

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**CÁLCULO DE COBERTURA PARA EL SISTEMA DE  
RADIOCOMUNICACIÓN TRUNKING EN EL SUR DEL  
ESTADO ANZOÁTEGUI PARA COMUNICACIONES MÓVILES  
EDC.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Electricista  
por el Br. Jeanpaúl, Mora Méndez

Caracas, 2008

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **CÁLCULO DE COBERTURA PARA EL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIÓN TRUNKING EN EL SUR DEL ESTADO ANZOÁTEGUI PARA COMUNICACIONES MÓVILES EDC.**

PROFESOR GUIA: Franklin Martínez  
TUTOR INDUSTRIAL: José Milano

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Electricista  
por el Br. Jeanpaúl, Mora Méndez

Caracas, 2008



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES**



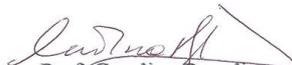
### CONSTANCIA DE APROBACIÓN

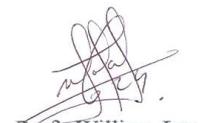
Caracas, 03 de diciembre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jeanpaul Mora, titulado:

**“CÁLCULO DE COBERTURA PARA EL SISTEMA DE  
RADIOCOMUNICACIÓN TRUNKING EN EL SUR DEL ESTADO  
ANZOÁTEGUI PARA COMUNICACIONES MÓVILES EDC”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Carolina Regoli  
Jurado

  
Prof. William Jota  
Jurado

  
Prof. Franklin Martínez  
Prof. Guía



Edificio Escuela de Ingeniería Eléctrica, piso 1, oficina 201, Ciudad Universitaria, Los  
Chaguaramos, Caracas 1051, D.F.  
TELÉFONOS. (VOZ) +58 212 6053300 (FAX) +58 212 6053105  
Mail: cic-com@elecricsc.ing.ucv.ve

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mi Madre Nelly Mendéz de Mora, a mi Padre Paúl Mora y a mi hermano Giampaolo Mora.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, a mis padrinos America Riskey y Omar Mendez por todo el apoyo que me ofrecieron a lo largo de mi carrera.

A mis amigos Víctor Devia, Leonardo Gómez, Brunswick Mena, Jesús Roldan, Pablo Nagy, Cristian González, Andrés Blanco, Alex Arreaza, Phillipe Cook, Tony Restifo, Víctor Bermúdez y José Manuel Díaz por todo el trabajo en equipo que logramos realizar, la gran amistad que se formó y lograr así nuestra principal meta de graduarnos.

Al cuerpo profesoral por llevarme a formar a lo largo de la carrera y un especial agradecimiento a los profesores: Cristian Murati, Pedro Pinto, Franklin Martínez, Dan El Montoya, Carolina Regoli.

Al grupo de trabajo de Comunicaciones Móviles EDC por prestarme todo el apoyo incondicional para el desarrollo de esta tesis en especial a José Milano.

Al profesor Franklin Martínez por su gran vocación profesional y de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

**Mora M., Jeanpaúl**

**CÁLCULO DE COBERTURA PARA EL SISTEMA DE  
RADIOCOMUNICACIÓN TRUNKING EN EL SUR DEL ESTADO  
ANZOÁTEGUI PARA COMUNICACIONES MÓVILES EDC.**

**Profesor Guía: Franklin, Martínez. Tutor Industrial: Ing. José Milano. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: Comunicaciones Móviles EDC. 2008. 94h.+ anexos.**

**Palabras Claves:** Cálculo de cobertura, sistemas trunking, sistemas troncalizados, radiocomunicaciones móviles, sistemas móviles.

Actualmente PDVSA como una consecuencia de sus actividades en expansión vinculadas al proceso de exploración y explotación de hidrocarburos al sur del estado Anzoátegui se ve en la necesidad de disponer un sistema de comunicación móvil privado, para el buen desarrollo del mismo; es por ello que Comunicaciones Móviles EDC plantea un sistema de comunicaciones Trunking, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por PDVSA. Este trabajo plantea una propuesta de implementación del sistema de comunicaciones móviles. Para el despliegue del sistema se requiere hacer el cálculo de cobertura en la zona antes mencionada, partiendo de diez posibles estaciones para dicho estudio. Basados en la frecuencia de operación y distancia estimada a cubrir, el método seleccionado fue el recomendado por la UIT-R, basado en los estudios realizados por Okumura-Hata. Adicionalmente, se realizan unas simulaciones preliminares utilizando la herramienta Radio Mobile, de esta manera se preseleccionaron cuatro estaciones para realizar el estudio de cobertura con el método escogido, posteriormente ambos métodos son comparados, mostrando resultados similares. Seguido se realizó la estimación global de cobertura, para así lograr establecer las zonas de servicio posibles a cubrir. Por último se realizó un estudio de tráfico en las estaciones propuestas.

## INDICE GENERAL

CARTA DE APROBACIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS .....	x
LISTA DE SIGLAS .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I.....	16
1. 1- Planteamiento del Problema .....	16
1.2.- Objetivo General.....	17
1.3.-Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO II .....	19
FUNDAMENTOS .....	19
2.1.- Comunicaciones Móviles: Generalidades.....	19
2.1.1.- Elementos de un sistema radio móvil.....	22
2.1.2.- Sistema de Concentración de Enlaces o Trunking.....	24
2.2.-Sistema en Estudio.....	25
2.2.1.-Descripción del Sistema planteado.....	27
2.2.2.- Sistema SmartZone® de Motorola.....	29
2.3.- Cobertura radioeléctrica en los sistemas móviles.....	31
2.3.1.- Contorno de servicio.....	32
2.3.2.- Contorno de protección.....	32
2.3.3.- Campo mínimo en el receptor Em.....	33
2.3.4.- Campo necesario.....	35
2.4.- Modelos y métodos de propagación.....	39
2.4.1.- Modelos de propagación para ambientes abiertos.....	40
2.4.2.- Modelo de Propagación en el Espacio Libre.....	40
2.4.3.- Modelo Tierra plana (Reflexión Terrestre).....	42
2.4.4.- Métodos de Propagación en RF en ambientes urbanos.....	43
2.4.5.- Método de Okumura.....	44
2.4.6.- Método de Okumura-Hata.....	50
2.4.7.- Método de Longley-Rice (ITS irregular terrain model).....	52

2.4.8.- Forma de cálculo de contorno de servicio y protección propuesta por CONATEL.....	55
2.4.9.- Método de Cálculo de campo eléctrico según recomendación UIT.R 529-3.....	57
2.5.- Teoría del Tráfico.....	58
CAPITULO III.....	61
RESULTADOS.....	61
3.1.- Preliminares del Contorno de Servicio y Protección.....	61
3.2.- Estudio de Cobertura con la herramienta computacional Radio Mobile.....	63
3.2.1.- Preselección de las Estaciones de Repetición.....	65
3.3.- Selección del Método Analítico.....	74
3.4.- Cálculo de cobertura basado en la recomendación UIT-R P.529-3.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
BIBLIOGRAFÍAS.....	95
GLOSARIO.....	96

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA QUE UN SISTEMA PMR .....	20
FIGURA 2. MAPA DEL ESTADO ANZOÁTEGUL .....	27
FIGURA 3. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN INICIAL DE LAS ESTACIONES DE TRANSMISIÓN .....	28
FIGURA 4. MODELO DE DOS RAYOS.....	42
FIGURA 5. FENÓMENO DE FILO DE CUCHILLO.....	54
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN INICIAL DE LAS ESTACIONES FIJAS. ....	66
FIGURA 7. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES PETROZUATA 1 Y 2.....	66
FIGURA 8. ZONA DE SERVICIO DE JOBILLAR(LINEAS VERDES) Y PARIAGUAN(LINEAS ROJAS). ....	68
FIGURA 9. ZONA DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN JOBILLAR. ....	69
FIGURA 10. ZONA DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN ARECUNA (LINEADO VERDE) Y BARE (LINEADO ROJO).....	70
FIGURA 11. ZONA DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN BARE.....	70
FIGURA 12. ZONA DE SERVICIO DE MORICHE SOLO(ROJO), PETROZUATA 1(VERDE) Y 2(AZUL).....	71
FIGURA 13. ZONA DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN MORICHE SOLO.....	72
FIGURA 14. ZONA DE SERVICIO DE MORICHAL (ROJO), EPT1(VERDE) Y J-20(AZUL). ....	73
FIGURA 15. ZONA DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN MORICHAL. ....	74
FIGURA 16. CONTORNO DE SERVICIO(17.7dBu) Y DE PROTECCIÓN(11.7dBu) DE LA ESTACIÓN JOBILLAR.....	79
FIGURA 17. CONTORNO DE SERVICIO EN LÍNEA NEGRA SEGÚN UIT Y EN AZUL POR RADIO MOBILE DE LA ESTACIÓN JOBILLAR.....	80
FIGURA 18. CONTORNO DE SERVICIO(17.7dBu) Y DE PROTECCIÓN(11.7dBu) DE LA ESTACIÓN BARE..	82
FIGURA 19. CONTORNO DE SERVICIO EN LÍNEA NEGRA SEGÚN UIT Y CONTORNO DIFUSO POR RADIO MOBILE DE LA ESTACIÓN JOBILLAR.....	83
FIGURA 20. CONTORNO DE SERVICIO(17.7dBu) Y DE PROTECCIÓN(11.7dBu) DE LA ESTACIÓN MORICHE SOLO. ....	85
FIGURA 21. CONTORNO DE SERVICIO(17.7dBu) SEGÚN UIT Y LÍNEAS DIFUSAS POR RADIO MOBILE DE LA ESTACIÓN MORICHE SOLO. ....	86
FIGURA 22. CONTORNO DE SERVICIO(17.7dBu) SEGÚN UIT Y LÍNEAS DIFUSAS POR RADIO MOBILE DE LA ESTACIÓN MORICHAL. ....	89
FIGURA 23. COBERTURA GLOBAL DE BARE, JOBILLAR, MORICHE SOLO Y MORICHAL.....	90

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. NIVEL DE COMPRESIBILIDAD DE LA VOZ.....	38
TABLA 2. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES FIJAS. DATUM WGS84..	64
TABLA 3. VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO POR RADIAL EN LA ESTACIÓN JOBILLAR. ....	77
TABLA 4. VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO POR RADIAL EN LA ESTACIÓN BARE.....	80
TABLA 5. VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO POR RADIAL EN LA ESTACIÓN MORICHE SOLO. ....	83
TABLA 6. VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO POR RADIAL EN LA ESTACIÓN MORICHAL. .	86
TABLA 7. CONTORNO DE SERVICIO Y DE PROTECCIÓN DE LA ESTACIÓN MORICHAL. ....	88

## **LISTA DE SIGLAS**

**CONATEL:** Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

**PMR:** Private Mobile Radio.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**CCIR:** Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

**PDVSA:** Petróleos de Venezuela

**FDMA:** Frecuency Division Multiple Access Electricidad de Caracas.

**COMMOVIL:** Comunicaciones Móviles.

**CUG:** Closer User Group.

**FDMA:** Frecuency Division Multiple Access.

## INTRODUCCIÓN.

A mediados del siglo XIX con la invención del telégrafo las Telecomunicaciones han formado parte importante de la vida cotidiana, facilitando las necesidades de una comunicación no presencial, hasta desarrollar un sin fin de aplicaciones o servicios de telecomunicaciones para satisfacer las necesidades de una sociedad dependiente de la misma.

Los sistemas móviles de comunicación se pueden dividir en dos grandes ramas como son: las públicas y privadas; la pública está formada, en mayor parte, por la red Telefónica conmutada y la red de telefonía celular; las redes privadas, en mayor parte, están formadas por las redes de radiocomunicaciones móviles que son utilizadas o aplicadas como herramienta de trabajo en empresas que prestan servicios de: electricidad, agua, gas, además de servicios públicos como: bomberos, policía, transporte.[1]

Las comunicaciones móviles privadas surgieron prestando servicios dentro de pequeñas áreas y un número reducido de aplicaciones. Esto se resume a un número de usuarios que se comunican por un canal de habla semi-duplex presionando un botón llamado push-to-talk, de tal manera, cuando un usuario habla, todos escuchan y ningún otro de los usuarios puede interrumpir la conversación, porque la tecnología empleada no lo permite. En otras palabras la limitación viene dada por el empleo de canales semi-duplex. Años más tarde por la necesidad de minimizar el uso del ancho de banda del espectro radio eléctrico y prestar un mayor número de servicios surgió el Sistema Trunking.

Esta investigación persigue satisfacer una necesidad de prestar servicios de comunicación privada a la empresa PDVSA Orinoco, la cual necesita una herramienta que permita mantener grupos de trabajo comunicados. A nivel de información sólo se requiere transmitir voz, para ello no se precisa transmitir datos, ni video. Por tanto, Comunicaciones Móviles EDC (COMMOVIL) le prestará servicios de radio Trunking, quien proviene del sistema de comunicaciones PMR (Private Mobile Radio).

COMMOVIL es una empresa de sistemas de radiocomunicaciones que trabaja con una red de radio Trunking que permite realizar: llamadas entre grupos, llamadas privadas, llamadas de alerta y reagrupación dinámica. Estas llamadas se producen gracias a la utilización del sistema SMART ZONE MR de Motorola, el cual es un Sistema de Comunicaciones Móviles Corporativas de cobertura extendida. Dicha tecnología será usada, principalmente, para satisfacer las necesidades de comunicación de la empresa PDVSA en la faja petrolífera del Orinoco, ubicada al sur del Estado Anzoátegui con la finalidad de exploración de hidrocarburos.

Al plantearse la posibilidad de prestar un servicio de comunicación móvil se deben establecer las zonas de cobertura y el tráfico que puede manejar dicha red. En consecuencia, el presente trabajo está enfocado en establecer las zonas de servicios que puede ofrecer. Este trabajo inicia con el problema que le surge a PDVSA, al carecer de un sistema de comunicación que le permita mejorar el proceso de exploración de hidrocarburos de una manera más eficiente. Seguidamente, se presentan los objetivos de la investigación para realizar el cálculo de cobertura mediante métodos técnicos y así estimar la zona de servicio a cubrir; se explicarán los fundamentos necesarios para la realización de dichos cálculos, los cuales comprenden desde el concepto de los sistemas radio troncalizados, elementos que componen una red trunking, hasta los distintos métodos y criterios de análisis de cobertura. Una vez establecido el método a emplear se procede al cálculo en detalle para determinar los contornos de servicios y protección, siendo éste el tema principal de este estudio.

## **Reseña Histórica**

La Electricidad De Caracas.

En 1895 Ricardo Zuloaga en conjunto a un grupo de inversionistas inauguró la Compañía Anónima La Electricidad de Caracas con el objeto de vender y utilizar la energía eléctrica en la ciudad de Caracas, la cual contaba con un aproximado de 72 mil habitantes, dos años más tarde se inauguró la planta El Encantado de 420 KW, la cual producía electricidad derivada de la acción hidráulica del río Guaire. En tres años la capacidad de la Planta El Encantado se hizo insuficiente, por lo que fue necesario cuadruplicar la producción y construir nuevas plantas: la de Los Naranjos y posteriormente la planta de La Lira. En 1924 se instaló en La Guaira la primera planta térmica, operada con petróleo. En 1929 culminó la construcción de El Dique de Petaquire; un reservorio que permitía regular el caudal de las aguas que alimentaba a tres plantas hidroeléctricas recién construidas en el Litoral Central. En 1935 La Electricidad de Caracas invirtió en la construcción de más plantas con mayor capacidad de generación; para 1947 se iniciaron los trabajos preliminares del complejo termoeléctrico de Arrecifes.[2]

La política de La Electricidad de Caracas era aumentar la infraestructura física para cubrir la creciente demanda de servicios. En Caracas se instaló la planta El Convento que permitiría atender la demanda en las horas de máxima carga. En la década de los años 70 el crecimiento de Caracas era de gran rapidez y hacia urgente acometer la construcción de centrales termoeléctricas para cubrir la demanda, por lo que se inició la construcción de la ampliación de la planta termoeléctrica de Tocoa. En 1987 la Empresa se abre hacia nuevos horizontes en unidades relacionadas a su negocio. Es entonces cuando nacen las filiales Serdeco, Turgenca, Transcasa y Medivensa (actualmente Empresas filiales de Corporación EDC, a su vez parte de La Electricidad De Caracas). [2]

Desde su nacimiento en 1996 como empresa filial de La Electricidad de Caracas C.A, hasta lo que hoy es una entidad jurídicamente independiente, la Corporación EDC desarrolla negocios rentables en las áreas de energía, agua y telecomunicaciones que contribuyen al progreso de las comunidades en la que está presente y además permiten el crecimiento del Grupo EDC en un mundo globalizado.[2]

#### Comunicaciones Móviles EDC C.A. (COMMOVIL)

Comunicaciones Móviles EDC es una empresa de La Electricidad de Caracas C.A. con el fin de incursionar en el mercado de las comunicaciones móviles vía radio y dar fundamentalmente servicio de despacho de voz a sus clientes. Especializada en comunicaciones con sistema de concentración de enlaces o tipo Trunking, COMMOVIL ofrece servicio en una amplia zona de cobertura en el centro – norte de Venezuela.[2]

Comunicaciones Móviles EDC desde 1997 hasta 1999, evaluó diferentes tecnologías de fabricantes como Nokia, Ericsson y Motorola, para decidir entre sus propuestas de sistemas de radios troncalizados, cual era la mejor en términos costo – efectivos, fue entonces que se decidió por el sistema SmartZone de Motorola. El sistema opera en la actualidad con 14 sitios de repetición, con una cobertura e infraestructura totalmente interconectada que representa el primer sistema SmartZone en Venezuela y posee alrededor de 4.000 unidades subscriptoras.[2]

En miras de crecimiento y expansión Comunicaciones Móviles EDC ampliará su zona de cobertura ofreciendo el sistema Smart Zone de Motorola al sur del Estado Anzoátegui para la empresa nacional PDVSA faja Orinoco, prestando un servicio de radio comunicación Trunking para lograr un desarrollo efectivo del proceso de exploración y explotación de hidrocarburos en dicha zona.

# CAPÍTULO I

## 1. 1- Planteamiento del Problema

PDVSA es una empresa nacional en crecimiento y expansión, en una constante búsqueda de ampliar las zonas de explotación de hidrocarburos, permitiendo aumentar los niveles de producción de los mismos, logrando una de sus misiones y objetivos que es darle apoyo al crecimiento económico de Venezuela. Esta empresa hoy en día cuenta con más de 70.000 trabajadores a lo largo del territorio nacional, incluyendo propios y contratados, contando con una serie de proyectos para llevar a cabo el proceso de crecimiento.

Uno de sus principales proyectos es explorar y explotar parte de la faja petrolífera del Orinoco, ubicada al sur del estado Anzoátegui; no obstante, motivado a la necesidad de mantener comunicados los grupos de trabajo que lo requieran dentro de las zonas de labor, PDVSA pensó en un sistema de comunicación móvil privado, así lograr el buen desarrollo y desempeño de este proyecto. Por esta razón Comunicaciones Móviles EDC siendo un proveedor de servicios de radio móvil, le ofrece un Sistema Trunking cumpliendo con las necesidades que busca PDVSA.

Comunicaciones Móviles para llevar a cabo este proyecto deberá realizar un estudio del sistema a implementar, por ello éste trabajo se enfoca en hacer un estudio de cobertura con los posibles equipos a usar y así establecer las zonas de servicio que puede ofrecer. Además, se realizará un estudio del tráfico en las distintas posibles estaciones de repetición, basado en el número de clientes que se estimarán tener y así lograr asegurar que los equipos planteados satisfagan las necesidades del cliente.

## **Objetivos**

### **1.2.- Objetivo General.**

El presente trabajo busca estimar el área de cobertura que Comunicaciones Móviles EDC puede ofrecerle a PDVSA al prestarle servicio de comunicaciones Trunking en la zona del sur del estado Anzoátegui. Además, busca que el lector aprecie los diferentes factores ó objetivos previos que interviene al hacer un estudio de cobertura. Para ello, a continuación se mencionará puntos relevantes que se deben desarrollar en el estudio o cálculo de cobertura. Llegando al objetivo principal y final, que es determinar las zonas de servicio que puede ofrecer Comunicaciones móviles a PDVSA y de esta forma verificar que cumpla con los requerimientos exigidos.

### **1.3.-Objetivos Específicos.**

Inicialmente se debe hacer un estudio de las necesidades de la empresa en cuanto a las zonas prioritarias de servicio y requerimientos básicos a nivel tecnológico, ya que es de vital importancia saber las necesidades a cubrir, de esta manera emplear la tecnología más adecuada. Después de tener el conocimiento del área y la banda de frecuencia en la cual se prevé prestar servicios, se tiene que hacer un estudio de la gran variedad de métodos o modelos existentes para el estudio de cobertura en los sistemas de comunicación móviles. Además, cómo los distintos factores y formas de corregir la estimación de la cobertura, siendo dependiente del medio en que se desenvuelve dicho sistema. Posteriormente, elegido el método y con las especificaciones de los equipos que cuenta Comunicaciones Móviles EDC, se procede a especificar las potencia en las cuales se hará las simulaciones, para los cálculos de cobertura, sin olvidar las bandas de frecuencia en que trabajaran dicho equipos, siendo estos de vital importancia al realizar una solicitud de espectro de frecuencia al ente regulador estatal. Donde este se encarga de administrar el uso de las bandas de frecuencias con su respectiva zona de prestación, evitando entre distintos proveedores de servicios ocurran interferencia de canales, disminuyendo así la calidad de servicio que se puede ofrecer. Una vez obtenido las especificaciones de

los equipos de transmisión y los canales de trabajo se requiere hacer un estudio detallado sobre las 10 posibles estaciones de repetición ubicadas al sur del estado Anzoátegui, con el método de cálculo más adecuado al sistema en estudio, logrando así establecer el área de cobertura total que puede ofrecer en las distintas estaciones en conjunto. Después de haber culminado el estudio de cobertura se realizará un estudio de tráfico en las estaciones que se determinaron para cubrir la zona deseada.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS**

#### **2.1.- Comunicaciones Móviles: Generalidades**

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) define el servicio móvil como “un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas ó entre estaciones móviles únicamente”[1]. Se distingue tres clases de servicios móviles, a saber:

- Servicio móvil terrestre.
- Servicio móvil marítimo.
- Servicio móvil aeronáutico.

Los sistemas de radiocomunicación móvil permite el intercambio de información diversa (voz, datos, fax, vídeo, etc.) entre terminales móviles a bordo de vehículos o transportados por personas, ya sea directamente a través de un medio de transmisión radioeléctrica o con prolongación vía Red Telefónica Conmutada y terminales fijos de abonados o Centros de Control con unas características de calidad determinadas. Esto hace que se excluya casi en su integridad la utilización de hilos (cables) para realizar la comunicación en dichos extremos. Por lo tanto, utiliza básicamente la comunicación vía radio.[1]

En estos sistemas se puede aprovechar plenamente el carácter inalámbrico de los enlaces radioeléctrico y la movilidad inherente al mismo, logrando enlaces de telecomunicaciones de gran ubicuidad, versatilidad y flexibilidad.

Las redes móviles terrestres se iniciaron en ámbitos restringidos, para el establecimiento de comunicaciones en tareas de despacho para la gestión de las actividades de flotas de vehículos en aplicaciones tales como: servicios de policía, mantenimiento de servicios públicos de distribución de gas, agua, electricidad, servicios de emergencia, ambulancias, protección civil, bomberos, control de tráfico, etc. Estas aplicaciones han dado lugar a los sistemas llamados PMR (Private Mobile Radio), que se caracterizan por tener una cobertura básicamente local y no están conectados a la red telefónica pública conmutada. En la figura 1 se representa un esquema conceptual de un sistema PMR configurado como una red. Dentro de la red pueden haber comunicaciones en que estén involucrados únicamente algunos terminales, se dice que estos terminales forman un Grupo Cerrado de Usuarios: CUG (Closer User Group).[1]

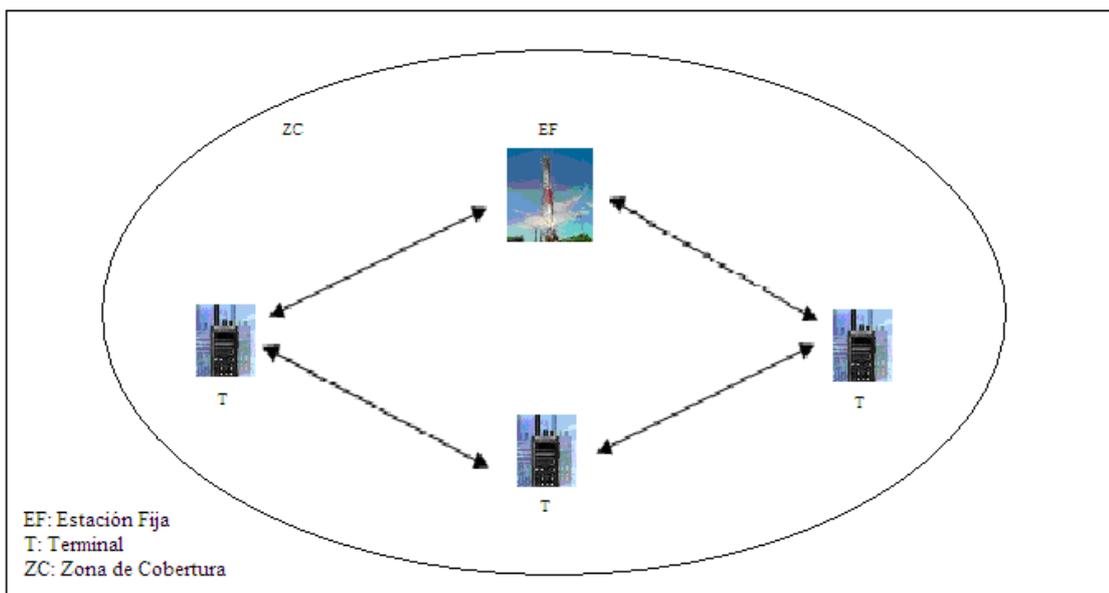


Figura 1. Esquema que un Sistema PMR  
Fuente: autor.

La superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con la estación fija y entre si, se denomina zona de cobertura. En consecuencia los sistemas de comunicaciones móviles han de diseñarse forma tal

puedan realizarse los enlaces desde cualquier lugar de la zona de cobertura. Ello obliga a elegir cuidadosamente la ubicación de la estación fija.

Una estación de radio bien situada puede proporcionar cobertura de servicio a un gran número de terminales. Con una o más frecuencias portadoras, constituye el recurso necesario para el establecimiento de un sistema de comunicaciones móviles al que han de acceder los usuarios de la red. En las redes móviles tradicionales, el acceso al recurso de espectro se efectúa mediante asignaciones rígidas de canales. Cada Red o CUG, dependiendo el caso, utiliza uno o más canales para sus radiocomunicaciones y diferentes redes o CUG, empleando diferentes frecuencias. A este tipo de acceso se le llama Acceso Multiple por División de Frecuencia de banda estrecha: FDMA(Frecuency Division Multiple Access).[1]

En ocasiones, varias redes pueden compartir las frecuencias e instalaciones de una estación fija, por su estudiada ubicación proporciona una amplia zona de cobertura. Compartir frecuencias sin interferencias mutuas es posible gracias al empleo señalización selectiva, mediante tonos que permiten la entrega de los mensajes a los usuarios respectivos; a este tipo de señalización se conoce como una estación de repetición comunitaria. Debido a la escasez, cada vez mayor, de frecuencias para el servicio móvil en redes con un número elevado de terminales, se utilizan técnicas avanzadas de múltiple acceso, que se basan en compartir las frecuencias. A tales sistemas se les denomina Sistemas troncalizados o mejor conocidos como sistemas Trunking. La evolución de las comunicaciones móviles viene dado fundamentalmente por el desarrollo de sus sistemas de control; de los primeros métodos de señalización y control que utilizaban corriente continua y tonos, se ha evolucionado a un control muy sofisticado basado en señalización digital. Ello ha permitido la realización práctica de los sistemas Trunking, logrando una cobertura que inicialmente eran en una localidad reducida hasta el caso actual que pueden dar servicio a toda una región de rango extendido.

### **2.1.1.- Elementos de un sistema radio móvil.**

Todo sistema de radio comunicaciones móviles consta de los siguientes elementos:

- Estaciones fijas (FS).
- Estaciones móviles (MS).
- Equipos de control.

#### **Estaciones fijas.**

Una estación fija es una estación radioeléctrica no prevista para su utilización en movimiento. Hay diversas categorías de estaciones fijas en el servicio móvil:

- Estación base (BS).
- Estación de Control (CS).
- Estación repetidora (RS).

#### **a) Estación base**

Una estación base es una estación radioeléctrica fija, cuyo funcionamiento se controla directamente desde una unidad de control situada en un punto específico. El control puede ser local ó remoto, mediante de líneas telefónicas o radio enlaces. Las estaciones base tienen como característica primordial ser fuentes y sumideros de tráfico, tanto de información como de señalización. Están constituidas por equipos transeptores, sistemas radiantes y elementos de acoplo entre unos y otros.

#### **b) Estación de control.**

Una estación de control es una estación fija, cuyas transmisiones se utilizan para controlar automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación

de radio en un emplazamiento específico. Las estaciones de control se emplean generalmente para controlar una estación base o una repetidora de sistemas PMR.

### **c) Estaciones repetidoras**

Son estaciones fijas que retransmiten las señales recibidas. En PMR las estaciones repetidoras se destinan al logro de una gran cobertura radio eléctrica, por lo que suelen ubicarse en sitios altos.

- **Estaciones Móviles.**

Una estación móvil es una estación radioeléctrica del servicio móvil prevista para su utilización en un vehículo en marcha ó que efectúa paradas en puntos indeterminados. El término incluye a los equipos portátiles o de mano, que son aquellos que acompañan al usuario y los denominados equipos porta-móviles, que pueden instalarse temporalmente en vehículos y transportarse también a mano.

- **Equipos de control.**

Es el conjunto de dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones base, la generación y recepción de llamadas, localización e identificación de vehículos, transferencia de llamadas a la red telefónica privada, señalización de canales, entre otros.

- **Canal de Transmisión o Recepción.**

Es la banda requerida por cada equipo de transmisión o recepción para realizar la comunicación entre terminales.

- **Talk Groups ó Grupos de Habla.**

Son las divisiones necesarias dentro los grupos de trabajo requerido para el desarrollo de las comunicaciones dentro del Sistema Trunking.

### **2.1.2.- Sistema de Concentración de Enlaces o Trunking**

“Los sistemas de concentración de enlaces (trunking), se pueden describir como la conmutación automática de algunos canales en un sistema repetidor multicanal, el cual tiene además la función de compartir canales de forma automática en un sistema múltiple de repetición. Las ventajas del trunking incluyen menos esperas para tener acceso al sistema. Aparte la probabilidad que todos los canales estén ocupados en el mismo instante es baja (especialmente en sistemas más grandes). Actualmente se permiten sistemas de concentración de enlaces hasta de 20 canales.”[1]

Las ventajas de estas técnicas son:

- Un menor tiempo de acceso al sistema.
- Un aumento de la capacidad de canales para una calidad de servicios.
- La posibilidad de quedar bloqueado es mucho menor debido a que la probabilidad que todos los canales estén ocupados es baja.

El concepto de Trunking ha sido utilizado por décadas por la industria telefónica para conmutar el tráfico en sus líneas.

El concepto de trunking se basa en:

- Los suscriptores individuales utilizan el sistema solamente un pequeño porcentaje del tiempo.
- Un gran número de usuarios no utilizan el sistema en los mismos períodos de tiempo.

En los sistemas modernos la técnica de concentración de enlace o Trunking se utiliza en los sistemas PMR (Private Mobile Radio) y en los sistemas celulares TMA (Telefonía móvil automática). Además estos se diferencian por el tratamiento que se da a las tentativas llamadas que se producen cuando todos los canales están ocupados, los cuales se dividen en dos categorías: los troncales que son tratados como sistemas de espera y se dimensionan acorde a la fórmula de Erlang C, por otra parte se encuentran los TMA que se tratan como sistemas de pérdidas y se dimensionan acorde a la fórmula Erlang B.[1]

## **2.2.-Sistema en Estudio.**

Antes de realizar el estudio al detalle de los distintos métodos de cálculo de cobertura, se debe conocer los diferentes elementos que conforman el sistema de radio comunicación Trunking, simplificando el estudio de los innumerables métodos de cálculo de cobertura. A continuación se presentarán los elementos más importantes que se deben conocer para optimizar el estudio.

### **Objetivo del sistema.**

PDVSA ORINOCO está iniciando un proceso de exploración de hidrocarburos al sur del estado Anzoátegui, donde necesita un sistema de comunicación privado para mantener comunicados constantemente procesos de trabajos, de esta manera se puedan comunicar a través de un mismo canal de escucha grupos de usuarios ya preestablecidos; acotando que un usuario puede pertenecer a varios grupos de trabajo, siendo 32 el número máximo de grupos de habla al que puede pertenecer y dependiendo de las necesidades que tengan se crearán varios grupos de trabajo.

### **Lineamientos generales.**

Comunicaciones Móviles EDC cuenta con una serie de posibles sitios de repetición y equipos necesarios para el levantamiento del sistema de comunicación, partiendo de esto busca optimizar o el número de estaciones sin disminuir la calidad de servicio y de esta forma se evita el uso de equipos redundantes que pueden ser usados para prestar servicios en otras localidades.

### **Población a servir.**

PDVSA ORINOCO es inicialmente la población a servir, donde se prestará servicio a unos 3 mil usuarios ubicados al Sur del estado Anzoátegui. Como se explicó anteriormente estos usuarios se comunicarán dentro de grupos de trabajo dependiendo las necesidades que requiera dicha empresa. Si bien no se ha planteado de manera definitiva las divisiones de grupos de trabajo no obstante el presente trabajo parte de la premisa que cada equipo portátil no puede manejar más de 32 grupos de trabajo, además que cada estación manejará 5 canales equivalente a 5 repetidores y un aproximado de 750 usuarios por estación.

### **Localidades a cubrir.**

En general se busca cubrir el sur del estado Anzoátegui pero se tiene como prioridad cubrir las posibles zonas de exploración, donde se encuentran ubicados los municipios Monagas, Simon Rodríguez y Miranda mostrados en el figura 2. Estas zonas son rurales, de baja densidad poblacional, además de terrenos llanos, facilitando ó disminuyendo los factores que atenúan la propagación electromagnética.

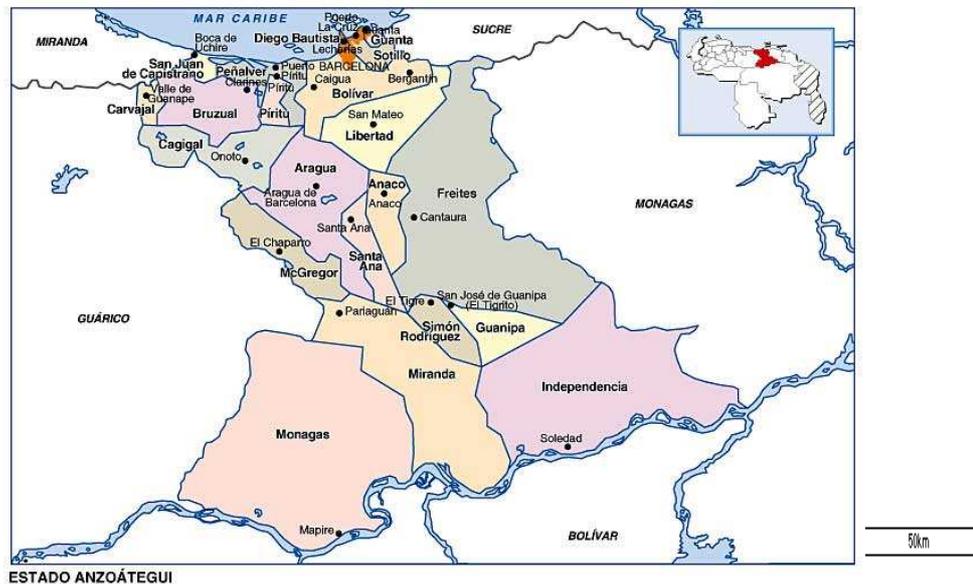


Figura 2. Mapa del Estado Anzoátegui.

Fuente: [www.a-venezuela.com/mapas](http://www.a-venezuela.com/mapas)

### 2.2.1.-Descripción del Sistema planteado.

A continuación se presentan los elementos y características del sistema planteado por Comunicaciones Móviles EDC.

#### Esquema del sistema.

Se plantea en un inicio 9 posibles estaciones de repetición a lo largo del estado Anzoátegui, adicionada una estación ubicada en Monagas con frontera al Estado Anzoátegui, sumando un total de 10 posibles estaciones; esto con el fin tener una mayor área de cobertura y previendo posibles expansiones. El esquema inicial de la distribución de las diez estaciones se muestra en la figura 3.

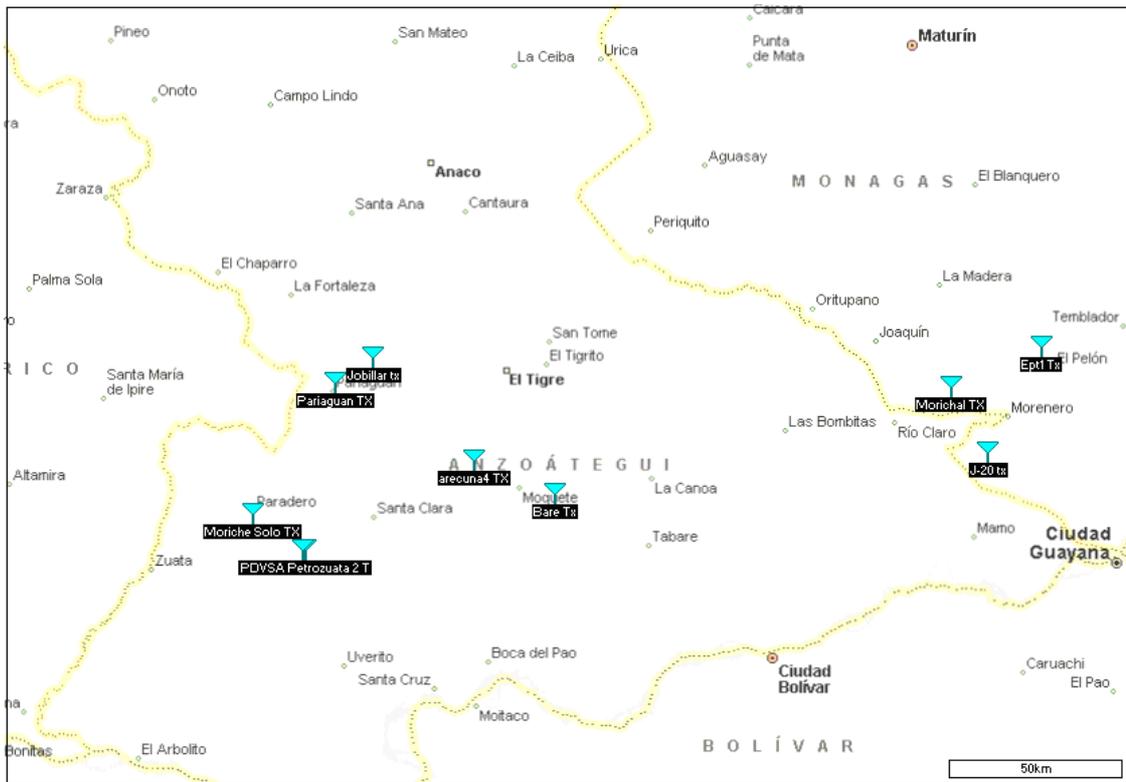


Figura 3. Mapa de la distribución inicial de las Estaciones de Transmisión

Fuente: Autor.

### Especificaciones técnicas

#### Potencia.

En relación al nivel de potencia de los equipos de transmisión empleados será de 100W por repetidor.

#### Frecuencia.

La banda de frecuencia en que pueden trabajar las estaciones repetidoras para la transmisión es la banda de 851Mhz a 866Mhz y para la recepción de 806Mhz a 821Mhz. En cuanto a los móviles se programa la frecuencia dentro la banda de 806Mhz a 821Mhz para la transmisión y dentro de la banda de 851Mhz a 866Mhz.

Inicialmente Comunicaciones Móviles EDC planteó 5 canales por repetidor, no obstante Motorola especifica el espacio mínimo entre canales debe ser:

Para un sistema de 5 canales el espaciamiento debe ser: 1MHz.

Para un sistema de 10 canales el espaciamiento debe ser: 0,5MHz.

Para un sistema de 20 canales el espaciamiento debe ser: 250KHz.

La banda propuesta en el siguiente trabajo será usada en el informe correspondiente al ente regulador del espectro radio eléctrico nacional CONATEL, este designará las bandas de frecuencia que podrán ser usadas en las diferentes estaciones para la operación o funcionamiento del sistema de Comunicaciones Móviles.

Los especificaciones presentadas son las recomendaciones propuestas por Motorola Inc. para la operación del Sistema SmartZone a continuación se presentan las características de dicho sistema.

### **2.2.2.- Sistema SmartZone® de Motorola.**

“El sistema SmartZone® una marca registrada de Motorola Inc. está basado en tecnología Trunking, la cual provee comunicación integrada a través de áreas geográficas extensas tales como regiones, departamentos, estados y países en su totalidad. Además de ser sumamente flexible y confiable, el sistema SmartZone provee las siguientes características avanzadas:

- Puede cubrir áreas geográficas extensas. Una zona de SmartZone puede llegar a tener hasta 48 sitios de repetición diferentes y cada sitio puede ser equipado con un máximo de 28 canales Troncalizados.

- Provee uso eficiente de los canales de voz. La utilización eficiente de los canales de voz se debe a la característica de asignación dinámica de sitio. La asignación dinámica permite que los canales de voz sean activados solamente en los sitios de repetición donde se encuentran los miembros del grupo que participan en la llamada. Esta asignación ocurre automáticamente sin intervención humana y permite que los usuarios se desplacen por el área de cobertura sin tener que saber la ubicación del resto de los miembros de su grupo.
- Permite equipar los sitios de repetición con el número mínimo de repetidoras necesarias para manejar el tráfico de ese sitio en específico. Cada sitio de repetición puede tener un número diferente de repetidoras, en áreas de operación de poco tráfico y pueden ser cubiertas con tecnología Troncalizada a un costo efectivo.
- Permitir utilizar el canal de control como canal de voz en sitios de muy poco tráfico.
- Provee características nuevas que pueden acelerar el proceso de llamadas y maximizar el rendimiento del sistema. Exclusión del sitio ocupado, asignación de sitio crítico, acceso de usuario crítico y sitio preferido.
- Puede integrar sistemas convencionales a la red SmartZone.
- Provee un sistema de gerencia integrado altamente sofisticado, útil y fácil de usar que permite la gerencia de configuración del sistema de fallas y de seguridad.
- Los controladores de sitios remotos no son necesarios cuando se utilizan repetidoras inteligentes. Una repetidora inteligente tiene la capacidad de

proveer Troncalización en ese sitio de repetición sin la necesidad de utilizar controladores externos. Las repetidoras inteligentes proveen respaldos la una a la otra, lo cual resulta en un alto grado de confiabilidad y tolerancia a fallas.

- Provee la mayoría de las características y capacidades de Smartnet II+, esto incluye: llamadas de grupo, llamadas selectivas y llamadas de interconexión telefónica entre otras. También incluye opcionalmente características como: llamadas y alarma de emergencia, reagrupación dinámica e inhibición selectiva de unidades.
- Provee capacidad para la integración de un subsistema de con seguridad de voz.”[2]

### **2.3.- Cobertura radioeléctrica en los sistemas móviles.**

Una característica de los sistemas de comunicaciones móviles es su cobertura zonal, donde los terminales se pueden ubicar en cualquier punto de la zona de cobertura. “Se entiende por zona de cobertura la superficie entorno a la estación base en la señal (potencia o campo) que tiene un valor superior a cierto umbral de funcionamiento”[1]. Ello implica una multiplicidad de trayectos posibles con diferentes y variadas situaciones de propagación. De aquí el problema de la predicción de la zona de cobertura de una estación de servicio móvil, la parametrización de la estación en cuanto a potencia y características del sistema radiante será de primordial importancia. Dada la imposibilidad temporal de analizar todos y cada unos de los trayectos, el estudio de cobertura se ha realizado efectuando algunas simplificaciones. Por ejemplo, se trazarán radiales desde la estación base, con respecto al azimut, a lo largo de la trayectoria hasta el límite de la zona de cobertura y realizando un análisis detallado en esos radiales como si se tratara de un sistema punto a punto. CONATEL el ente regulador del espectro radio eléctrico,

recomienda en el estudio de cobertura tomar en consideración como un mínimo de 36 radiales separados entre sí  $10^\circ$  tomando como referencia el norte magnético.

### **2.3.1.- Contorno de servicio.**

Se define como el área dentro de la cual se satisface el nivel umbral de campo eléctrico, por ende, su límite demarca la frontera que garantiza el cumplimiento de las condiciones de calidad planteadas.

### **2.3.2.- Contorno de protección**

A diferencia del contorno de servicio, el de protección no busca garantías para el sistema en sí mismo, sino para su interacción con otros transmisores que se desenvuelvan en su cercanía. Se especifica que este contorno debe ser trazado suponiendo que el receptor posee el doble de sensibilidad. Es decir, su campo mínimo tiene un valor menor y por ende podrá establecer comunicación a mayor distancia. Con este parámetro el ente regulador busca mantener control de las interferencias que pueden existir entre sistemas vecinos y también que sean tomados en el estudio detallado cobertura.

Es de notar que para el contorno de protección el campo necesario solo debe incluir las correcciones debido al ruido y al multitrayecto, ya que si el objetivo de este es estimar hasta donde puede interferir con otros sistemas, la limitación del contorno debida a un aumento en la variabilidad espacial o temporal no es conveniente. Si se calculase el contorno para un 90% de las ubicaciones, éste sería reducido para cumplir con dicha condición y no incluiría zonas en las que existe una probabilidad de sobrepasar un umbral entre el 50% y 89% y donde la operación de otro sistema podría verse afectada.

Una vez definidos los contornos de servicios y de protección se puede dar por estimada la cobertura de una estación base. La superposición de dichos contornos para la totalidad de las estaciones en un mapa topográfico, definirá la cobertura total del sistema, permitiendo ubicar zonas sin servicio o zonas con solapamiento excesivo entre radio estaciones. Un correcto estudio de cobertura permitirá la eficiente ubicación de estaciones con el fin de utilizar de mejor manera los recursos con que se cuentan.

### 2.3.3.- Campo mínimo en el receptor Em.

Es la intensidad de campo eléctrico requerido por el equipo receptor para garantizar una determinada calidad de señal deseada. Este parámetro depende del sistema, antena del receptor y de la sensibilidad del mismo. Se puede definir empleando el área efectiva de la antena utilizada y las características de los elementos empleados entre esta y el equipo receptor, como conectores y alimentadores.

Se tiene que la potencia entregada al receptor ó móvil viene dado por:

$$P_r = A_{efe} * \Phi \quad (1)$$

Donde el área efectiva de captación de una antena se describe con:

$$A_{efe} = \frac{(\lambda)^2 * g_i}{4 * \pi} \quad (2)$$

Además se sabe que la longitud de onda se puede expresar como  $c/f$  y la densidad de flujo de potencia recibida  $[W/m^2]$  viene expresado por:

$$\Phi = \frac{E^2}{120 * \pi} \quad (3)$$

De la expresión (1) se sustituye el área efectiva de la antena móvil y la densidad de flujo de potencia recibida por las expresiones (2) y (3) respectivamente se plantea la ecuación (4):

$$Pr = \frac{E^2 * (c/f)^2 * gi}{120 * \pi * 4 * \pi * lc} \quad (4)$$

Operando la expresión (4), se puede deducir el valor de campo eléctrico en términos de la potencia umbral, además se asume despreciable las pérdidas por inserción, llegando de esta manera a la ecuación (5).

$$E = \frac{\pi * f * [480 * Pr / gi]^{1/2}}{c} \quad (5)$$

Para definir la sensibilidad de un equipo se debe escoger el umbral de calidad a cumplir, denominados por algunos autores como relación SINAD, este parámetro es definido por la siguiente expresión

$$SINAD(dB) = 10 \log \left( \frac{\text{señal} + \text{ruido} + \text{distorsión}}{\text{Ruido} + \text{distorsión}} \right) \quad (6)$$

En la ecuación (6) el ruido es producido internamente en el receptor, la distorsión es producida por: la banda de paso que se emplee, la diferencia de frecuencia de la señal deseada con la señal interferente cocanal y por ultimo la excursión en frecuencia entre otras causas. El valor aceptado de la relación SINAD es de 12dB y se define como “la intensidad de señal mínima utilizable en cualquier instalación receptora en ausencia de ruido externo”[3]. Empleando la sensibilidad como la potencia en el receptor y reescribiendo la expresión indicada en la Ec.(5) en forma logarítmica, se tiene que el campo mínimo viene dado por:

$$Em(dBuV/m) = S(dBm) + 20 \log(f [MHz]) - Gi(dB) + Lc(dB) + 77,21 \quad (7)$$

#### **2.3.4.- Campo necesario.**

La intensidad del campo eléctrico en servicios móviles se caracteriza por presentar grandes variaciones en función del tiempo y del espacio. Además por poseer gran sensibilidad a las características del entorno donde se desarrolla la comunicación y por estar expuesta a una cantidad de fuentes de ruido, se hace necesario definir un nuevo umbral que tome en cuenta estas consideraciones a fin de ajustarse mas a la realidad. Tomando en cuenta que el campo mínimo depende exclusivamente de características del equipo receptor frente a las señales manejadas, se deberán adicionar a éste múltiples factores de corrección que permitan un mejor modelado de la situación planteada.

Estos factores son dos, uno que incluya las variaciones propias de la propagación en sistemas móviles ( $\Delta eE$ ) y otro que englobe los principales agentes externos que afecten negativamente la comunicación ( $\Delta rE$ ). En base a estos factores se define el campo mediano necesario por medio de la siguiente expresión:

$$E_n = E_m + \Delta eE + \Delta rE \quad (8)$$

Correcciones Espacio- Temporales.  $\Delta eE$

La variabilidad de la intensidad del campo puede darse de dos formas, con respecto a las ubicaciones y con respecto al tiempo, en ambos casos representa la disponibilidad de un determinado nivel de campo en un porcentaje ya sea de posiciones dentro de un área o intervalos temporales en un período dado. Si se aumenta el porcentaje de tiempo ó de ubicaciones, esto traerá como consecuencia una disminución en la cobertura, pues se requerirá de un área de estudio menor para garantizar porcentajes altos.

La variabilidad en función del tiempo es afectada por múltiples parámetros, muchos de ellos climáticos, por lo que su carácter estadístico lo hace laborioso de definir. En varias de las recomendaciones vigentes de la UIT tratan la propagación de servicios móviles en las bandas utilizadas por Radio Trunking, en donde plantean curvas que representan los valores de intensidad de campo durante el 50%, 10% y 1% del tiempo, siendo el primero nuestro caso de estudio.

En base a las recomendaciones consultadas, se ha de suponer el uso de 50% del tiempo en la estimación de cobertura, porcentaje que por coincidir con la mayoría de los modelos de propagación comúnmente usados no obligará a realizar modificación alguna al campo mínimo calculado, ya que el factor de corrección corresponde a 0dB.

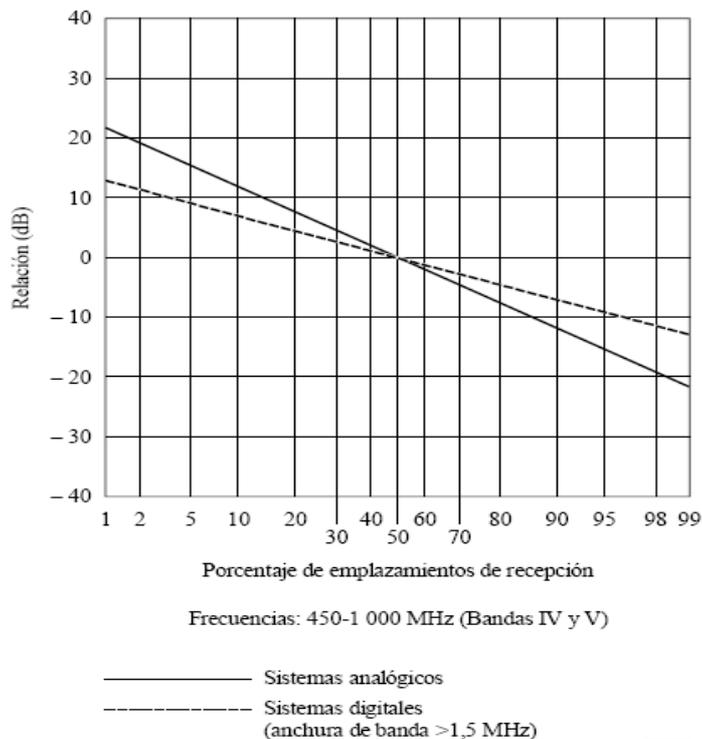
Por otra parte, se conoce que la variación espacial respecto a las ubicaciones, correspondiendo a una distribución gaussiana cuando es medida en términos logarítmicos. Siendo posible conocer cuanto varía el campo en función del porcentaje deseado si se tiene el valor de la desviación típica de las ubicaciones ( $\sigma_l$ ). La obtención de dicho parámetro es especificada en la recomendación UIT-R P.1546 donde se define mediante la siguiente expresión.

$$\sigma_l = k + 1.3 \log(f) \quad (9)$$

Donde k es 1.2 para sistemas móviles con antenas omnidireccionales y la frecuencia (f) está dada en MHz. Una vez obtenido  $\sigma_l$  será necesario ubicar el valor de la distribución normal acumulativa complementaria inversa (q%) para el porcentaje deseado y este valor se calcula mediante la ecuación 10, de esta manera se hallara la variación de la intensidad del campo respecto a las ubicaciones.

$$\Delta_e E = q\% * (\sigma_l) \quad (10)$$

**Relación (dB) entre la intensidad de campo para un porcentaje cualquiera de emplazamientos de recepción y la intensidad de campo para el 50% de emplazamientos de recepción**



**Gráfica 1 . Variabilidad de Desplazamiento según UIT-R P.370-7**  
**Fuente:UIT-R P.370-7**

De la expresión 12 y con la figura 2, extraída de la recomendación UIT-R p.370-7 se muestra el valor de la corrección en decibeles del campo dependiendo del porcentaje de ubicaciones deseado para las frecuencias de operación del Sistema Trunking.

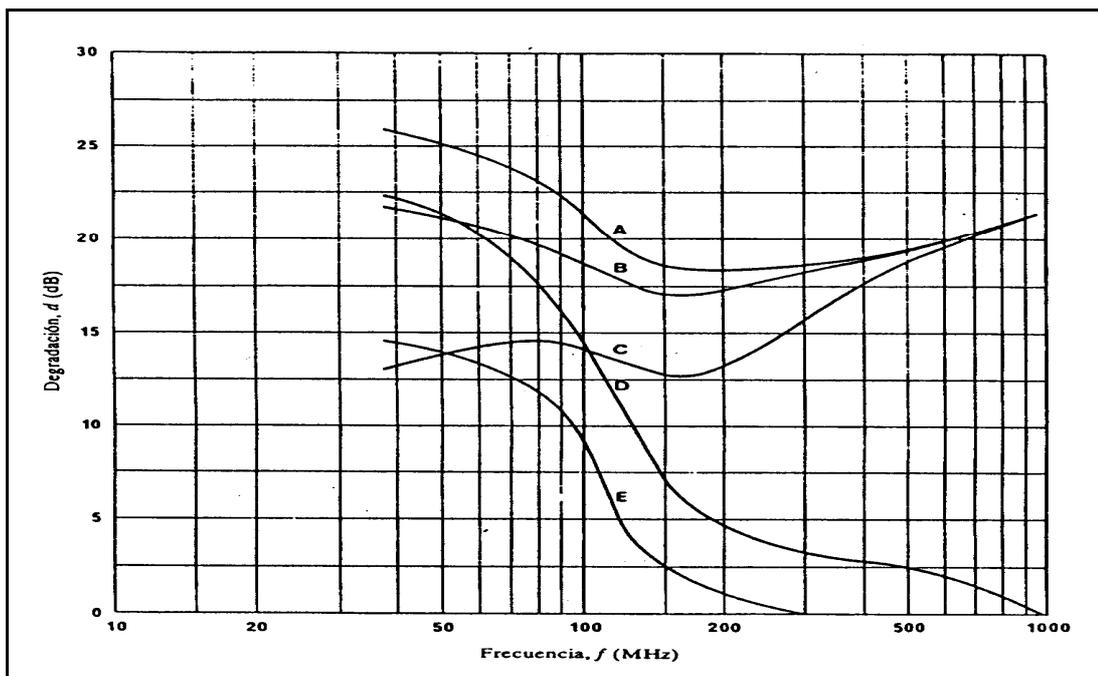
**Correcciones debidas al ruido y al multitrayecto  $\Delta rE$ .**

Esta incluye variaciones debidas al entorno, terreno, desvanecimiento y ruido causado por el hombre, esta última es conocida como ruido artificial y en la práctica se debe principalmente al tráfico de vehículos automotores y maquinas industriales. Para hallar este parámetro se debe escoger dentro una serie de grados de calidad de

voz, mostrados en la tabla 1, posterior a esto se halla el valor de la degradación producida por estos factores (ver gráfica 2).

Tabla 1. Nivel de Comprensibilidad de la Voz.

Nota	Efecto de la Interferencia	Nivel de Comprensibilidad
5	Casi nulo	Conversación Comprensible
4	Perceptible	Conversación Comprensible
3	Molesto	Conversación Comprensible
2	Muy molesto	Conversación Comprensible
1	Suficiente Molesto	No Comprensible



Gráfica 2. Variación de la degradación de la calidad de recepción en una estación.  
Fuente UIT R 358-5.

De la gráfica 2 se lee directamente el valor de  $\Delta rE$  que ha de sumarse al campo mínimo que han de protegerse, para una señal de calidad nota 4 (ver tabla 1) y

una sensibilidad del receptor de  $0,7 \mu\text{V}$  (f.e.m.). Para hallar la intensidad mediana necesaria para cumplir con las condiciones de calidad deseadas. En dichas curvas se presentan los valores a ser protegidos cuando la unidad móvil se encuentra:

A: vehículo en movimiento, la densidad del tráfico es de 2 vehículos/s

B: vehículo en movimiento, la densidad del tráfico es de 1 vehículo/s

C: vehículo en movimiento, no hay ruido de encendido ni ruido ambiental

D: vehículo parado, la densidad del tráfico es de 2 vehículos/s

E: vehículo parado, la densidad del tráfico es de 1 vehículo/s

#### **2.4.- Modelos y métodos de propagación.**

“La ruta que sigue la señal desde el transmisor hasta el receptor puede ser planteado desde una línea de vista hasta un ambiente en el cual tengamos una gran cantidad de obstáculos como edificios, montañas o árboles que lo interfieran. La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación, por lo general, esta parte se hace de manera estadística, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica y para un determinado sistema o parte del espectro”[4].

“Los modelos de propagación han puesto su mayor interés en predecir la potencia por medio de una señal recibida a una distancia determinada del transmisor, así como también las variaciones de la potencia de la señal en la cercanía de un punto de interés. Los modelos de propagación que predicen la potencia de la señal para cualquier distancia de separación entre el transmisor y el receptor, son conocidos como modelos de propagación de Gran Escala (Large-Scale) y son de gran utilidad para el cálculo de áreas de cobertura para sistemas de radio. Los modelos que predicen los cambios rápidos en la intensidad de la señal recibida en distancias pequeñas de unas cuantas longitudes de onda, se les conocen como modelos de Pequeña Escala (Small-Scale).” [4]

#### **2.4.1.- Modelos de propagación para ambientes abiertos.**

Desde el comienzo del estudio de las tecnologías de comunicaciones móviles vehiculares, han aparecido numerosos mecanismos o métodos para la estimación de la cobertura de los mismos. En general las diferencias entre uno y otros corresponden a la manera como abordan las pérdidas básicas. Modelos teóricos, datos prácticos o curvas asociadas a los mismos y hasta metodologías empíricas o semi-empíricas han sido planteados para tratar de estimar la atenuación que presentan las señales en su propagación en un área determinada. Algunos de los métodos o modelos disponibles son los siguientes: modelo Espacio libre, modelo tierra plana, método de Longley-Rice, método Okumura, método Okumura-Hata, método de Bullington, etc.[4]

#### **2.4.2.- Modelo de Propagación en el Espacio Libre.**

Este modelo es utilizado para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una línea de vista. Los sistemas de comunicación satelital y los enlaces microondas se pueden modelar como propagación en el espacio libre. El modelo del espacio libre predice que la potencia recibida decae como función de la distancia de separación entre el transmisor y receptor elevada a alguna potencia. La potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora la cual está separada de la antena transmisora una distancia  $d$ , está dada por la ecuación 12 conocida como fórmula de Friis.[4]

$$P_r(D) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2 \cdot L} \quad (11)$$

Donde:

$P_t$ : es la potencia transmitida.

$P_r$ : es la potencia recibida la cual es función de la separación Tx-Rx (transmisor-receptor).

$G_t$ : es la ganancia de antena transmisora.

$G_r$ : es la ganancia de la antena receptora.

$d$ : es la distancia de separación de Tx-Rx dada en metros.

$L$ : es el factor de pérdida del sistema no relacionado a la propagación.

$\lambda$ : es la longitud de onda dada en metros.

Los valores de  $P_t$  y  $P_r$  deben ser expresados en las mismas unidades, siendo  $G_t$  y  $G_r$  cantidades adimensionales.

Las pérdidas  $L$  son usualmente debidas a la atenuación de la línea de transmisión, a las pérdidas por filtros, y a las pérdidas de la antena en los sistemas de comunicación. Cuando  $L=1$  significa que no hay pérdidas en el sistema.

Las pérdidas por trayectoria que representan la atenuación de la señal como una cantidad positiva medida en dB, y puede o no incluir el efecto de ganancia de las antenas. Cuando se incluyen la ecuación es la siguiente:

$$PL(\text{dB}) = 10 \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \log\left(\frac{G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2}\right) \quad (12)$$

También se puede expresar de la siguiente manera:

$$L_p(\text{dB}) = 20 \cdot \log(d)[\text{km}] + 20 \cdot \log(f)[\text{MHz}] - 10 \cdot \log(G_t) - 10 \cdot \log(G_r) - 147.55 \text{ dB} \quad (13)$$

Cuando la ganancia de las antenas es excluida, se asume que tienen ganancias unitarias y la ecuación se convierte en:

$$P_L(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \cdot \log\left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2}\right) \quad (14)$$

La ecuación de Friis sólo es válida para predecir  $P_r$  para valores de “d” que estén en la región lejana de la antena transmisora. La región lejana o región de Fraunhofer de una antena transmisora se define como la distancia más allá de la distancia  $d_f$ , la cual se relaciona con la dimensión mayor de la apertura numérica de la antena transmisora y con la longitud de onda de la portadora. La distancia de Fraunhofer está dada por la ecuación (15).

$$d_f = 2 D^2 / \lambda \quad (15)$$

Donde:  $D$  es la dimensión física mayor de la antena, adicionalmente para estar en la región lejana se debe satisfacer  $d_f \gg D$  y  $d_f \gg \lambda$ .

#### 2.4.3.- Modelo Tierra plana (Reflexión Terrestre).

El modelo tierra plana de reflexión terrestre es un modelo muy útil que se basa en óptica geométrica, y considera tanto la transmisión directa como una componente de propagación reflejada en la tierra entre el transmisor y el receptor. Se puede considerar que este modelo de gran escala es adecuado para predecir la potencia de la señal en distancias de varios kilómetros tomando en cuenta que la antena del sistema celular debe tener una altura mínima de 50 metros. Véase figura 4.

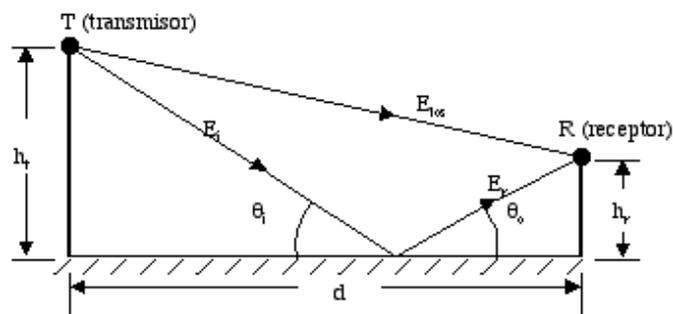


Figura 4. Modelo de Dos Rayos.

Fuente: <http://catarina.udlap.mx>

El segmento de separación entre transmisor y receptor puede considerarse plano, ya que en la mayoría de los sistemas móviles celulares la distancia real entre el transmisor y receptor es de unas cuantas decenas de kilómetros.

La potencia recibida a una distancia  $d$  proveniente del transmisor, además cuando  $d \gg h_t$  y  $d \gg h_r$  puede ser expresada como:

$$Pr = \left( \frac{P_t * G_t * G_r * h_t^2 * h_r^2}{d^4} \right) \quad (16)$$

#### **2.4.4.- Métodos de Propagación en RF en ambientes urbanos.**

El estudio de esta parte de las telecomunicaciones tuvo sus inicios en Japón aproximadamente en la década de los setentas, siendo uno de los primeros el científico Okumura quien basó sus estudios en mediciones experimentales realizadas en su país. Después de realizar una serie de estudios y análisis finalmente Okumura publicó sus resultados en el año de 1968 pero tenían el inconveniente de que solo eran representativos de la propagación en la zona urbana de Japón y para ello se basó en la aplicación de cartas gráficas. El método propuesto por Okumura era laborioso ya que requería la correcta interpretación de la información obtenida de las gráficas de acuerdo a la zona en que se aplicara, por esta razón algunos científicos se interesaron en continuar las investigaciones al respecto siendo uno de los más destacados el científico Masaharu Hata. Hata definió por medio de ecuaciones matemáticas las características de propagación encontradas por Okumura, Hata basó sus investigaciones en la consideración de que las señales de RF se comportaban de una manera logarítmica, así mismo propuso ecuaciones para ambientes suburbanos y rurales, para sus ecuaciones consideró un terreno ligeramente montañoso, con elevaciones menores a veinte metros. A partir de estos desarrollos surgió el primer método de propagación: Okumura- Hata.[4]

A continuación se explicarán los aspectos más relevantes de varios modelos de propagación, para algunos tipos de ambientes y para determinados rangos de frecuencia y distancias.

#### **2.4.5.- Método de Okumura.**

El método de Okumura es uno de los más utilizados para predicción de señales en áreas urbanas. Este método es aplicable para frecuencias en el rango de 150MHz a los 1920MHz, es decir, comprende la banda de VHF y UHF (típicamente es extrapolado para frecuencias superiores a 3000MHz entrando en la banda de SHF) y distancias entre 1km a 100km. Puede ser usado para alturas de la antena de la estación base en el rango de 30m a 1000m. Okumura desarrolló un conjunto de curvas que entregan la atenuación relativa promedio (que se usan como referencia) para una zona urbana, sobre un terreno casi plano, teniendo parámetros predefinidos como altura de la antena base (200m), móvil (3m). Los valores obtenidos de cada curva se lograron mediante exhaustivas mediciones usando antenas verticales y omnidireccionales tanto en la base como en el móvil y graficadas en función de la frecuencia en el rango de los 100MHz a los 1920MHz y como una función de la distancia.[5]

En este método la atenuación por pérdidas medias ( $L_m$ ) pueden ser expresadas por la ecuación (17).

$$L_m(\text{dB}) = L_{fs} + A_{mu}(f,d) - G(\text{htx}) - G(\text{hrx}) - G_{\text{área}} \quad (17)$$

Donde:

$L_{fs}$  : Atenuación de espacio libre.

$A_{mu}(f,d)$  : Atenuación relativa promedio (ver gráfica 3).

$G(\text{htx})$  : Ganancia de la antena de Tx dependiente de su altura.

$G(h_{rx})$  : Ganancia de la antena de Rx dependiente de su altura.

$G_{\text{área}}$  : Ganancia debido al tipo de ambiente.

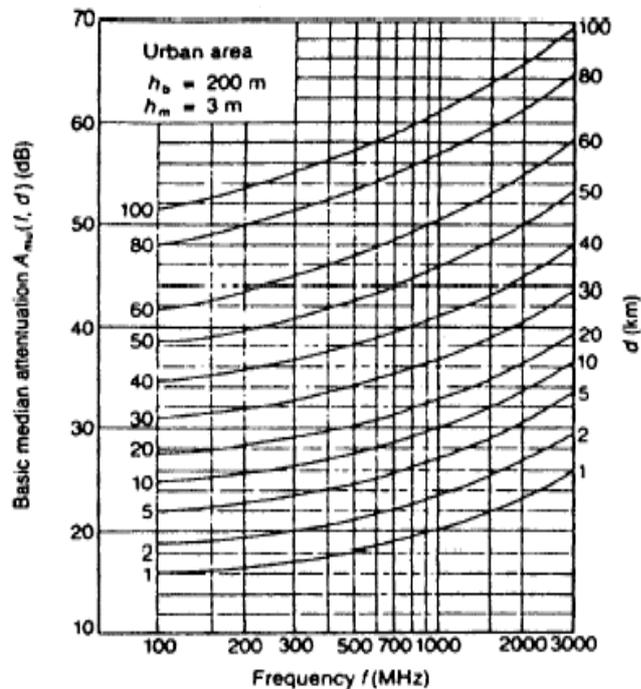
Okumura encontró que  $G(h_{tx})$  varía a un índice de 20 dB/decada y  $G(h_{rx})$  varía a un índice de 10 dB/decada para alturas menores que 3 m en el móvil.

$$G(h_{tx}) = 20\log(h_{tx}/200) \quad 30 \text{ m} < h_{tx} < 1000 \text{ m} \quad (18)$$

$$G(h_{rx}) = 10\log(h_{rx}/3) \quad h_{rx} < 3 \text{ m} \quad (19)$$

$$G(h_{rx}) = 20\log(h_{rx}/3) \quad 3 \text{ m} < h_{rx} < 10 \text{ m} \quad (20)$$

En la gráfica 3 están predefinidos las alturas de la estación base, móvil además fueron realizadas estas mediciones en un ambiente urbano, se agregaron factores de corrección en la ecuación 17 para adaptarlo en la medida posible a los diferentes casos de estudios.

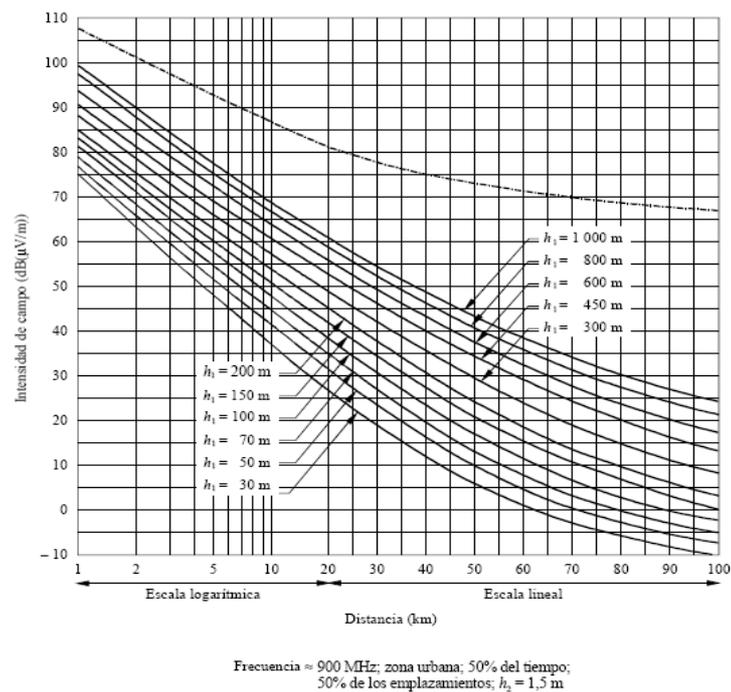


Gráfica 3. Atenuación relativa promedio en un área urbana.

Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF

En base a esto, Okumura desarrolló un método de pérdidas en el enlace, considerando factores de corrección dependiendo del tipo de terreno, aunque no es un modelo analítico, fue uno de los métodos más usados y adecuados para las predicciones de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados. En las mediciones de atenuación a diferencia con la predicción, presentan errores con una desviación estándar entre los 10dB a 14dB.

Adicionalmente, Okumura resumió mediante unas serie de graficas el cálculo de campo eléctrico, partiendo de curvas corregidas(gráfica 4) dependiendo del valor de la altura de la estación base y móvil, sin hacer necesario agregar las correspondientes correcciones por las alturas de la antena de la estación fija y móvil, aunque hay que corregir el campo eléctrico hallado ya que en este método se consideró un potencia de transmisión de 1kW erp (potencia efectiva radiada).



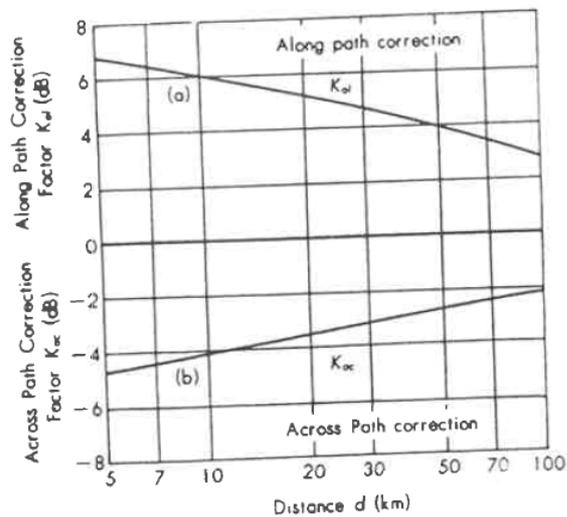
Gráfica 4. Intensidad de campo en dB relativo a  $1 \mu\text{V/m}$  para 1kW de potencia radiada efectiva. Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF

Hechas estas mediciones en una área urbana también pueden extrapolarse a áreas suburbanas y áreas rurales, a continuación se presenta la gráfica resultante para frecuencia de 900Mhz (gráfica 4), siendo esta la más cercana al caso en estudio.

Posteriormente al extraer el valor de Intensidad de campo de la gráfica 4, Okumura plantea incluir factores de corrección que se adapten a los distintos casos de estudios, dentro de estos tenemos:

- **Corrección de orientación de las calles dentro de un área urbana.**

Este factor se aprecia en la grafica 5 que tiene dos casos si la calle esta a lo largo de la trayectoria de la señal ( $K_{al}$ ) ó si se encuentra perpendicular a ésta ( $K_{ac}$ ).

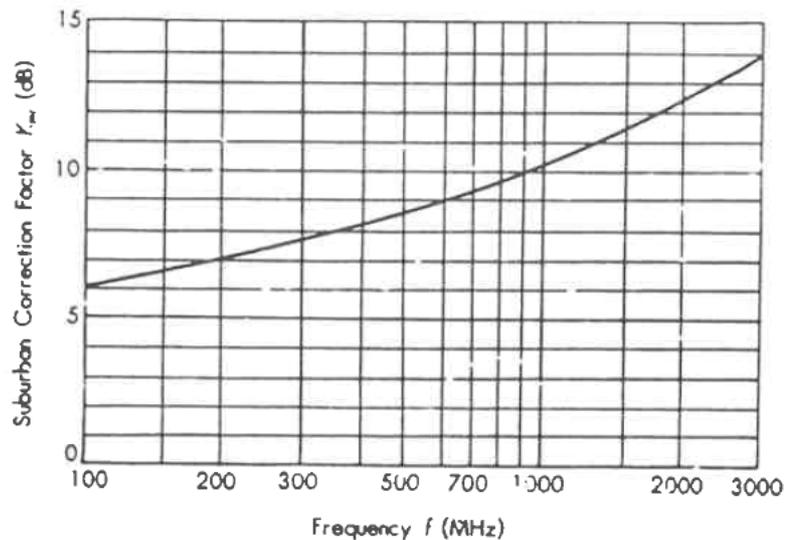


Gráfica 5. Factor de corrección por orientación de las calles.

Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF

- **Corrección para un área suburbana.**

En el caso que la zona de estudio sea una zona suburbana se agregara el siguiente factor dependiendo de la frecuencia de trabajo, siendo representado en la gráfica 6 como  $+K_{mr}$ dB.

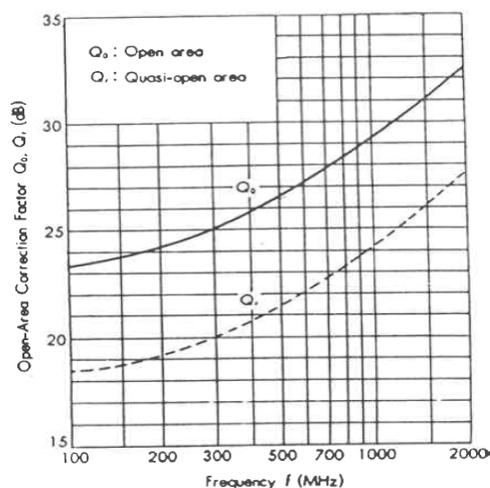


**Gráfica 6. Factor de corrección para área suburbana.**

Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF.

- **Corrección para un área abierta.**

Este factor es representado en la gráfica 7 como  $+Q_r$  para el caso de un área que se encuentra entre la caracterización de una área idealmente abierta y una zona medianamente urbana mejor conocido como un área cuasi abierta y  $+Q_o$  para un área abierta.

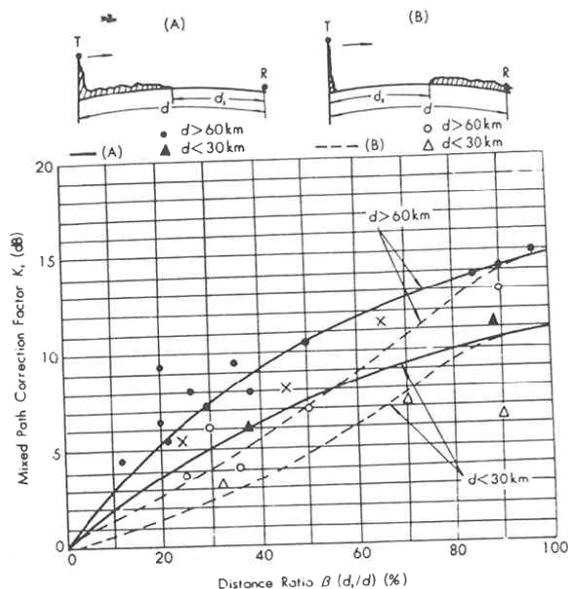


Gráfica 7. Factor de Corrección para un área abierta.

Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF.

- **Corrección por áreas con trayectorias mixtas de mar y tierra.**

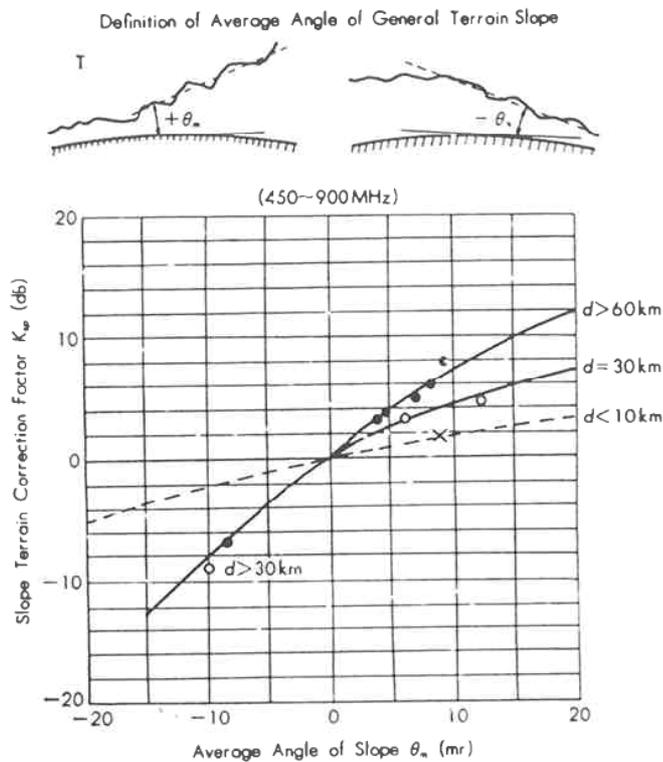
Para el caso en la cual el medio donde se desenvuelve la comunicación no es solo de tierra se agrega un factor  $+K_s$  dB representado por la curva (A) ó (B) de la gráfica 8, dependiendo del caso en la cual primero se presente, mar ó tierra, se tomará el esquema (A) ó (B).



Gráfica 8. Factor de corrección para trayectorias mixtas mar-tierra.

- **Corrección por pendiente del terreno.**

Para terrenos que presentan un pendiente continua en más de 5 km de distancia, se le agrega un factor de corrección que se presenta en la gráfica 9, además existe un par de factores relacionados a terrenos que presentan cierta densidad de colinas, pero como el estudio se hará para una zona llana no se tomarán en cuenta este par de factores.



Gráfica 9. Factor de corrección por pendiente del terreno.  
Fuente: Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF

#### 2.4.6.- Método de Okumura-Hata.

Es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los

150 MHz a los 1500 MHz. Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana, con un terreno cuasi liso, con la expresión (21).[5]

$$L_{\text{urbano}}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \cdot \log(fc) - 13.82 \cdot \log(htx) - a(\text{hrx}) + (44.9 - 6.55 \log(htx))(\log(d)) \quad (21)$$

Tomando en consideración lo siguiente:

$fc$  es la frecuencia de transmisión  $150 \text{ MHz} < fc < 1500 \text{ MHz}$ .

Altura de la antena de transmisión:  $30 \text{ m} < htx < 200 \text{ m}$ .

Altura de la antena móvil:  $1 \text{ m} < \text{hrx} < 10 \text{ m}$ .

Rango de distancia en la cual es válido el método:  $1 \text{ km} < d < 20 \text{ km}$ .

Se debe considerar que las variantes son las mismas del método de Okumura, exceptuando la distancia de trabajo que disminuye a trayectorias entre 1 km a 20 km, teniendo en cuenta lo siguiente:

$fc$  : frecuencia portadora [MHz]

$htx$  : altura de antena transmisora en [m] en rango 30 a 200 metros

$\text{hrx}$  : altura de antena receptora en [m] en rango 1 a 10 metros

$a(\text{hrx})$ : factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio.

$d$ : distancia entre transmisor y receptor [km]

Como se puede observar, involucra una nueva variable que es el factor de corrección de la antena del móvil y se define según el tamaño de la ciudad:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(\text{hrx}) = (1.1 \cdot \log(fc) - 0.7) \cdot \text{hrx} - (1.56 \cdot \log(fc) - 0.8) \text{ dB} \quad (22)$$

Para ciudades grandes:

$$a(\text{hrx}) = 8.29 * (\log (1.54\text{hrx}))^2 - 1.1 \text{ dB} \quad f_c < 300 \text{ MHz} \quad (23)$$

$$a(\text{hrx}) = 3.2 * (\log (11.75\text{hrx}))^2 - 4.97 \text{ dB} \quad f_c > 300 \text{ MHz} \quad (24)$$

Para utilizar la misma fórmula en un ambiente suburbano se utiliza como:

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}}(\text{dB}) - 2 * [\log (f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (25)$$

Para áreas rurales:

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}}(\text{dB}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (26)$$

Este modelo se adapta muy bien para el diseño de sistemas de gran escala, pero no para sistemas PCS, los cuales tienen células del orden de 1km de radio. Para éste efecto se hace una formulación numérico-empírica de los datos gráficos entregados por Okumura de atenuación para zonas urbanas.

A pesar de que el modelo de Hata no tiene correcciones específicas para distintas rutas, que en cambio sí existen para el modelo de Okumura, las predicciones de Hata son muy similares a las predicciones de Okumura para distancias Tx-Rx mayores a 1 Km.

#### **2.4.7.- Método de Longley-Rice (ITS irregular terrain model).**

Este método se aplica a sistemas punto a punto y a sistemas de comunicación en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF, es decir, desde los 40MHz hasta los 100GHz, sobre diferentes tipos de terrenos. La pérdida media de propagación es obtenida utilizando información sobre la geometría del terreno entre el receptor y transmisor, y las características refractivas de la tropósfera.[3]

Longley-Rice publicó su primer reporte en el año 1968 pero posteriormente se realizaron unas sucesivas correcciones, hasta la v1.2.2 siendo una de las versiones mas usada, donde la teoría usada será explicada de una forma muy general a continuación, pero de igual manera con ayuda del programa Radio Mobile se consigue los resultados de este método, ya que esta programado en base al método mencionado.

En general este método necesita unos parámetros iniciales que se requieren definir para realizar la predicción de cobertura, dentro de estos se encuentran:

- Banda de frecuencia.
- Polarización.
- Alturas de las antenas con respecto a la tierra y ganancia de las mismas.
- Refractividad de la superficie.
- Radio efectivo de la tierra.
- Clima.
- Conductividad del terreno.
- Constante dieléctrica del terreno.
- Topografía del terreno.
- Potencia del transmisor.
- Sensibilidad del equipo receptor.

Además de todos los datos preliminares en cuanto a la atenuación usa las pérdidas por difracción por obstáculos aislados que son estimadas utilizando el modelo de “filo de cuchillo” (Knife Edge) de Fresnel-Kirchoff.

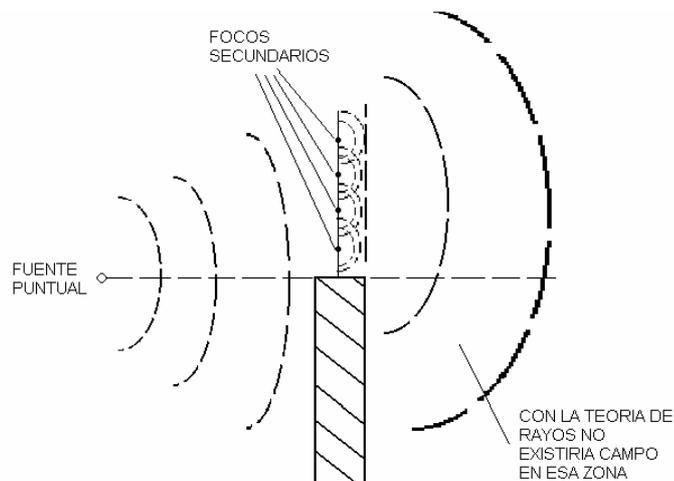


Figura 5. Fenómeno de Filo de cuchillo.

Fuente: <http://catarina.udlap.mx>

Este método también analiza los fenómenos de dispersión en la troposfera para hacer predicciones sobre distancias largas. Las pérdidas de difracción en el campo lejano a distancias del doble del horizonte son predecibles utilizando el método de Van der Pol-Bremmer modificado [7]. El método Longley-Rice dispone de una detallada descripción del perfil del terreno, facilitando la obtención de los parámetros de propagación, a esto se le conoce como modo de predicción punto a punto. Este método ha sido objeto de modificaciones, una de las últimas ha sido la introducción de un nuevo factor llamado factor urbano (UF), con el cual se hace referencia a la atenuación debida a obstáculos que se presentan antes de llegar a la antena receptor. Además este modelo provee una forma de determinar las correcciones debido a factores adicionales como son árboles o ciudad, donde éste se introduce en forma porcentual dependiendo del grado de atenuación que puede producir el mismo, finalmente dependiendo del tipo de comunicación se puede agregar el porcentaje de desplazamientos, situaciones o de tiempo que se ve afectado en el campo recibido en el receptor.

#### **2.4.8.- Forma de cálculo de contorno de servicio y protección propuesta por CONATEL.**

Descritos los conceptos de contorno de servicio y protección se procede a determinar el valor de Campo Eléctrico (dB $\mu$ V/m) con respecto a la cual se graficarán dichos contornos. Según lo planteado en la guía para la obtención de la habilitación general e incorporación de atributos publicada por CONATEL, propone en los servicios móviles se debe tomar en cuenta lo planteado en el informe de la CCIR 358-5, éste plantea un método para hallar los valores de intensidad de campo con respecto la cual serán graficados dichos contornos. Posteriormente, se hace uso de la recomendación 370 de la CCIR para la estimación del campo eléctrico en la banda entre 30 y 1000 MHz a lo largo de cada radial, esta a su vez conduce a la recomendación UIT 529-3 donde plantea “Métodos de predicción requeridos para el servicio móvil terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas”; donde estas dos recomendaciones enuncian lo siguiente:

#### **Valores mínimos de la intensidad de campo que deben protegerse.**

“En el servicio móvil terrestre, para frecuencias superiores a 30MHz, los valores mínimos de campo que deben protegerse están determinados por el ruido interno generado en el receptor, por el ruido artificial (debido principalmente al encendido de los vehículos de motor) y por los efectos de la propagación por trayectos múltiples que llega a, ó parte de, los vehículos en movimiento.” [3]

“Una medida adecuada del umbral de calidad de funcionamiento constituye un valor específico de la relación.”[3]

$$\text{SINAD} = \frac{\text{señal} + \text{ruido} + \text{distorsión}}{\text{ruido} + \text{distorsión}}$$

El valor aceptado convencionalmente es de 12dB de SINAD. En este valor se asume una señal de entrada de una f.e.m. de  $0,7\mu\text{V}$  suponiendo que la impedancia de entrada del receptor es de  $50\Omega$ . [3]

Posteriormente se plantea el valor mínimo de Intensidad de campo necesario dependiente de la degradación en la señal recibida y los efectos de propagación por multitrayectoria e interferencia cocanal, además con un SINAD de 12dB se tiene que el valor de intensidad de campo viene dado por la siguiente relación:

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + d + 20 \log f \quad \text{dB } (\mu\text{V}/\text{m}) \quad (27)$$

Siendo  $f$  la frecuencia de transmisión en MHz y  $d$  la degradación de la señal, este valor puede ser tomado de la figura 3 para una señal de calidad nota 4 (ver tabla 1), además con un receptor que requiere una señal de entrada mínima utilizable de  $0,7\mu\text{V}$ .

Para hallar el valor de intensidad de campo del contorno de protección se obtiene mediante el doble de sensibilidad con respecto al valor de campo mínimo necesario asumiendo una calidad de servicio nota 4 (ver tabla 1) y la expresión viene dado por:

$$E_{\text{protección}} = E_{\text{servicio}} - 6\text{dB} \quad (28)$$

Encontrados los valores con respecto a la cual serán graficados el contorno de servicio y protección se hará un estudio de la intensidad de campo eléctrico a lo largo de 36 radiales, espaciados  $10^\circ$  con respecto al norte magnético, donde se debe determinar la distancia en km por radial que cumple con los valores de  $E_{\text{protección}}$  y  $E_{\text{servicio}}$  según el método ya explicado.

Hallados los niveles de campo eléctrico para graficar los contornos de servicio y protección se procede a calcular las distancias por radial se encuentran dichos niveles de intensidad de campo para ello se propone lo siguiente:

#### 2.4.9.- Método de Cálculo de campo eléctrico según recomendación UIT.R 529-3.

Esta se basa en las curvas propuestas por Okumura(ver gráfica 4) y motivado a la limitación del rango de validez en cuanto a las distancia de las ecuaciones de Hata plantea las siguientes ecuaciones que tendrán un rango de validez de 1km a 100km, de igual manera a la propuesta original de Okumura, donde concluye en las siguientes ecuaciones:

$$E= 69,82- 6,16*\log(f) +13,82*\log(h_1) + a(h_2) - (44,9-6,55*\log(h_1))*(\log(R))^b \quad (29)$$

Siendo:

E: intensidad de campo para 1kW de potencia radiada aparente.

f: frecuencia (Mhz)

$h_1$ : altura efectiva de la altura de la estación de base en la gama de 30 a 300m.

$h_2$ : altura de la antena de la estación móvil en la gama de 1 a 10m.

R: distancia(km).

$$a(h_2)= (1,1*\log(f)-0,7)*h_2 - (1,56*\log(f) - 0,8).$$

$$b=1 \quad \text{para } R \leq 20\text{km}.$$

$$b= 1 + (0,14 + 1,87 * 10^{-4}*f + 1,07*10^{-3}h'_1)*(\log(R/20))^{0,8}. \quad \text{para } 20\text{km} < R < 100\text{km}$$

siendo:

$$h'_1 = h_1 / (1 + 7 * 10^{-6} h_1^2)^{1/2}$$

Este valor de campo eléctrico esta basado en un radiador isótropo de 1kW para llevarlo a otra potencia de radiación se requiere restar el siguiente factor de corrección

$$F_c = 30\text{dBW} - P_{tx}(\text{dBW}) + G_{tx}(\text{dB}) + P_{al}(\text{dB}) \quad (30)$$

Donde  $P_{tx}$  es la potencia del transmisor,  $G_{tx}$  la ganancia de la antena transmisora y  $P_{al}$  las pérdidas originadas en las líneas de transmisión y/o conectores.

### **2.5.- Teoría del Tráfico.**

En el sistema radio trunking se utiliza un esquema de llamadas en espera, por ello se usa el modelo Erlang-C para estimar el tráfico y dimensionar el sistema adecuadamente. El modelo Erlang-C permite estimar la probabilidad que una llamada sea demorada más allá de un tiempo específico, en otras palabras, permite estimar el Grado de Servicio (GOS) que podría proporcionar el sistema.

El modelo Erlang-C toma en cuenta los siguientes factores:

- Cola de espera, llamadas atendidas según su orden de llegada.
- Tiempos de ocupación de canal distribuidos exponencialmente.

Es muy importante definir el espacio de tiempo en que se realiza la estimación de tráfico en un sistema de telecomunicaciones. Este lapso generalmente se refiere a la hora de mayor requerimiento de comunicación, cuando los usuarios incurren en la mayor demanda de los recursos del sistema y denominado Hora Pico (Peak Busy Hour). Toda estimación de cálculo de tráfico, debe ser llevada a cabo durante este lapso, para que pueda ser considerada como válida

Es importante identificar claramente los siguientes conceptos que permitirán interpretar adecuadamente el estudio de tráfico.

El primero de ellos es el Erlang, que “es la unidad de medida de tráfico elegida por los ingenieros y matemáticos. 1 Erlang es equivalente al uso de un canal al 100% por 3600 segundos, 60 minutos o una hora de tráfico por Hora Pico”.

El tiempo de duración de cada llamada o Holding time, es equivalente al tiempo comprendido desde que se presiona el PTT en un terminal de radio y es asignado un canal de voz, más el tiempo de conversación entre el usuario que originó la llamada y el grupo o usuario que la recibió más el tiempo de desconexión.

Una vez que los datos requeridos están listos para la aplicación de los modelos matemáticos se puede elaborar la información final sobre la capacidad de manejo de tráfico del sistema. Para ello se requiere realizar algunas suposiciones adicionales, como por ejemplo, el Grado de Servicio (GOS - Grade of Service).

El grado de servicio es la probabilidad de que un llamado no sea atendido inmediatamente, o sea que entre en lista de espera durante el periodo Hora Pico.

**La Cola de espera.** Son las llamadas que no pueden ser atendidas instantáneamente por el sistema, son colocadas en una lista de espera para su posterior atención según su orden de llegada.

**Tiempos de ocupación de canal distribuidos exponencialmente.** Son los tiempos de ocupación de canales son variables y su distribución se puede considerar exponencial, ya que se supone que la cantidad de llamadas de duración corta es mucho mayor que las de duración larga.

## **Relaciones Fundamentales**

Se definen las relaciones fundamentales que serán utilizadas en el estudio de tráfico:

- Tráfico:

$$A = \frac{M * L * H}{3600} \quad (31)$$

En donde:

A = Tráfico total en unidades Erlang

M = Número de suscriptores o unidades de carga

H = Duración media de cada llamada

L = Número medio de llamadas por terminal en la hora cargada

Grado de servicio:

$$GOS = 100 * C(N, A) * e^{[-(N-A)*\omega_o / H]} \quad (32)$$

En donde:

GOS = Grado de servicio expresado en unidades porcentuales.

C(N,A) = Distribución Erlang C.

N = Número de canales.

A = Tráfico en unidades Erlang.

H = Tiempo promedio de retención de canal, en segundos.

$\omega_o$  = tiempo de espera definido como umbral.

Distribución de Erlang C:

$$C(N, A) = \frac{A^N}{A^N + N!(1 - A/N) \sum_{k=0}^{N-1} (A^k / k!)} \quad (33)$$

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS**

A continuación se presenta un estudio al detalle del cálculo de cobertura, explicando paso a paso los factores y objetivos previos para obtener la estimación de las zonas de servicio, a las cuales Comunicaciones Móviles EDC podrá ofrecer el sistema de Radiocomunicación Trunking al sur del estado Anzoátegui a PDVSA Faja Orinoco.

#### **3.1.- Preliminares del Contorno de Servicio y Protección.**

Antes de seleccionar un método de cálculo para hallar los contornos de servicio y de protección, se determinarán los valores de campo eléctrico para los cuales se graficarán dichos contornos. En cuanto al Contorno de Servicio este valor es aproximado al umbral de recepción de los equipos móviles, en el cual ofrece una calidad de servicio dada. Por debajo del umbral de recepción se presenta un nivel de ruido que afecta los niveles requeridos de comprensión de la conversación. Este umbral además es asociado a la sensibilidad del equipo móvil, siendo en general -120dBm (medido en niveles de potencia), este valor sería ideal si todos los equipos móviles son del mismo fabricante, del mismo modelo y en condiciones de espacio libre. Por esta razón no es práctico que el contorno de servicio este asociado a un modelo de equipo portátil, ya que entre distintos modelos la sensibilidad puede ser diferente, ofreciendo un posible contorno de servicio que dependa del móvil. Además la potencia recibida está asociada a la antena del equipo móvil en cuanto al área de captación por ende puede variar la potencia recibida según la expresión 2.

En la práctica las compañías de comunicación ofrece una variedad de equipos a los usuarios, donde el sistema debe ser compatible con los distintos modelos de equipos móviles. Asociando esto al caso de estudio, los distintos modelos de equipos también deben cumplir con los niveles de calidad dentro del área de servicio ofrecida por el operador, independientemente del modelo de terminal móvil. Para evitar este tipo de inconvenientes se graficarán los contornos con respecto a un valor de campo eléctrico, siendo este un valor de señal de entrada típico mínimo promedio para el funcionamiento de dichos equipos, además este valor de campo eléctrico estará dentro del rango de funcionamiento de todos los equipos móviles a ofrecer. De esta manera se desligará del parámetro umbral de recepción por modelo móvil; acotando que Comunicaciones Móviles posee varios modelos de equipos móviles a ofrecer según sea la necesidad del usuario, siendo requisito asegurar que en todos los equipos portátiles el nivel de campo eléctrico mínimo a la entrada este por debajo del escogido como valor genérico de graficación del contorno de servicio. De esta manera se busca asegurar que todos los equipos del sistema cumplan con los niveles de calidad de servicio dentro el área calculada.

CONATEL plantea hallar este valor umbral de Campo Eléctrico mediante la recomendación 358-5 CCIR hoy en día UIT. Estos lineamientos ya fueron explicados en el capítulo anterior, de igual forma se tomó la expresión (27) para calcular el valor del campo eléctrico mínimo utilizable, este depende de dos variables que son: la frecuencia de operación de la estación fija y la degradación que sufre la señal a lo largo del recorrido por efectos multitrayectoria y ruido artificial, este último es producido en mayor parte por los motores de automóviles que se encuentren en las cercanías de las estación de transmisión. Para determinar la degradación de la señal se usa la gráfica 3, asumiendo una frecuencia de 866MHz siendo el peor caso para la transmisión y una señal de calidad nota 4 (ver tabla 1) para cumplir con los requerimientos de tener un nivel de interferencia perceptible en el peor de los casos. Calculados estos datos previos podrá ser determinado el valor de campo eléctrico mínimo utilizable promedio donde es  $17,7\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ , posterior a ello se cálculo el

campo mínimo necesario en el equipo receptor con ayuda de la ecuación (7), asumiendo un equipo receptor con una sensibilidad típica de -120dBm, frecuencia de operación 866MHz y una ganancia con respecto a la isotropa de 3dB, dando así 13dB $\mu$ V/m e interpretando de dicho resultado que los equipos funcionarán dentro de su rango normal de recepción en los contornos de servicios que serán hallados en los respectivos sitios de repetición a plantear.

Para el caso en estudio se asume que el sistema está trabajando en el 50% de las ubicaciones y el 50% del tiempo, implicando que el factor de corrección tendrá un valor de 0dB para las condiciones mencionadas (ver gráfica 1).

Calculado el valor de campo eléctrico para trazar el contorno de servicio el valor de campo para el contorno de protección será hallado mediante la expresión 28, siendo este 11,7dB $\mu$ V/m; las zonas que estén por debajo de este valor umbral de protección procuran asegurar que no sufran ninguna interferencia con el servicio que será prestado.

### **3.2.- Estudio de Cobertura con la herramienta computacional Radio Mobile.**

En la siguiente etapa se realizará simulaciones con la herramienta computacional Radio Mobile, de manera comparativa con respecto a los resultados que se obtendrán con el método escogido para el cálculo analítico de cobertura.

Estas simulaciones previas se realizarán en un menor tiempo que el ofrecido en el cálculo analítico, por esto en las simulaciones se seleccionarán las estaciones que satisfagan los requerimientos de cobertura que se busca, evitando la redundancia de cobertura en las estaciones fijas, de esta manera es posible obtener un menor número de estaciones a las que se hará el estudio analítico.

### **Zonas a cubrir.**

Unos de los factores determinantes al prestar un servicio de radiocomunicación móvil es la ubicación de las localidades a cubrir, por ello a continuación se presentan los municipios que se espera prestar servicios: Monagas,, Simón Rodríguez, Independencia, Guanipa, Santa Ana, Mc Gregor(ver figura 2).

### **Estaciones repetidoras.**

En las siguientes coordenadas son las posibles opciones que tienen planteado Comunicaciones Móviles EDC para el despliegue del sistema radio móvil Trunking(ver figura 3):

Tabla 2. Coordenadas geográficas de las estaciones fijas. Datum WGS84.

Estación	Latitud (N)	Longitud (O)	Altura (msnm)
Arecuna 4 (Mucura)	8,6483	-64,3406	198
Bare	8,5607	-64,1261	189
EPT 1	8,9490	-62,8421	10
Morichal	8,8408	-63,0796	61
J-20	8,6699	-62,9842	70
Jobillar	8,9186	-64,6088	320
Pariaguan	8,8539	-64,7073	273
Moriche Solo	8,5088	-64,9255	259
PDVSA Petrozuata1	8,4127	-64,7943	151
PDVSA Petrozuata2	8,4130	-64,7877	173

### **3.2.1.- Preselección de las Estaciones de Repetición.**

Procurando reducir el número de estaciones innecesarias por el solapamiento de zonas de cobertura, se realizó una inspección previa de las ubicaciones de las estaciones, no obstante, Comunicaciones Móviles EDC cuenta con la infraestructura física (Caseta y torres) de las estaciones: Moriche Solo, Bare, Jobillar y Morichal, donde Commovil plantea tomar estas estaciones como primera opción a la hora de seleccionar las estaciones finales.

Por otra, se realizó un análisis de las ubicaciones de las estaciones mostradas en la figura 6, considerando la topología del terreno llano y posee variaciones menores ó iguales a un  $\Delta h$  de 50m. Seguido se dividió por grupos de estudio las estaciones motivado a la cercanía que hay entre estas, estando en el orden máximo de 30Km de distancia entre estaciones fijas, además, se considera la zona de estudio como rural ó un área abierta.

Basado en lo mencionado es innecesario plantear el funcionamiento simultáneo de 2 ó más estaciones, siendo muy probable que ocurra un solapamiento de señales, los grupos de estudio serán planteados a continuación:

**Grupo 1:** Jobillar y Pariaguan.

**Grupo 2:** Arecuna y Bare.

**Grupo 3:** Moriche Solo, Petrozuata 1 y 2.

**Grupo 4:** Morichal, Ept 1 y J-20.

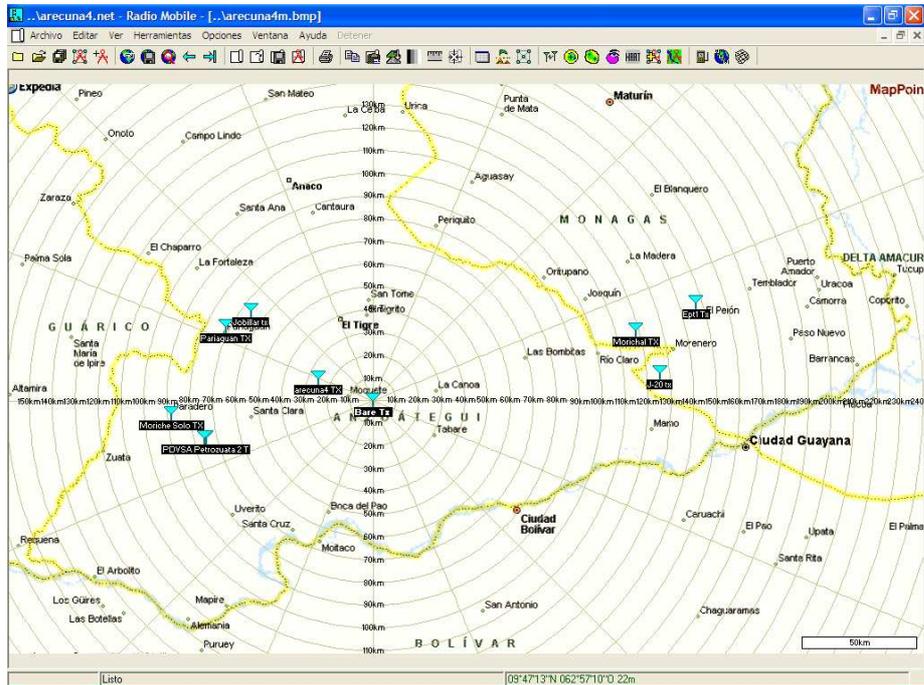


Figura 6. Distribución inicial de las estaciones fijas. Fuente: Autor.

En la figura 7 no puede visualizarse el nombre de Petrozuata 1, esto se debe a la cercanía que tiene a Petrozuata 2, por medio de la figura 7 se puede apreciar dicha proximidad, estando en el orden menor a 500m.

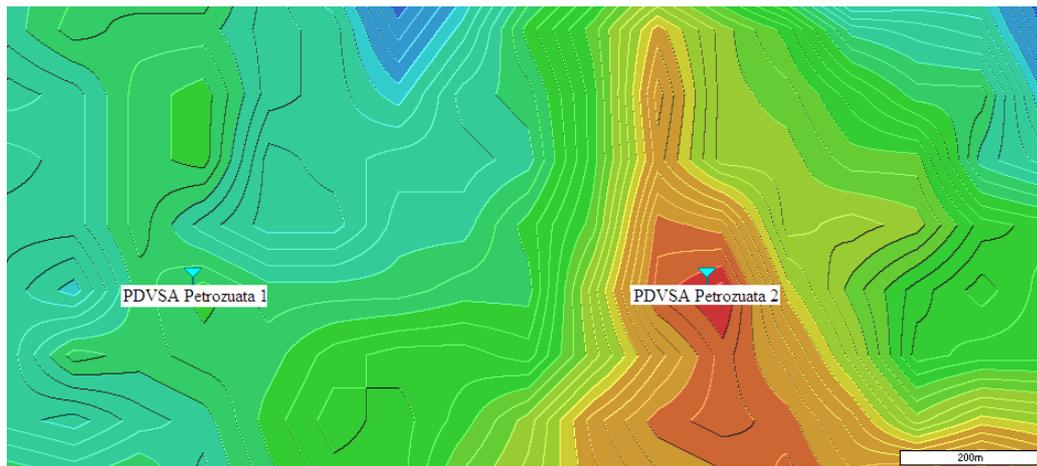


Figura 7. Ubicación de las estaciones Petrozuata 1 y 2. Fuente: Autor.

Para realizar las simulaciones en Radio Mobile se requieren definir los siguientes parámetros (se considera las mismas características técnicas para todas las estaciones), donde el esquema de la etapa transmisora y receptora se puede apreciar en el anexo [1]:

Potencia del Transmisor: 100Watt.

Umbral del receptor: 17,7dB $\mu$ V/m.

Ganancia de la antena transmisora: 12dBi.

Ganancia de la antena del receptor móvil: 3dB.

Tipo de antena: omnidireccional.

Pérdida de línea: 3,5dB(cable+cavidades+conectores).

Pérdida adicional por cable dependiente de la altura de la antena Tx:  
0,04dB/m

Altura de las antenas transmisoras: 70m.

Altura de los receptores móviles: 1,5m.

Frecuencia mínima: 851Mhz.

Frecuencia máxima: 866Mhz.

Polarización: Vertical.

Modo estadístico: 50% del tiempo y 50% de los desplazamientos.

Clima: desierto.

Conductividad del suelo: 0,005S/m(por defecto).

Permitividad relativa del suelo 15.

A continuación presentaremos cada una de las zonas de cobertura en base al valor umbral antes calculado de 17,7dBu para el contorno de servicio, graficando según los grupos de estaciones planteados, posterior a esto se graficará la zona de cobertura con diferentes niveles intensidad de campo, describiendo desde las zonas con un nivel de señal de alta calidad, siendo esta de 45dBu según la recomendación CCIR 358-5, hasta el umbral de recepción.

### 3.2.2.- Simulaciones de las áreas de Cobertura.

- **Grupo 1** : Jobillar y Pariaguan.

El contorno de servicio de Jobillar esta representado por líneas verde y Pariaguan por líneas rojas se puede apreciar la similitud del comportamiento de los contornos de servicio, tomando en cuenta los parámetros para la selección de estaciones fijas, se propone como estación repetidora Jobillar ya que ofrece una zona de cobertura muy similar a Pariaguan(ver figura 8) y se cuenta con una infraestructura para su posterior implementación.

Elegida la estación base en el grupo 1 se graficará la zona de cobertura mostrando los diferentes niveles de señales que podrán ser captados desde el umbral de recepción hasta un nivel de alta calidad siendo este valor de 45dBuV/m(ver figura 9).

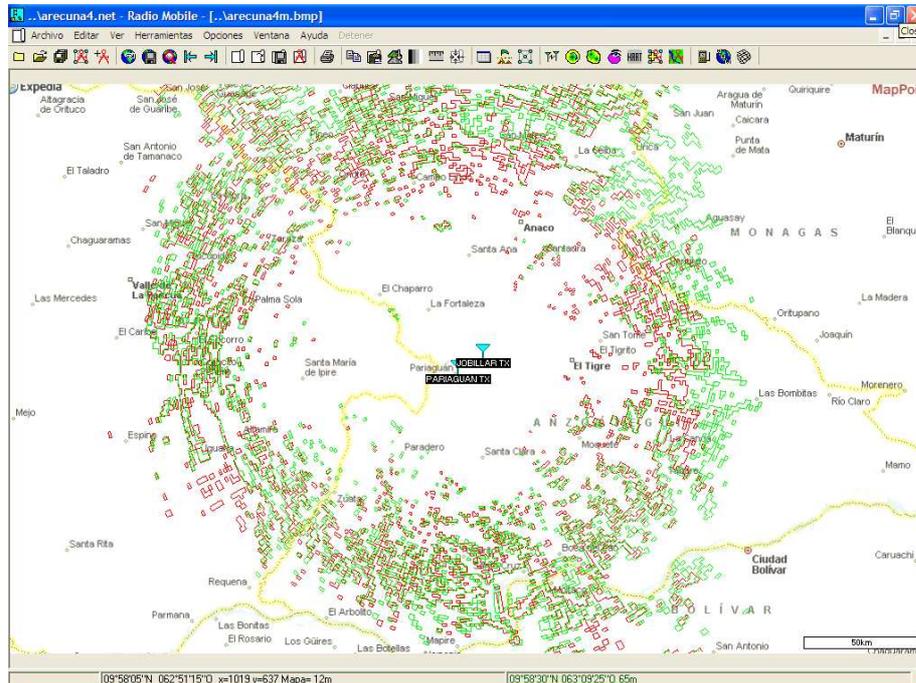


Figura 8. Zona de servicio de Jobillar(líneas verdes) y Pariaguan(líneas rojas).

Fuente: Autor.

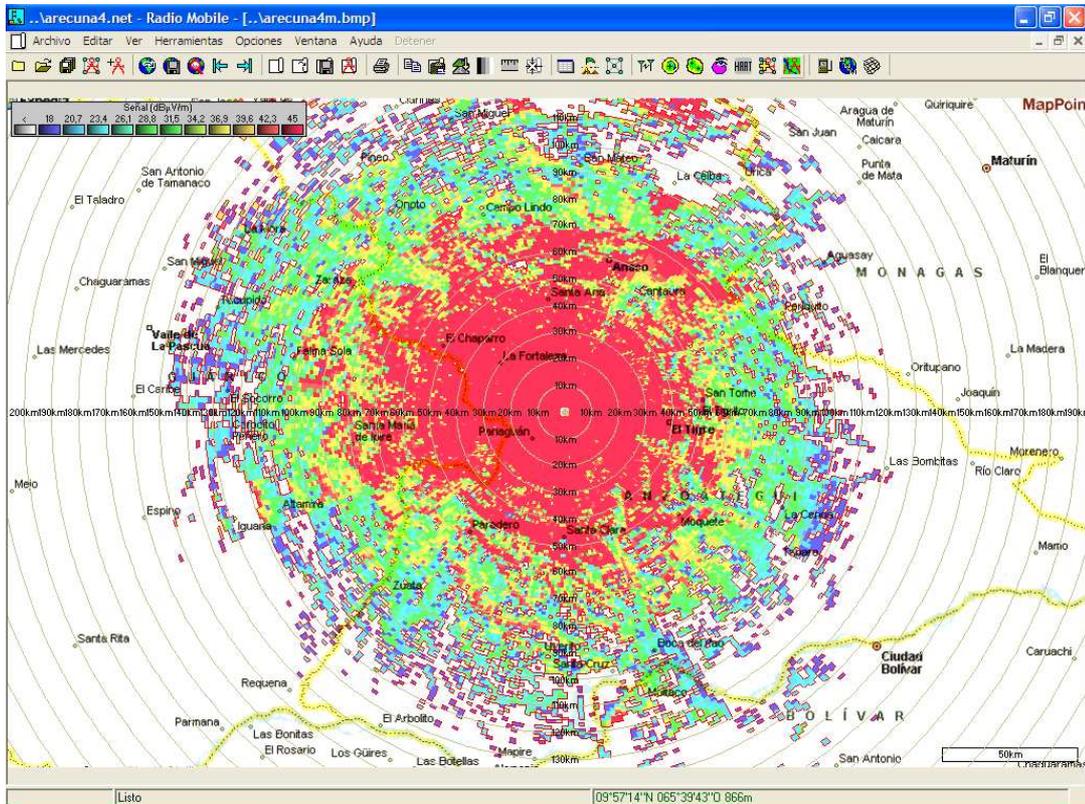


Figura 9. Zona de servicio de la estación Jobillar. Fuente: Autor.

- **Grupo 2:** Arecuna y Bare.

El contorno de servicio de Arecuna esta representado por líneas verdes y Bare por líneas rojas se puede apreciar la similitud del comportamiento de los contornos de servicio, además la zona de cobertura de Bare esta más orientada al centro-sur del estado Anzoátegui (ver figura 10) siendo una de las principales zonas a cubrir, adicionando que se cuenta con la infraestructura (caseta y torre) de esta ultima, motivado a esto se propone como estación repetidora a la ubicada en Bare.

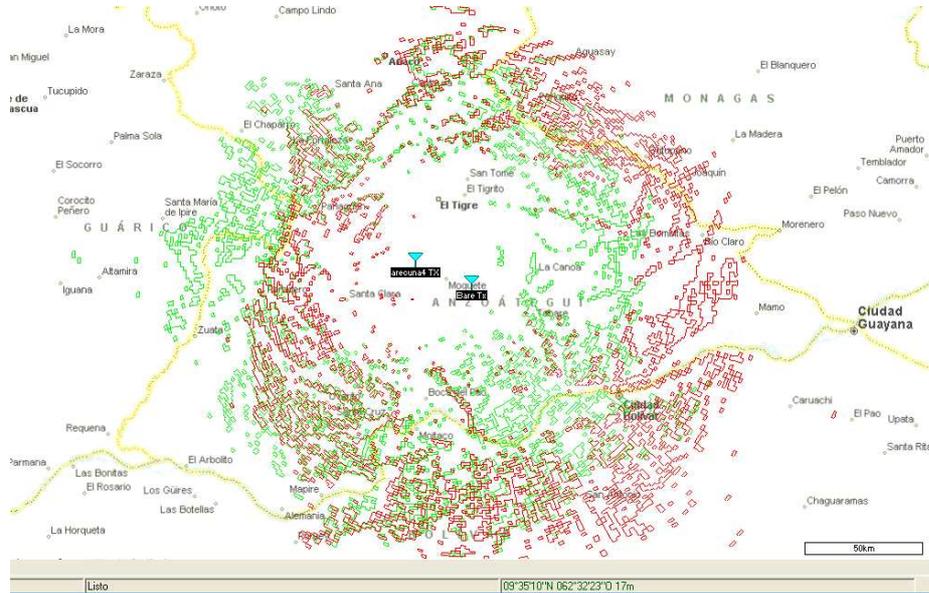


Figura 10. Zona de servicio de la estación Arecuna (lineado verde) y Bare (lineado rojo). Fuente: Autor.

Elegida la estación base en el grupo 2 se graficará la zona de cobertura mostrando los diferentes niveles de señales (ver figura 11) que podrán ser captados desde el umbral de recepción hasta un nivel de alta calidad siendo este valor de 45dBuV/m:

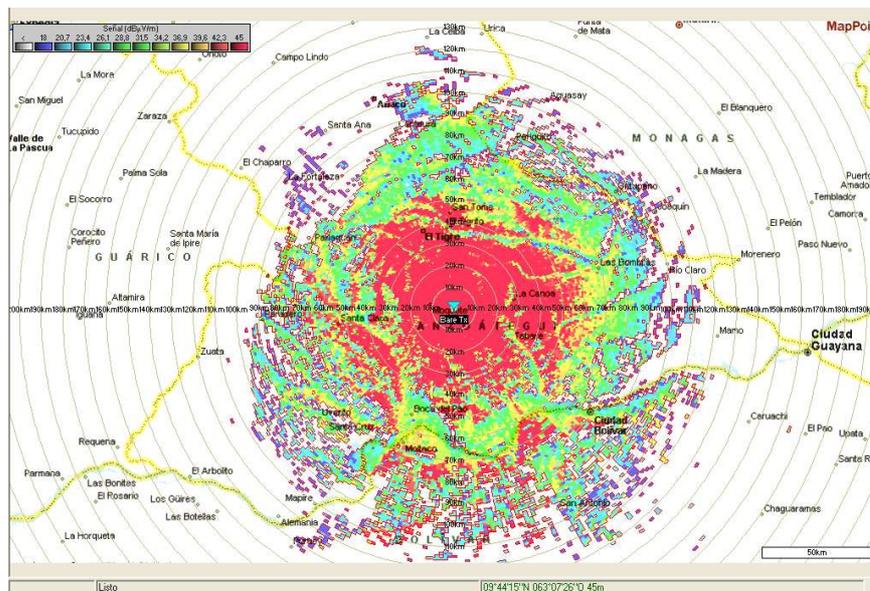


Figura 11. Zona de servicio de la estación Bare. Fuente: Autor.

### Grupo 3: Moriche Solo, Petrozuata 1 y 2.

El contorno de servicio de Moriche solo esta representado por el color verde, J-20 por color rojo y EPT1 por color azul, se puede apreciar el parecido del comportamiento de los contornos de servicio (ver figura 12) entre estas estaciones, existiendo una mínima variación entre las zonas que puede ofrecer Petrozuata 1 y 2 motivado a la cercanía que existe entre estas, Moriche Solo presta mayor área de servicio (ver figura 7), además la zona de cobertura de Moriche Solo esta más orientada al oeste-sur del estado Anzoátegui (ver gráfica 12) siendo una de las principales zonas a cubrir, adicionando se cuenta con la infraestructura (caseta y torre) de esta última, por estas razones se plantea como posible sitio de repetición a implementar.

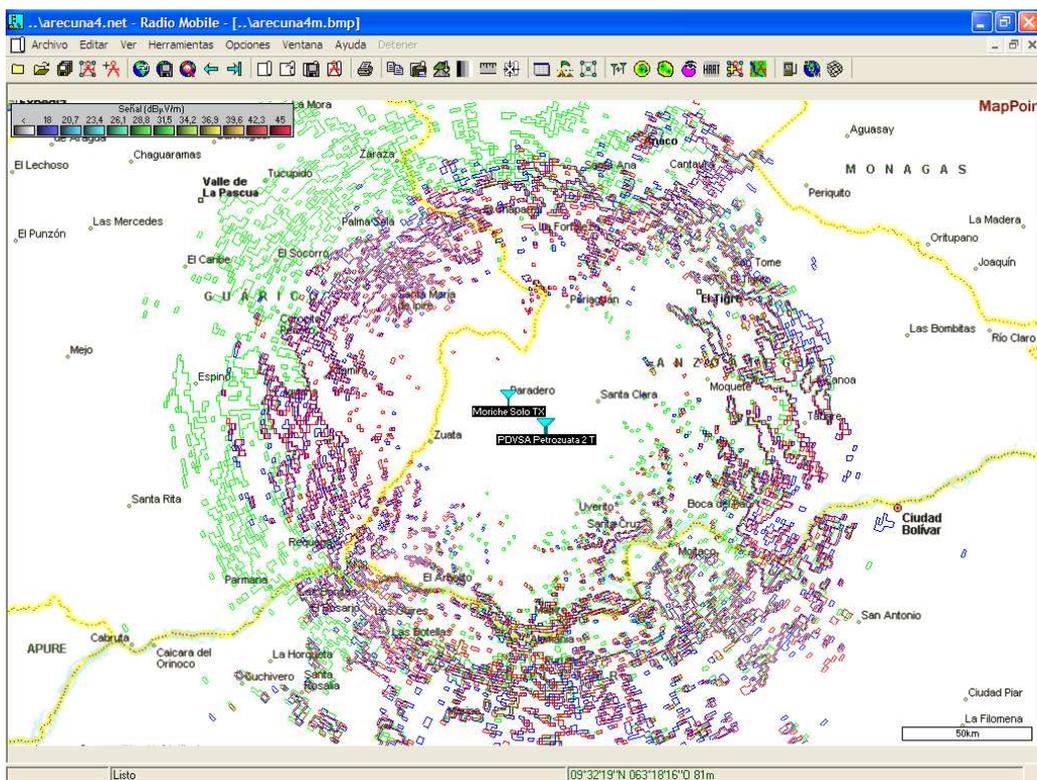


Figura 12. Zona de servicio de Moriche Solo(rojo), Petrozuata 1(verde) y 2(azul).

Fuente: Autor.

Elegida la estación base en el grupo 3 se graficará la zona de cobertura mostrando los diferentes niveles de señales (ver figura 13) que podrán ser captados desde el umbral de recepción hasta un nivel de alta calidad siendo este valor de 45dBu/m:

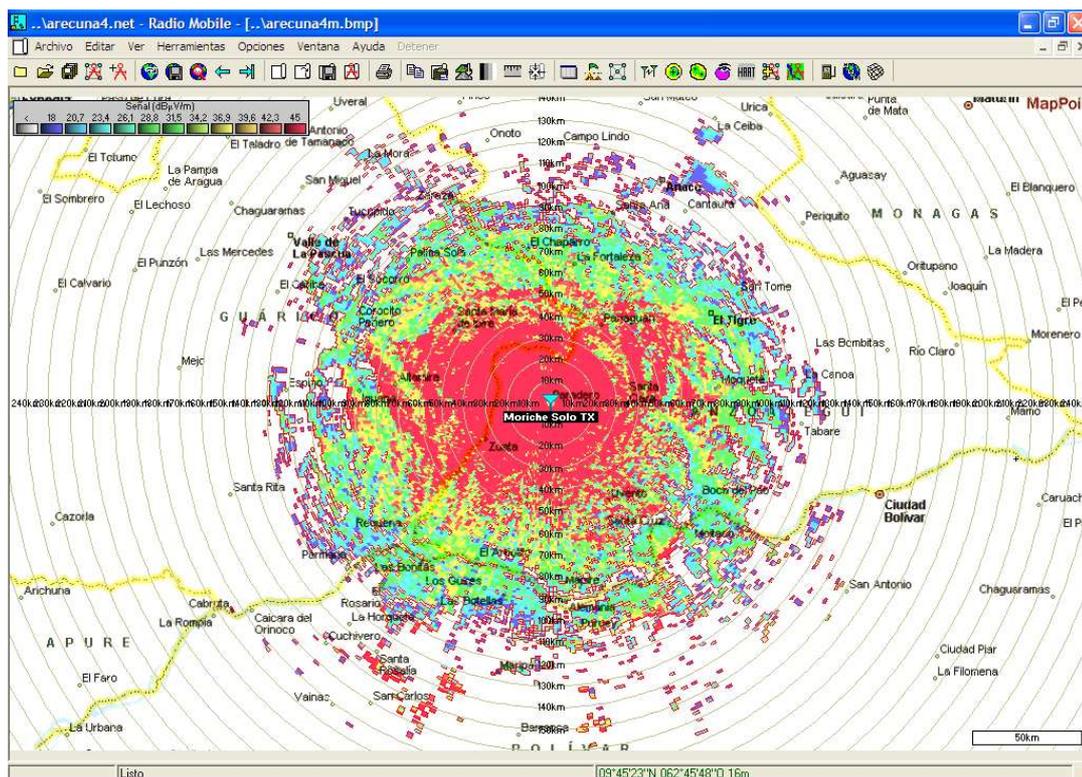


Figura 13. Zona de servicio de la estación Moriche Solo. Fuente: Autor.

#### Grupo 4: Morichal, Ept 1 y J-20.

Este grupo de estaciones son planteadas para El contorno de servicio que se estima que puede ofrecer la estación Morichal esta representado gráficamente por el color verde, EPT 1 por color rojo y J-20 2 por color azul, se puede apreciar el parecido del comportamiento de los contornos de servicio(ver figura 14) entre estas estaciones, es notable la diferencia la zona de servicio que puede ofrecer EPT1, siendo menor, comparado con las dos restantes; entre Morichal y J-20 no es mayor la

diferencia de las zonas de servicio que pueden ofrecer cada una, para escoger una estación de las mencionadas se tomó el mismo criterio de selección (contar con infraestructura física), por ello Morichal fue la estación que cumplió con el mayor número de criterios para su elección.

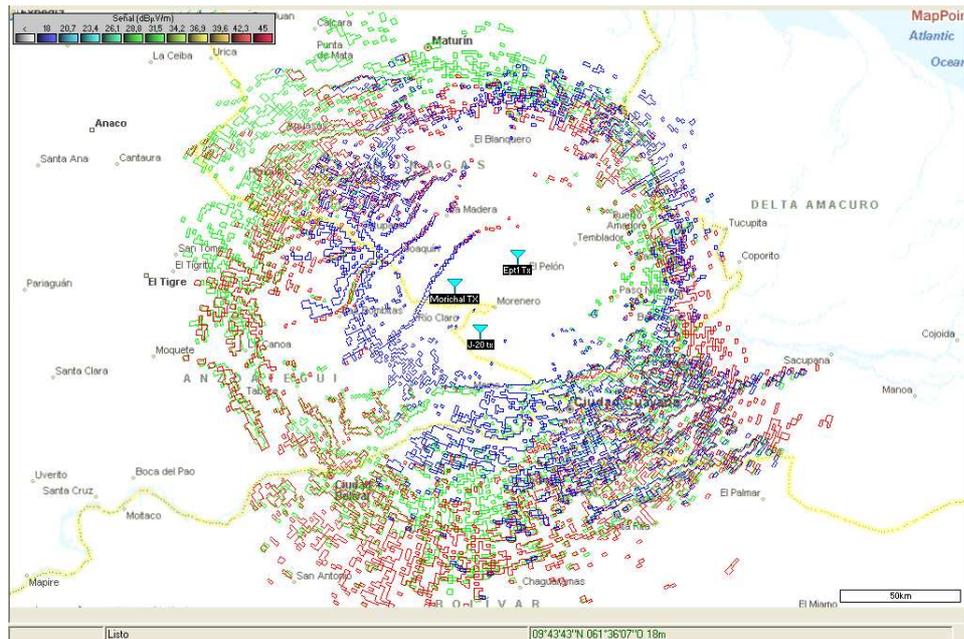


Figura 14. Zona de servicio de Morichal (rojo), EPT1 (verde) y J-20 (azul).  
Fuente: Autor.

Elegida la estación base en el grupo 4 se graficará la zona de cobertura mostrando los diferentes niveles de señales (ver figura 15) que podrán ser captados desde el umbral de recepción hasta un nivel de alta calidad siendo este valor de 45dBuV/m:

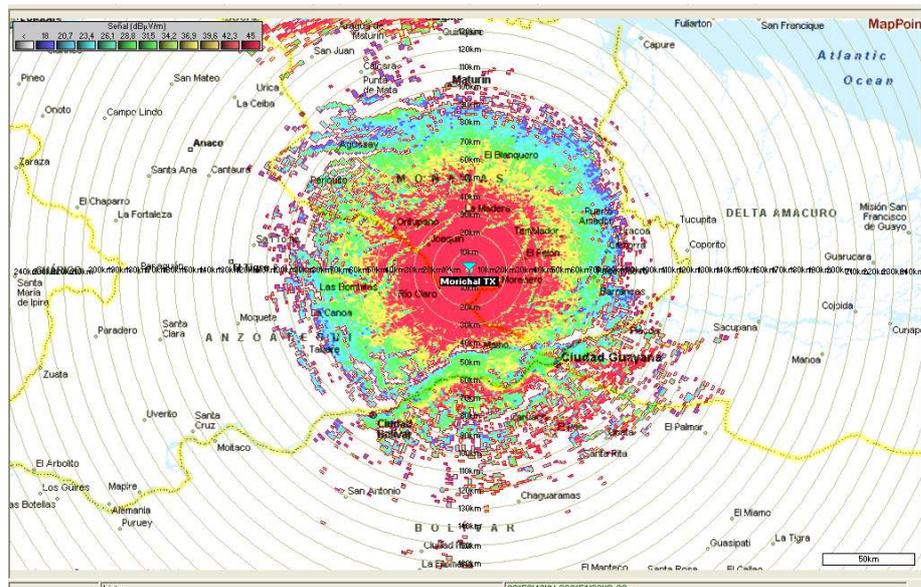


Figura 15. Zona de servicio de la estación Morichal. Fuente: Autor.

### 3.3.- Selección del Método Analítico.

Una vez seleccionadas las estaciones Jobillar, Bare, Moriche Solo y Morichal como posibles ubicaciones para los Transmisores del sistema de radiocomunicaciones Trunking, se procede a escoger el método analítico a emplear para la estimación de las zonas de coberturas. Para seleccionar el método se consideró lo siguiente: se basa en un sistema de radiocomunicación móvil terrestre que opera en la banda UHF, en específico la banda de 800MHz. Adicional a ello según lo estimado mediante la herramienta computacional Radio Mobile se interpreta que las zonas de cobertura puede alcanzar una comunicación, con un nivel de ruido aceptable, desde la estación fija a un terminal móvil a 50km aproximadamente(ver figuras 9, 11, 13 y 15), siendo la distancia otra variable fundamental en la selección del método.

Mencionados los requisitos para la selección del método, se preseleccionó el método de Okumura, método de Okumura-Hata y los lineamientos propuestos por CONATEL, este último esta orientado a seguir las recomendaciones de la UIT-R, acotando la importancia de entender la teoría en las cuales se basa cada uno de estos

métodos (explicados en el capítulo II) para el desarrollo de esta etapa final. Partiendo del método desarrollado por Okumura que fue basado en extensas mediciones de campo eléctrico en la Ciudad de Tokio, donde desarrolló curvas que modelan el comportamiento de la propagación electromagnética en un medio Urbano y acotando que estas mediciones se realizaron: con un radiador isótropo, una potencia efectiva radia de 1kW, frecuencias entre 150MHz a 1500MHz, alturas de la antena transmisora que varían entre 30m a 1000m y una altura del transmisor móvil de 1,5m, por lo mencionado este método cumple con los requisitos necesarios para ser aplicado al caso en estudio; no obstante, la desventaja de este método es el proceso de extracción de información en las curvas que predicen los niveles de campo eléctrico(ver gráfica 4), siendo la precisión visual de la persona que extrae dicha información un factor influyente en la precisión del método y segundo el proceso de extracción puede llevar un tiempo excesivo al realizar estimaciones que requieran mediciones cada 400m por radial desde el primer kilómetro y trazando 36 radiales con respecto el azimut, dando un aproximado de 4500 valores para radios de cobertura que estén en el orden superior de los 50km.

Motivado a reducir el tiempo a emplear al estimar cobertura, Hata partió de las curvas obtenidas por Okumura para realizar una interpolación matemática para llegar a las ecuaciones planteadas en el capítulo II(ver ecuación 21), reduciendo en gran medida el tiempo necesario para la estimación de coberturas, el inconveniente de este método es el rango de validez siendo este entre 1km y 20km, motivado a los requerimientos a cumplir en cuanto a distancia encontrados al realizar las simulaciones en Radio Mobile este método es descartado. Seguido a ello, se revisó la guía para la obtención de la habilitaciones generales e incorporación de atributos publicada por CONATEL, donde propone para el estudio de cobertura de comunicaciones terrestres usar la recomendación CCIR 358-5(hoy en día UIT-R) para hallar los valores de campo eléctrico con respecto a la cual serán graficados los Contornos de Servicio y Protección, a su vez esta recomendación nos guió a la recomendación UIT-R P.529-3 para la estimación de campos eléctricos en servicios

de radiocomunicación terrestre, esta recomendación se basa en el trabajo realizado por Hata, no obstante, se realizan modificaciones de las ecuaciones a las que concluyó Hata para ampliar el rango de validez en cuanto a las distancias, modificándose a un rango de validez entre 1km y 100km, este fue el factor final para escoger el método de predicción de campo eléctrico seleccionando así a la recomendación UIT-R P.529-3 donde plantea las ecuaciones de Okumura-Hata Modificada para un rango de operación entre 150MHz y 1500MHz para distancias entre 1km y 100km.

### **3.4.- Cálculo de cobertura basado en la recomendación UIT-R P.529-3**

En esta etapa se hará el estudio en las estaciones de transmisión ubicadas en Jobillar, Bare, Moriche Solo y Morichal, dicho estudio parte de los valores hallados para la graficación del contorno de servicio (17,7dBu) y protección (11,7dBu), definidos estos valores se procede al cálculo de campo eléctrico a partir del primer kilómetro con respecto a la estación base en estudio cada 400m, siendo 1Km el mínimo propuesto por CONATEL, en 36 radiales espaciados cada 10° con respecto al azimut, de esta manera se cumple con los requerimiento exigidos por CONATEL para el estudio de cobertura.

Serán usados los parámetros del sistema planteados en Radio Mobile para la estimación de Cobertura, convalidados con las especificaciones técnicas mencionadas en el capítulo II, para realizar el cálculo de cobertura se usó la ecuación (29) a lo largo de cada radial para la estimación del campo eléctrico, teniendo como fin hallar la distancia a la cual se cumple los niveles de campo para graficar los contornos de servicio y protección, no obstante, se conoce que estas ecuaciones están basadas en las curvas de Okumura por ello se realizó un estudio de los diferentes factores de corrección que pueden mejorar dicha estimación, dentro estos factores están: corrección por orientación de calles dentro de áreas urbanas, corrección por área

suburbana, corrección por área abierta, corrección por trayectorias mixtas mar y tierra, corrección por pendiente del terreno, mencionados en el capítulo II, sin embargo en nuestro caso de estudio se encuentra con un terreno llano con variaciones de terreno en el orden de 50m, dentro un área rural, por ello el factor a agregar es por área abierta y será de 5dB, lo recomendado por la UIT-R 529-3, y un adicional factor de corrección que se debe restar motivado a la potencia del transmisor(100W) ya que esta recomendación se basa un radiador isótropo con una potencia efectiva radiada de 1kW, siendo estos los parámetros en que se basa la recomendación UIT-R 529-3, haciendo uso de la ecuación 30 este valor es 16,3 dB. Estos cálculos se llevaron a cabo mediante la hoja de cálculo de Microsoft®(Excel) donde se obtuvo los valores de las distancias que cumplen con los criterios del contorno de servicio y protección, en el anexo[2] se explica como realizar estos cálculos para un radial de igual manera se hacen para los demás radiales, siendo estos cálculos posteriormente graficados con la herramienta computacional Surfer 6 perteneciente a Golden Software Inc®, además los contornos de servicios serán comparados con los resultados de las simulaciones hechas en Radio Mobile; estos resultados son presentados a continuación.

- **Estación Jobillar.**

El cálculo de campo eléctrico por radial de la estación Jobillar se resume en la tabla 3, expresando por azimut el valor de campo eléctrico asociado al contorno de servicio y especificando a la distancia estimada que presenta tal nivel de campo, de igual manera es expresado los valores del contorno de protección por radial asociando la distancia a la cual se estima dicho nivel de intensidad.

Tabla 3. Valores de Campo Eléctrico por radial en la estación Jobillar.

Azt.	E(dBu) del C. de Serv.	D(km) del Cont. de Serv.	E(dBu) del Cont. de Proct.	D(km) del Cont. De Protec.
0	17,6	77	11,72	93
10	17,7	72,2	11,68	88,2
20	17,7	61,8	11,64	77,4

30	17,7	43,4	11,62	56,2
40	17,6	55,8	11,70	70,2
50	17,6	70,2	11,67	76,2
60	17,7	69,8	11,8	85,4
70	17,7	68,2	11,7	84,2
80	17,7	69,4	11,7	85,4
90	17,7	69,4	11,7	85,4
100	17,7	69,4	11,8	85
110	17,6	72,2	11,8	87,8
120	17,6	75,4	11,7	91,4
130	17,8	74,6	11,7	91
140	17,6	76,6	11,7	92,6
150	17,8	78,2	11,7	94,6
160	17,7	81	11,7	97
170	17,7	78,6	11,7	94,6
180	17,8	79	11,7	95,4
190	17,7	78,2	11,7	94,2
200	17,7	77	11,6	93,4
210	17,8	76,2	11,7	92,2
220	17,7	76,2	11,7	92,6
230	17,7	77,8	11,7	93,8
240	17,7	77,8	11,7	93,8
250	17,7	76,6	11,7	93
260	17,7	75,4	11,6	91,8
270	17,7	79	11,7	95
280	17,7	79,8	11,7	95,8
290	17,8	80,6	11,8	96,6
300	17,7	81	11,7	97,4
310	17,7	80,6	11,7	96,6
320	17,7	80,6	11,7	97
330	17,7	81	11,6	97,4
340	17,7	79,4	11,7	95,4
350	17,7	75,8	11,7	91,8

Una vez obtenidos los valores de campo eléctrico y distancia relacionada son graficados los contornos de servicio y protección en la figura 16.

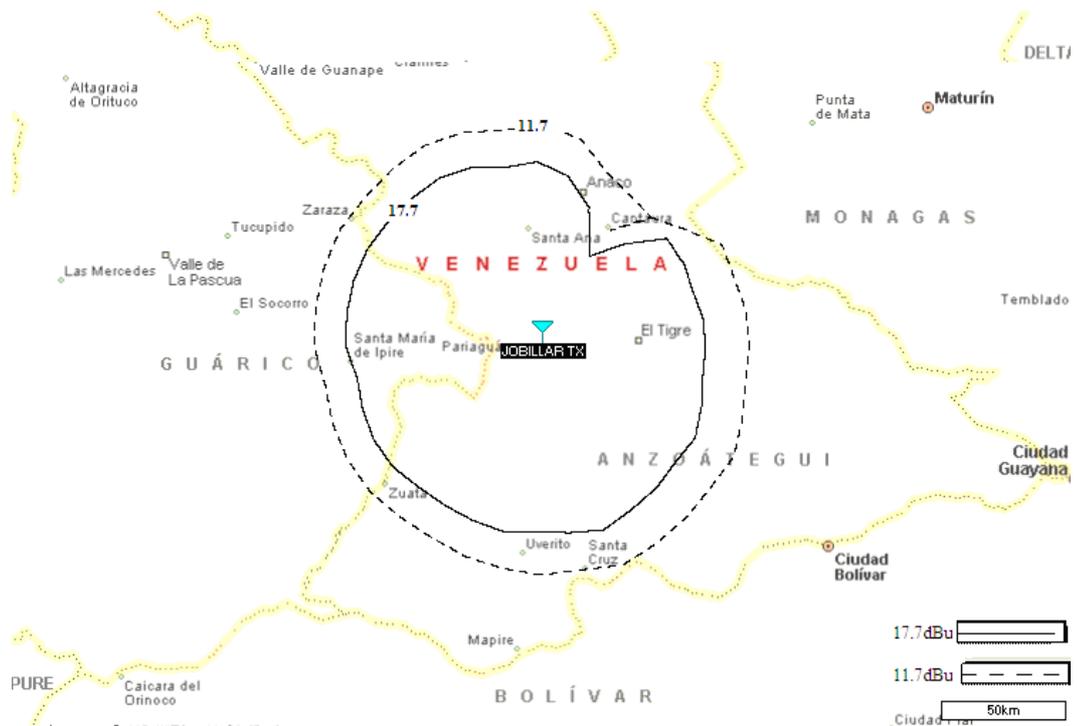


Figura 16. Contorno de Servicio(17.7dBu) y de Protección(11.7dBu) de la Estación Jobillar. Fuente: Autor.

En la figura 17 se hace una comparación del resultado obtenido con el software Radio Mobile, representado por las líneas difusas(17dBu) y el resultado obtenido mediante la recomendación UIT-R P.529-3, siendo el contorno interno de línea negra para un campo eléctrico de 17,7dBu, en otras palabras se esta comparando los contornos de servicio, donde se puede interpretar que el resultado obtenido por la recomendación de la UIT ofrece un menor área de cobertura, pero asegurando dentro de ese contorno un campo eléctrico superior a lo esperado de igual forma el contorno en color azul las zona que estén por dentro se asegura el mismo valor de campo eléctrico, obteniendo comportamientos similares. De este mismo modo con ayuda de la figura 2 se interpretar que la estación Jobillar cubre los municipios siguientes: Mc Gregor, Simón Rodríguez, Guanipa, santa ana, por último parte de Anaco y Aragua, logrando así un radio de cobertura entre 40km y 75km en el mejor de los casos.

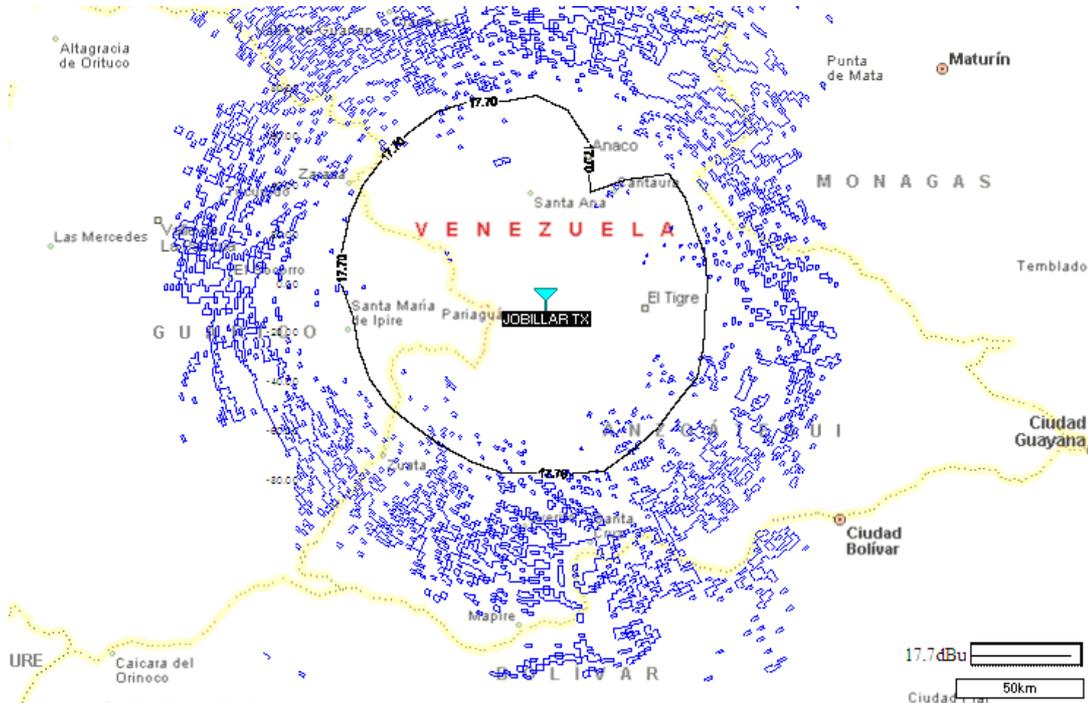


Figura 17. Contorno de Servicio en línea negra según UIT y en azul por Radio Mobile de la Estación Jobillar.

- **Estación Bare**

El cálculo de campo eléctrico por radial de la estación Bare se resume en la tabla 4, expresando por azimut el valor de campo eléctrico asociado al contorno de servicio y especificando a la distancia estimada que presenta tal nivel de campo, de igual manera es expresado los valores del contorno de protección por radial asociando la distancia a la cual se estima dicho nivel de intensidad.

Tabla 4. Valores de Campo Eléctrico por radial en la estación Bare.

Azt.	D(km) del Cont. De Serv.	E(dBu) del C. de Serv.	D(km) del Cont. De Protec.	E(dBu) del Cont. de Proct.
0	41,0	17,7	53,0	11,7
10	45,4	17,7	58,2	11,8
20	49,8	17,7	63,4	11,7
30	53,4	17,6	67,4	11,8

40	56,2	17,7	71,0	11,6
50	59,4	17,7	74,6	11,6
60	59,8	17,7	75,0	11,6
70	61,8	17,7	77,4	11,6
80	61,4	17,7	76,6	11,8
90	64,2	17,6	79,4	11,8
100	65,0	17,7	80,6	11,7
110	66,6	17,7	82,2	11,8
120	69,4	17,7	85,0	11,8
130	69,0	17,7	84,6	11,8
140	70,2	17,7	86,2	11,7
150	70,6	17,6	86,2	11,7
160	69,8	17,7	85,8	11,7
170	69,4	17,7	85,4	11,7
180	69,4	17,7	85,4	11,6
190	70,2	17,7	86,2	11,7
200	69,8	17,8	85,8	11,7
210	71,0	17,7	87,0	11,7
220	69,0	17,6	84,6	11,7
230	66,2	17,8	82,2	11,7
240	65,4	17,7	81,0	11,7
250	62,2	17,6	77,4	11,7
260	59,4	17,6	74,2	11,7
270	58,2	17,7	73,0	11,8
280	53,8	17,8	68,2	11,8
290	52,2	17,7	66,2	11,7
300	45,8	17,6	58,6	11,7
310	39,4	17,7	51,0	11,8
320	35,0	17,8	45,8	11,8
330	35,0	17,6	45,8	11,6
340	40,6	17,7	52,6	11,7
350	40,6	17,6	52,6	11,6

Una vez obtenidos los valores de campo eléctrico y distancia relacionada son graficados los contornos de servicio y protección en la figura 18.



Figura 18. Contorno de Servicio(17.7dBu) y de Protección(11.7dBu) de la Estación Bare. Fuente: Autor.

En la figura 19 se hace una comparación del resultado obtenido con el software Radio Mobile, representado por las líneas difusas y el resultado obtenido mediante la recomendación UIT-R P.529-3, es representado por el contorno interno para un campo eléctrico de 17,7dBu, en otras palabras se esta comparando los contornos de servicio, donde se puede interpretar que el resultado obtenido por la recomendación de la UIT ofrece un menor área de cobertura, pero asegurando dentro de ese contorno un campo eléctrico superior a lo esperado de igual forma el contorno de líneas difusas las zona que estén por dentro se asegura el mismo valor de campo eléctrico, obteniendo comportamientos similares. . De este mismo modo con ayuda de la figura 2 se interpretar que la estación Bare cubre los municipios siguientes: Miranda, Simón Rodríguez, Guanipa y parte de la zona oeste de independencia, logrando así un radio de cobertura entre 40km y 70km en el mejor de los casos.

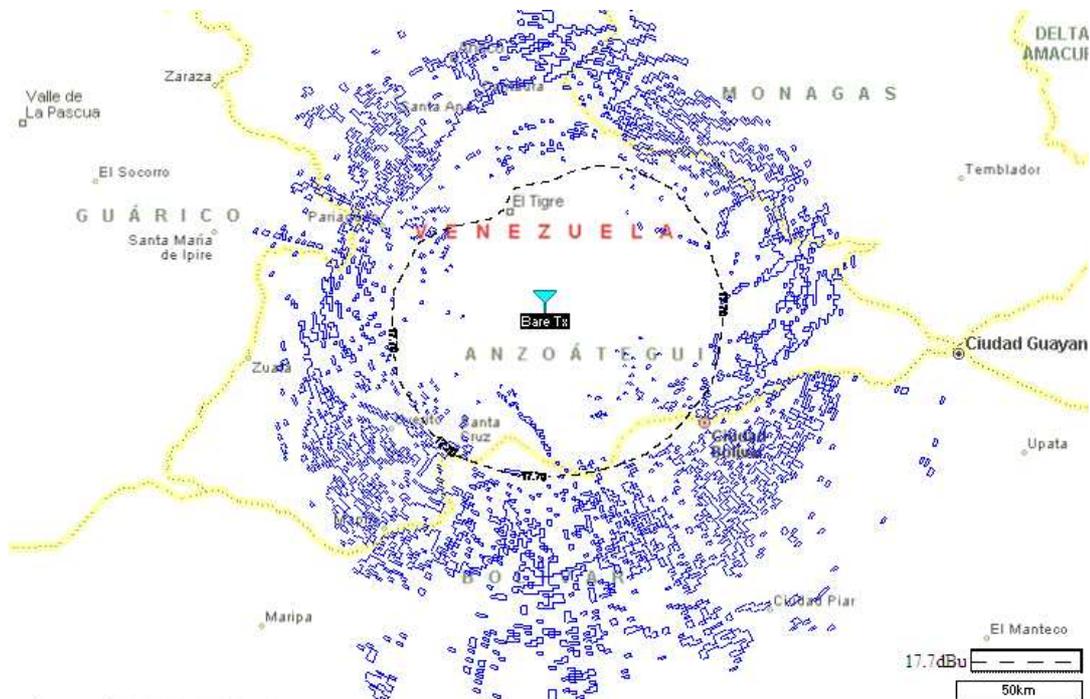


Figura 19. Contorno de Servicio en línea negra según UIT y contorno difuso por Radio Mobile de la Estación Jobillar. Fuente: Autor.

- **Estación Moriche Solo.**

El estudio analítico de campo eléctrico por radial de la estación Moriche Solo se resume en la tabla 5, expresando por azimut el valor de campo eléctrico asociado al contorno de servicio y especificando a la distancia estimada que presenta tal nivel de campo, de igual manera es expresado los valores del contorno de protección por radial asociando la distancia a la cual se estima dicho nivel de intensidad.

Tabla 5. Valores de Campo Eléctrico por radial en la estación Moriche Solo.

Azt.	D(km) del Cont. De Serv.	E(dBu) del C. de Serv.	D(km) del Cont. De Protec.	E(dBu) del Cont. de Proct.
0	68,2	17,7	83,8	11,7
10	64,6	17,7	80,2	11,7

20	60,6	17,7	75,8	11,7
30	54,6	17,8	69,4	11,7
40	51,0	17,8	65	11,8
50	51,0	17,7	65	11,7
60	54,2	17,6	68,6	11,7
70	59,8	17,8	75	11,7
80	64,2	17,8	79,8	11,8
90	66,2	17,8	82,2	11,7
100	68,2	17,7	84,2	11,6
110	68,6	17,7	84,6	11,7
120	72,2	17,7	88,2	11,7
130	72,6	17,7	88,6	11,7
140	71,8	17,7	87,8	11,7
150	73,4	17,4	88,6	11,8
160	71,8	17,7	87,8	11,7
170	71,4	17,7	87,4	11,7
180	72,2	17,6	88,2	11,7
190	72,2	17,8	88,2	11,8
200	73,0	17,7	88,6	11,8
210	73,8	17,8	89	11,7
220	73,8	17,7	88,6	11,7
230	73,4	17,6	88,6	11,8
240	73,8	17,7	90,4	11,7
250	73,0	17,7	88,6	11,7
260	72,6	17,7	88,6	11,7
270	71,4	17,7	87,4	11,7
280	69,4	17,8	85,4	11,8
290	68,6	17,7	84,6	11,7
300	69,8	17,7	85,8	11,7
310	71,4	17,7	87,4	11,7
320	71,8	17,7	87,8	11,7
330	71,4	17,7	87,4	11,7
340	71,4	17,7	87,4	11,7
350	69,8	17,7	85,8	11,7

Una vez obtenidos los valores de campo eléctrico y distancia relacionada son graficados los contornos de servicio y protección en la gráfica 20.

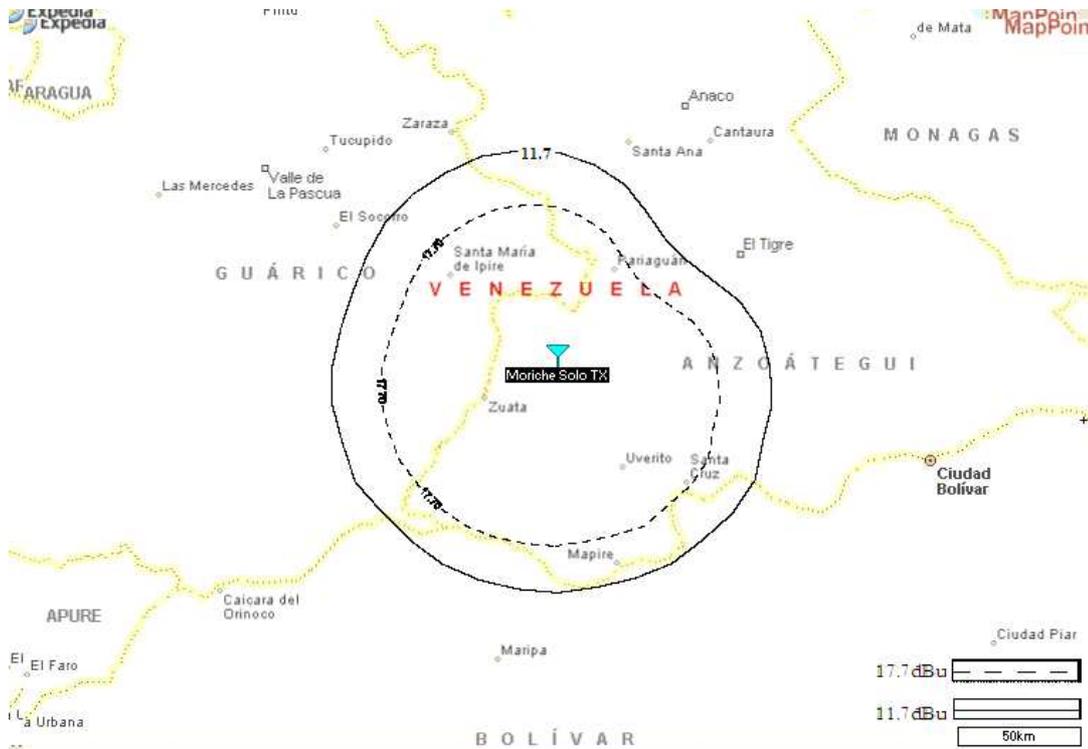


Figura 20. Contorno de Servicio(17.7dBu) y de Protección(11.7dBu) de la Estación Moriche Solo. Fuente: Autor.

En la figura 21 se hace una comparación del resultado obtenido con el software Radio Mobile, representado por las líneas difusas y el resultado obtenido mediante la recomendación UIT-R P.529-3, siendo el contorno interno para un campo eléctrico de 17,7dBu, en otras palabras se esta comparando los contornos de servicio, donde se puede interpretar que el resultado obtenido por la recomendación de la UIT ofrece un menor área de cobertura en ciertas regiones, pero asegurando dentro de ese contorno un campo eléctrico superior a lo esperado de igual forma el contorno de líneas difusas las zona que estén por dentro se asegura el mismo valor de campo eléctrico, obteniendo comportamientos similares. Posteriormente, con ayuda de la figura 2 se puede interpretar que la estación Moriche Solo cubre los municipios siguientes: Monagas y parte de miranda, del Estado Anzoátegui, logrando así un radio de cobertura entre 50km y 70km en el mejor de los casos.

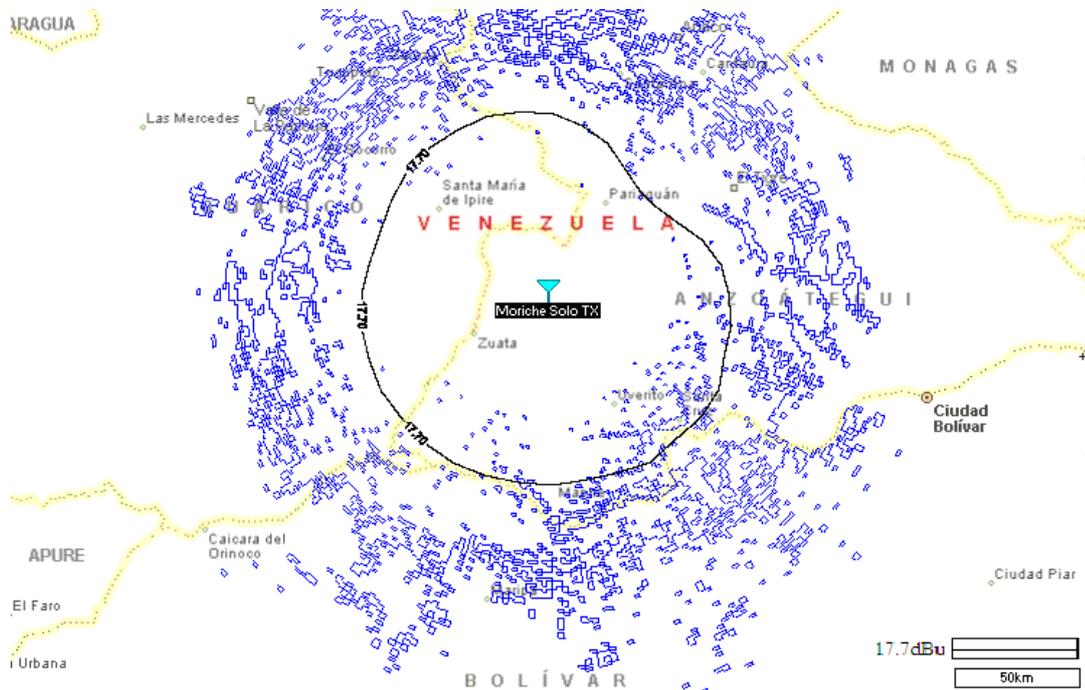


Figura 21. Contorno de Servicio(17.7dBu) según UIT y líneas difusas por Radio Mobile de la Estación Moriche Solo. Fuente: Autor.

- **Estación Morichal.**

El estudio analítico de campo eléctrico por radial de la estación Morichal se resume en la tabla 6, expresando por azimut el valor de campo eléctrico asociado al contorno de servicio y especificando a la distancia estimada que presenta tal nivel de campo, de igual manera es expresado los valores del contorno de protección por radial asociando la distancia a la cual se estima dicho nivel de intensidad.

Tabla 6. Valores de Campo Eléctrico por radial en la estación Morichal.

Azt.	D(km) del Cont. De Serv.	E(dBu) del C. de Serv.	D(km) del Cont. De Protec.	E(dBu) del Cont. de Proct.
0	55,0	17,8	69,8	11,7
10	56,2	17,8	71,0	11,8
20	57,8	17,7	73,0	11,6
30	58,6	17,8	73,8	11,7
40	59,0	17,7	74,2	11,7

50	59,0	17,7	73,8	11,8
60	58,6	17,6	73,4	11,7
70	58,2	17,8	73,4	11,7
80	57,4	17,7	72,2	11,8
90	56,2	17,7	71,0	11,6
100	55,0	17,6	69,4	11,7
110	53,8	17,7	68,2	11,6
120	54,2	17,8	68,6	11,8
130	48,2	17,8	61,8	11,7
140	51,0	17,8	65,4	11,8
150	49,8	17,7	63,8	11,6
160	51,4	17,6	65,4	11,6
170	51,8	17,7	65,8	11,8
180	49,8	17,7	63,4	11,7
190	51,0	17,6	64,6	11,8
200	51,4	17,8	65,4	11,8
210	48,6	17,7	62,2	11,6
220	41,0	17,7	53,0	11,7
230	51,0	17,6	64,6	11,8
240	32,6	17,7	43,0	11,6
250	36,6	17,6	44,6	11,8
260	35,8	17,6	46,6	11,7
270	35,8	17,8	47,0	11,6
280	37,0	17,6	48,2	11,6
290	37,0	17,6	48,2	11,6
300	38,6	17,7	50,2	11,7
310	41,0	17,7	53,0	11,8
320	43,4	17,7	56,2	11,6
330	45,8	17,7	59,0	11,7
340	49,4	17,8	62,2	11,7
350	47,4	17,7	60,6	11,7

Una vez obtenidos los valores de campo eléctrico y distancia relacionada son graficados los contornos de servicio y protección en la figura 22.

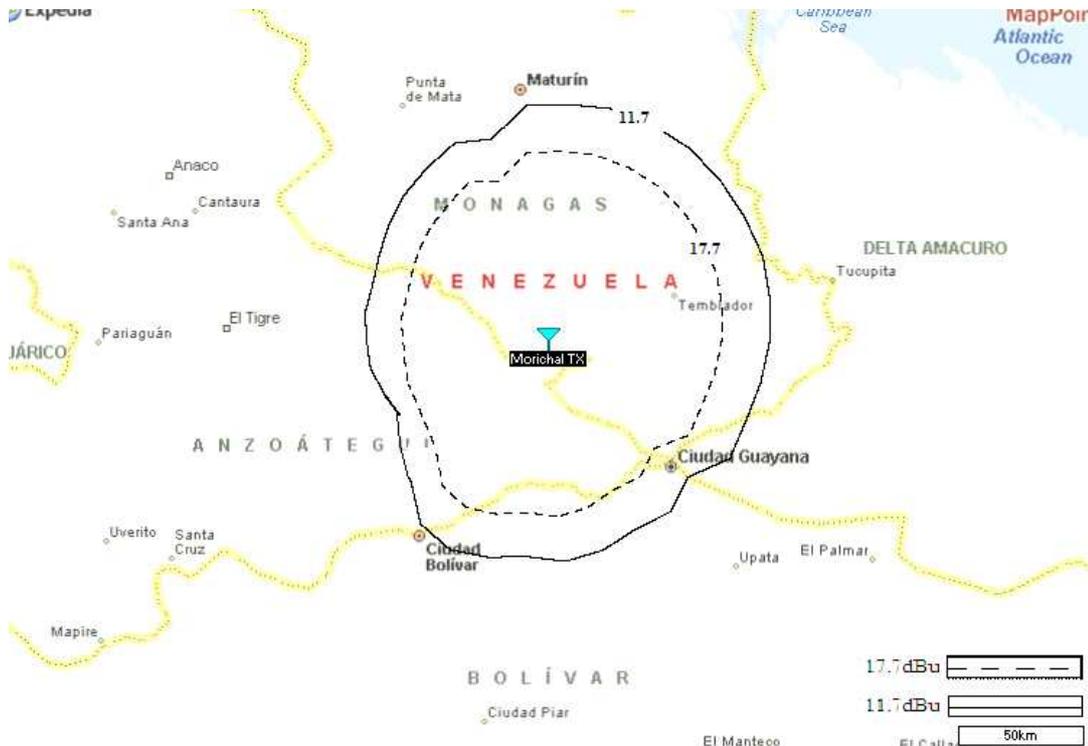


Tabla 7. Contorno de Servicio(17.7dBu) y de Protección(11.7dBu) de la Estación Morichal. Fuente: Autor.

En la figura 23 se hace una comparación del resultado obtenido con el software Radio Mobile, representado por las líneas difusas y el resultado obtenido mediante la recomendación UIT-R P.529-3, siendo el contorno interno para un campo eléctrico de 17,7dBu, en otras palabras se esta comparando los contornos de servicio, donde se puede interpretar que el resultado obtenido por la recomendación de la UIT ofrece un menor área de cobertura de una manera notable, pudiendo ser por el factor de corrección que se agrega por la altura efectiva de la antena transmisora que en este caso en algunos radiales fue por debajo de la misma altura de la antena con respecto a tierra, no obstante, se asegura dentro de ese contorno un campo eléctrico superior a lo esperado(17,7dBu) de igual forma el contorno en color azul las zona que estén por dentro se asegura el mismo valor de campo eléctrico(17,7dBu), obteniendo comportamientos similares. Seguidamente, con ayuda de la figura 2, se puede interpretar que la estación Morichal cubre los municipios siguientes:

Libertador y Maturín ubicados al Sur del estado Monagas, logrando así un radio de cobertura entre 35km y 60km aproximadamente en el mejor de los casos.

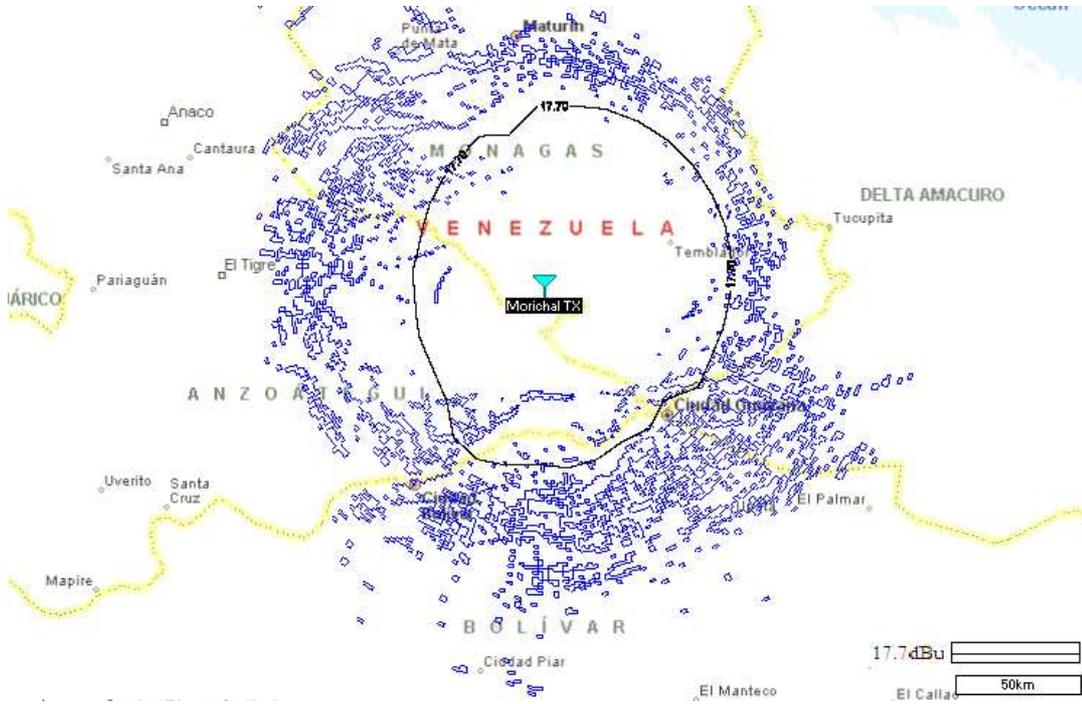


Figura 22. Contorno de Servicio(17.7dBu) según UIT y líneas difusas por Radio Mobile de la Estación Morichal. Fuente: Autor.

- **Cobertura Global.**

Una vez realizado los respectivos cálculos de cobertura de las estaciones Jobillar, Bare, Moriche Solo y Morichal, se muestra en la Figura 23 el área de cobertura global, estando en el orden de 150km de radio, que puede prestar Comunicaciones Móviles EDC al Sur del Estado Anzoátegui, logrando así cubrir dentro del estado mencionado(ver figura 2) los siguientes municipios: Aragua, Mc Gregor, Miranda, Monagas, Santa Ana, Simon Rodríguez e Independencia y esta última con una cierta zona de silencio, no obstante se cubre las zonas que en un principio se requiere prestar servicios, además la estación Morichal está propuesta para cubrir parte de los municipios Libertador y Maturín ubicados al Sur del estado Monagas como otro futuro proyecto de expansión de las zonas de cobertura por parte de Comunicaciones Móviles EDC.

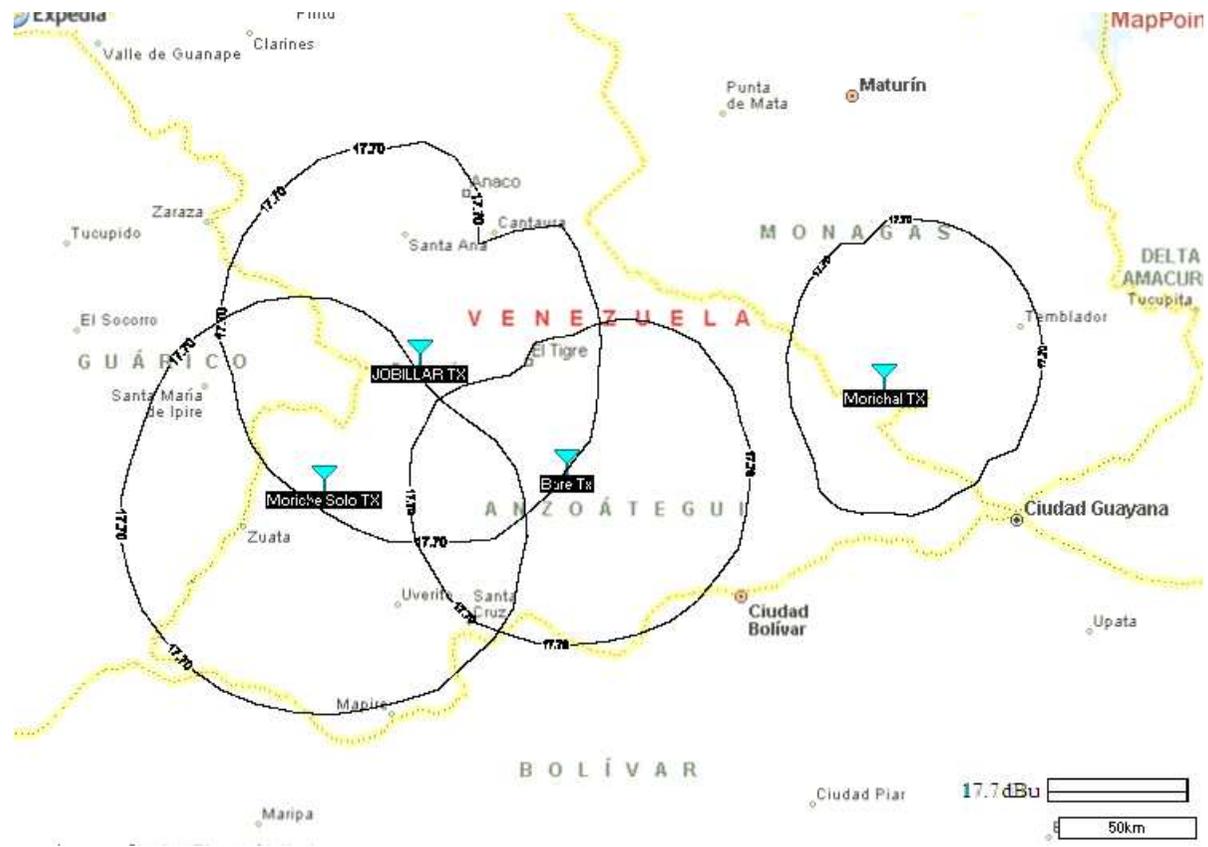


Figura 23. Cobertura Global de Bare, Jobillar, Moriche Solo y Morichal.  
Fuente: Autor.

### **3.5 Cálculo de Tráfico.**

En todo sistema de comunicación debe prestar un nivel de calidad de servicio requerido por el cliente, siendo el tráfico de la red un factor determinante para el calculo del grado de servicio que puede prestar la misma para ello se calcula el nivel de tráfico que se puede presentar en el sistema trunking planteado en la hora pico de llamadas, haciendo uso de la ecuación (31) el sistema ofrece un nivel de tráfico de 0,2 Erlangs, con un probabilidad de espera alrededor del 22%(ver anexo 3) asegurando así un Grado de servicio de 5%, basándose en la premisa de tener un promedio de 750 usuarios, 4 canales de tráfico mas uno de control, una llamada por usuario en hora pico, duración promedio de la llamada de 10seg y un tiempo promedio de retención del canal de 0,5s.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez culminado el cálculo de cobertura de las estaciones propuestas por Comunicaciones Móviles EDC para prestar servicios radio móvil al Sur del Estado Anzoátegui a la Empresa PDVSA Faja Orino se puede concluir lo siguiente:

- Se seleccionó como método para la predicción de campo eléctrico el recomendado por la UIT-R P.529-3, basado en el método planteado por Okumura para el cálculo de cobertura de un sistema de comunicación móvil terrestre, cumpliendo con los requerimientos esenciales en cuanto a frecuencia de trabajo, rango de las alturas efectiva de las antenas transmisoras y fundamentalmente el rango de validez de las distancia a la cual se cálculo los niveles de intensidad de campo eléctrico, siendo este último un factor limitante al seleccionar el método.
- Se estableció una propuesta para un sistema de comunicación adecuado para las necesidades requeridas por PDVSA para el desarrollo del proceso de exploración de hidrocarburos, siendo este el Sistema de Radio Comunicación Trunking basado en la plataforma SmartZone de Motorola®, que puede ofrecer un rápido acceso en las horas pico de tráfico en tiempos promedio máximo de 10 segundos en espera, de igual forma ofreciendo comunicaciones entre grupos de trabajo y la ventaja de realizar llamadas privadas en el caso que lo requiera.
- Se estableció las especificaciones técnicas del sistema trunking como: potencia de los equipos transmisores será de 100W, ganancia de las antenas transmisoras omnidireccionales de 12dBi, se tendrá 5 repetidores por estación y manejará un estimado de 750 usuarios por estación.

- Se estableció las zonas a cubrir al Sur del estado Anzoátegui para satisfacer las necesidades de PDVSA, teniendo como prioridad los municipios: Monagas, Simon Rodríguez y Miranda.
- Se propuso tres posibles ubicaciones de las estaciones de repetición para el despliegue del Sistema de radiocomunicaciones Trunking al Sur del estado Anzoátegui, cubriendo así los municipios Aragua, Mc Gregor, Miranda, Monagas, Santa Ana, Simon Rodríguez e Independencia y esta última con una cierta zona de silencio, no obstante, se cumple con las zonas prioritarias inicialmente planteadas.
- Se plantea como propuesta de expansión de las zonas de prestación de servicios la estación Morichal ubicadas al sur-oeste del estado Monagas dando cobertura municipios Libertador y Maturín, acotando que Comunicaciones Móviles EDC cuenta con la infraestructura del sitio en cuanto caseta y torre para las antenas de transmisión y recepción
- Se recomienda realizar la solicitud ante el ente regulador del espectro radio eléctrico (CONATEL) de 5 pares de frecuencia por estación de repetición a implementar.
- Se plantea hacer un estudio posterior del reuso de frecuencia en las estaciones propuestas para la solicitud de las frecuencias ante el ente regulador del espectro radioeléctrico.
- Se recomienda a partir de los contornos de cobertura y protección hallados realizar pruebas pilotos para convalidar los hallados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Hernando R, José. Ingeniería de Sistemas Trunking. Ed. Síntesis.
- [2] Milano, José. Diseño e implementación de un sistema de transmisión de datos inalámbricos (Tesis).--Caracas: Instituto Universidad Politécnico Santiago Mariño, 2005.
- [3] Recomendación CCIR358-5.
- [4] Modelos de Propagación [en línea].  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf)  
[Consulta: 2008].
- [5] Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF and UHF Radio Mobile Service.
- [6] Hata, Masaharu. Empirical Formula for Propagation loss in land Mobile radio services.
- [7] Modelos para ciudades  
[www.iie.fing.edu.uy/ense/asign/peu/material/Modelos\\_propagacion.ppt](http://www.iie.fing.edu.uy/ense/asign/peu/material/Modelos_propagacion.ppt). [Consulta: 2008].

## BIBLIOGRAFÍAS

CONATEL. Comisión Nacional de Telecomunicaciones. Guía para la obtención de habilitaciones(2006). <<http://www.conatel.gov.ve/download/tramites/guia>>

IEEE Transactions on vehicular technology.—Vol. vt-26, N°4 (1977, Noviembre).p. 295-323.

IEEE Transactions on vehicular technology.—Vol. vt-29, N°3 (1980, Agosto).p.p 317-325.

IEEE Transactions on vehicular technology. —Vol. 37, N°1 (1988, Febrero)p.p 27-35.

Unión Internacional de Telecomunicaciones(UIT). Recomendaciones e Informes UIT-R. Recomendaciones 358-5, P370.-7, P.529, P.114, P1546-2.

Universidad Francisco José de Calda, Sistemas de concentración de enlaces [en línea] <<http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/jruiz/jairocd/texto/usm/ci/ciscei.doc>> [Consulta: 2008].

Wikipedia, Sistemas de Comunicaciones móviles [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas\\_de\\_Comunicaciones\\_M%C3%B3viles](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles)> [Consulta: 2008].

Modelos de Propagación [en línea]. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf) [Consulta: 2008].

Okumura, Yoshihisa. Fiel strength and its variability in VHF and UHF Radio Mobile Service.

Hata, Masaharu. Empirical Formula for Propagation loss in land Mobile radio services.

## GLOSARIO

**Altura efectiva de transmisión:** Valor resultante de la resta entre la altura de la antena con respecto al nivel del mar y la altura promedio del terreno.

**Altura promedio del terreno:** Valor obtenido luego de promediar las cotas de alturas de un determinado número de cotas tomadas a lo largo de un perfil.

**Banda de frecuencia:** conjunto de frecuencias.

**Calidad de servicio:** capacidad de un sistema de comunicaciones dar un buen servicio.

**Canales de frecuencia:** Medio de transmisión por el que viajan las señales portadoras de la información que pretenden intercambiar transmisor y receptor.

**Cobertura:** Área geográfica que cubre una estación específica.

**Desviación típica:** es una medida que informa de la media de las distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresadas en las mismas unidades que la variable.

**Difracción:** Fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo.

**Espectro radioeléctrico:** porción del espectro electromagnético ocupada por ondas de radio.

**Estación base:** Estructura donde se ubican los equipos y elementos fijos necesarios para la transmisión de señales radioeléctricas.

**Estándar:** Especificaciones que regula la realización de ciertos procesos o la fabricación de componentes para garantizar la interoperabilidad.

**Frecuencia:** es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en un segundo.

**Ganancia Isotrópica de la antena:** ganancia de una antena con respecto a un modelo ideal del transmisor que irradia por igual en cualquier dirección.

**Interferencia:** cualquier proceso de que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor.

**Método Empírico:** es aquel que posibilita revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio, accesibles a la detección.

**Semi-dúplex:** Modo de funcionamiento que permite la transmisión o recepción de información en ambos sentidos pero no simultánea.

**Radiales:** segmentos rectilíneos trazados sobre determinados radios alrededor de un punto.

**Refracción:** Cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio físico a otro.

**Repetidor:** dispositivo de comunicación que se encarga de recibir y retransmitir una señal sin modificarlas.

**Ruido:** perturbación que sufre la señal en el proceso comunicativo.

**Software:** suma total de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones del sistema de cómputo.