manera se pudo determinar, que la red GSM es un sistema de telefonía móvil celular, que tiene como finalidad la transmisión móvil de voz o de datos al tiempo en que opera bajo las bandas de frecuencias asignadas por CONATEL en Venezuela, en su artículo 9 sobre la atribución de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para operadores de servicios destinados a las comunicación móviles y de radiodifusión, entre los de 850 MHz y 900 MHz dependiendo de la compañía proveedora de servicios.

Los resultados obtenidos en esta fase sobre los equipos que integran la arquitectura de red de la tecnología celular GSM, se coinciden en su mayoría de acuerdo al contexto descrito por Huidobro y Roldan (2003), quienes describen que los dispositivos de interconexión de red se pueden resumir en: una estación base BTS (transmisores/receptores de radio), un controlador BSC (centro de control de la operación y funcionamiento de las BTS) , un centro de conmutación (conmutación, gestión de las llamadas), un transceptor base (colisiones de la línea ) y un banco de baterías, para el emplazamiento de las estaciones, siendo una estructura flexible y efectiva con facilidad de monitoreo y mantenimiento.

Para concluir esta tercera fase se puede especificar que al evaluar la arquitectura presente en la parroquia Juana de Ávila, se comprobó que la red GSM, las estaciones presentes se rigen bajo estándares de emisión y recepción de señales presentes en el ambiente, con el objeto de brindar cobertura celular en la frecuencia de 900 Mhz, utilizando en su mayoría

equipos Ericksson.

Ahora bien, con el propósito de dar cumplimiento a la última fase metodológica de la investigación, orientada a evaluar los resultados, a fin de cumplir con el cuarto objetivo específico, destinado a establecer el modelo de propagación más óptimo según los resultados obtenidos en la evaluación de la propuesta, se aplicó un instrumento de recolección de información, expresado mediante un guión de entrevista, a un experto en el área de telecomunicaciones, conocedor de los modelos de propagación.

Los resultados obtenidos en esta fase, fundamentados en las respuestas del entrevistado, permitieron determinar que en razón a las características presentes en la ciudad de Maracaibo, y por lo tanto en la parroquia Juana de Ávila, es aplicable un modelo de propagación de tipo empírico debido a la precisión que éstos aportan al estudio, como ejemplo de ellos son el modelo Okumura-Hata y Okumura, debido al nivel de desarrollo estructural presente en el área.

Del mismo modo, en esta entrevista se especificó que cuando ocurren pérdidas de transmisión en un entorno real de arquitectura de red, el primer paso es considerar los elementos físicos que componen dicho entorno, puesto que estos son más propensos a las fallas que el sistema lógico, debido al deterioro o tiempo de vida.

De igual manera, a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de este instrumento de recolección de datos y de acuerdo a las indicaciones de Pérez y Zamanillo (2007), sobre la metodología de desarrollo

de un modelos de propagación, se puede concluir que para la implementación de los modelos de propagación, es necesario adaptarlo al área de estudio y considerando los datos obtenidos a lo largo de la investigación, de manera de que al implementar las expresiones matemáticas únicas de cada modelo, se seleccione aquel que haya registrado un menor índice de pérdidas de transmisión de la señal.

Una vez desarrollada en su totalidad la discusión de los resultados, se puede dar por terminado este largo proceso de investigación, el cual ha sido considerado como exitoso por parte de los investigadores, debido a que se lograron completar los objetivos específicos planteados desde el inicio, pudiendo afirmar de esta manera, que se cumplió con el propósito del estudio, el cual está definido como Evaluar los Modelos de Propagación en Redes Celulares GSM del Municipio Maracaibo Estado Zulia, Parroquia Juana de Ávila.