

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACCESO *WIRELESS* PARA LA  
RED IP-MPLS DE IMPSAT-GLOBAL CROSSING**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. Alicia C. Escontrela R.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACCESO *WIRELESS* PARA LA RED IP-MPLS DE IMPSAT-GLOBAL CROSSING**

Prof. Guía: María Eugenia Alvarez  
Tutor industrial: Alex Vargas

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Alicia C. Escontrela R.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008



---

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Caracas, 14 de noviembre de 2008

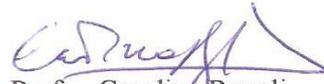
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Br. Alicia C. Escontrela R. titulado:

***“PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACCESO WIRELESS PARA LA RED IP-  
MPLS DE IMPSAT-GLOBAL CROSSING”***

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. Rafael Rodríguez  
Jurado

  
Prof. William Jota  
Jurado

  
Prof. Carolina Regoli  
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@elecrisc.ing.ucv.ve](mailto:cic-com@elecrisc.ing.ucv.ve)

## **DEDICATORIA**

A mis abuelos

A mis padres

A mis hermanas

A mi novio y amigos.

A todas las personas que de alguna manera han contribuido en la finalización de esta etapa tan importante en mi vida.

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer a mi profesora guía, Ing. María Eugenia Alvarez, quien me ha brindado todo el apoyo en la realización de este trabajo, leyendo detalladamente todo lo aquí expuesto, sus recomendaciones han permitido mejorar la calidad del presente trabajo.

También quisiera agradecer a mi tutor industrial, Ing. Alex Vargas y al personal de la empresa Global Crossing, especialmente al Ing. Alejandro Salimbeni, Carlos Estrella y Victor Requez, quienes a pesar de sus ocupaciones laborales me brindaron todo el tiempo y el apoyo necesario para la culminación de este trabajo.

**Alicia C. Escontrela R.**  
**PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACCESO *WIRELESS* PARA LA  
RED IP-MPLS DE IMPSAT-GLOBAL CROSSING**

**Prof. Guía: María Eugenia Alvarez. Tutor Industrial: Alex Vargas. Tesis.  
Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.  
Ingeniero Electricista. Mención Comunicaciones. IMPSAT – GLOBAL  
CROSSING. 2008.112.**

**Palabras claves:** Diseño de redes; acceso *wireless*; estudio de tecnologías de radio.

**Resumen:** Establecer las pautas para lograr un diseño escalable de una red IP/MPLS implica, entre otras cosas, analizar los requerimientos actuales de la red e identificar posibles limitantes para su crecimiento. Esta es la demanda principal que pretende satisfacer el presente estudio realizado en la empresa Global Crossing. Se ofrece una propuesta de solución de acceso *wireless* construida mediante una metodología apropiada para el propósito establecido.

Se llevó a cabo el estudio comparativo de las tecnologías existentes en el mercado y se seleccionó la que mejor se adaptaba a los requerimientos de la red. Las especificaciones de la tecnología elegida, las características topográficas del terreno y la ubicación de obstáculos permitieron establecer dos (2) opciones de topología de red, que representan los posibles escenarios que permiten mejorar el desempeño de la misma en función de su capacidad y cobertura a corto, mediano y largo plazos.

Finalmente, se seleccionó la propuesta que satisface los requerimientos de la red y que a su vez, de acuerdo a los recursos disponibles, es factible de implementar en los plazos establecidos.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>CAPÍTULO II.- LA EMPRESA</b> .....	6
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	6
2.2 SERVICIOS.....	6
2.3 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA.....	7
<b>CAPÍTULO III.- MARCO REFERENCIAL</b> .....	9
3.1 MODELO OSI.....	9
3.1.1 MODELO OSI EN REDES DE ACCESO INALÁMBRICO.....	10
3.2 CAPA FÍSICA.....	14
3.2.1 MEDIO DE TRANSMISIÓN.....	14
3.2.2 INTERFACES.....	15
3.2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....	17
3.2.4 TOPOLOGÍAS EN REDES DE ACCESO INALÁMBRICO.....	18
3.2.4.1 <i>BACKBONE</i> .....	18
3.2.4.2 ACCESO.....	20
3.3 CAPA DE ENLACE DE DATOS.....	22
3.3.1 ESTÁNDARES EN TECNOLOGÍA INALÁMBRICA.....	22
3.3.2 TÉCNICAS DE MULTIPLE ACCESO.....	25
3.3.3 TÉCNICAS DE DUPLEXING.....	28
3.3.4 ARQUITECTURAS FBWA.....	30
3.4 CAPA DE APLICACIÓN.....	31
3.4.1 TIPOS DE USUARIOS.....	31
3.4.2 TIPOS DE SERVICIOS.....	33
3.5 DISEÑO FBWA.....	34
3.5.1 PLANIFICACIÓN DE COBERTURA.....	34
3.5.2 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES.....	35

3.5.3 ESTUDIO DE INTERFERENCIA.....	36
3.6 RED DE IMPSAT – GLOBAL CROSSING.....	36
<b>CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>37</b>
4.1 LIMITANTES DE LA RED ACTUAL.....	39
4.1.1 EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS ACTUALES.....	39
4.1.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS.....	46
4.1.3 CANALES DISPONIBLES.....	47
4.1.4 UBICACIÓN DE OBSTÁCULOS.....	47
4.1.5 CRECIMIENTO.....	50
4.2 REQUERIMIENTOS A LARGO PLAZO.....	51
4.3 PAUTAS PARA UN DISEÑO ESCALABLE.....	53
4.4 EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	53
4.4.1 DENSIDAD DE CLIENTES.....	54
4.4.2 ANCHO DE BANDA.....	57
4.4.3 INTERFACES.....	59
4.4.4 COSTO.....	60
4.5 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA A UTILIZAR.....	61
4.6 DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	62
4.6.1 ESCENARIO A.....	65
4.6.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	65
4.6.1.2 SECTORIZACIÓN.....	66
4.6.1.3 ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS.....	70
4.6.2 ESCENARIO B.....	71
4.6.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	71
4.6.2.2 SECTORIZACIÓN.....	73
4.6.2.3 ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS.....	77
4.6.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS.....	79
<b>CAPÍTULO V.- PROPUESTA.....</b>	<b>81</b>
5.1 ARQUITECTURA DE RED.....	81
5.2 INTERCONEXIÓN CON EL <i>BACKBONE</i> .....	81
5.3 SELECCIÓN DE LA LOCALIDAD PARA EL NODO F.....	82
5.4 PROGRAMACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	84
5.5 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS.....	88
5.6 ESTUDIO DE COBERTURA.....	89
5.7 ESTUDIO DE INTERFERENCIA.....	94
<b>CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	98
6.2 RECOMENDACIONES.....	100

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	101
<b>ANEXO 1</b> .....	103
<b>ANEXO 2</b> .....	106
<b>ANEXO 3</b> .....	108
<b>ANEXO 4</b> .....	111

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.- CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR V.35.....	15
TABLA 2.- CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.3.....	16
TABLA 3.- CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR G.703.....	17
TABLA 4.- RANGO DE FRECUENCIAS DE MICROONDAS.....	18
TABLA 5.- CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.16.....	24
TABLA 6.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTÁNDARES DE LA ETSI/BRAN PARA REDES MAN.....	25
TABLA 7.- CLASIFICACIÓN DE LOS USUARIOS DE ACUERDO A LA DEMANDA DE CAPACIDAD.....	33
TABLA 8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS MÁS UTILIZADOS EN USUARIOS CORPORATIVOS.....	34
TABLA 9.- CAPACIDAD CONTRATADA ACTUALMENTE POR ESTADO EN VENEZUELA.....	40
TABLA 10.- CANTIDAD DE CPES OPERATIVOS ACTUALMENTE EN CARACAS.....	43
TABLA 11.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA ACTUALMENTE.....	46
TABLA 12.- CRECIMIENTO PORCENTUAL DE LA RED DE RADIOS DE GLOBAL CROSSING.....	50
TABLA 13.- REQUERIMIENTOS TOTALES DE CAPACIDAD Y NÚMERO DE CLIENTES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	52
TABLA 14.-DENSIDAD DE CLIENTES SOPORTADA POR LAS TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS.....	55
TABLA 15.- DENSIDAD DE CLIENTES PARA UN ALCANCE DE 8 KM Y UNA AMPLITUD POR SECTOR DE 90°.....	56

TABLA 16.- DENSIDAD DE CLIENTES EN LOS NODOS ACTUALMENTE OPERATIVOS.....	56
TABLA 17.- ANCHO DE BANDA SOPORTADO POR LAS TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS.....	57
TABLA 18.- N° CLIENTES SOPORTADOS POR LAS TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS.....	58
TABLA 19.-INTERFACES DISPONIBLES POR LAS TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS.....	59
TABLA 20.- EVALUACIÓN DE COSTOS.....	61
TABLA 21.- REQUERIMIENTO DE CAPACIDAD A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	63
TABLA 22.- REQUERIMIENTOS DE N° CPES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	63
TABLA 23.- NÚMERO DE SECTORES NECESARIOS.....	64
TABLA 24.- DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS DEL ESCENARIO A.....	66
TABLA 25.- REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	70
TABLA 26.- ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD ESCENARIO A.....	71
TABLA 27.- DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS DEL ESCENARIO B.....	72
TABLA 28.- ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD ESCENARIO B.....	78
TABLA 29.- ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS DE N° DE CPES. ESCENARIO B.....	79
TABLA 30.- COMPARACIÓN DE LOS POSIBLES ESCENARIOS.....	79
TABLA 31.- CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	85
TABLA 32.- DISTRIBUCIÓN DE CPES DE LA RED DE RADIOS.....	86

TABLA 33.- SITUACIÓN DE LA RED AL FINAL DE LA FASE I.....	87
TABLA 34.- SITUACIÓN DE LA RED AL FINAL DE LA FASE II.....	87
TABLA 35.- SITUACIÓN DE LA RED AL FINAL DE LA FASE III.....	88
TABLA 36.- RECURSOS NECESARIOS.....	89

## LISTA DE FIGURAS

FIG.1.- ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL DE GLOBAL CROSSING. FUENTE: GLOBAL CROSSING.....	7
FIG.2.- ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL AREA NETWORK GLOBAL CROSSING. FUENTE: GLOBAL CROSSING.....	8
FIG.3.- DESCRIPCIÓN DEL <i>BACKBONE</i> . REALIZADO POR LA AUTORA.....	11
FIG.4.- ESTRUCTURA DEL <i>BACKBONE</i> . REALIZADO POR LA AUTORA.....	12
FIG.5.- MODELO OSI EN REDES DE ACCESO INALÁMBRICO. REALIZADO POR LA AUTORA.....	13
FIG.6.- TOPOLOGÍA ANILLO EN REDES PTP.....	19
FIG.7.- TOPOLOGÍA DE PUNTOS CONSECUTIVOS EN REDES PTP.....	20
FIG.8.- TOPOLOGÍA PMP LOS.....	21
FIG.9.- ESTÁNDARES INALÁMBRICOS.....	23
FIG.10.- DISTRIBUCIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA EN FDMA.....	26
FIG.11.- ESTRUCTURA GENERAL DE LA TRAMA TDMA.....	27
FIG.12.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS EN FDD.....	28
FIG.13.- DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO.....	29
FIG.14.- MERCADO DE BANDA ANCHA.....	32
FIG.15.- CONFIGURACIÓN DE SECTORES UTILIZANDO 2 CANALES DE FRECUENCIA.....	34

FIG.16.- ESTRUCTURA DE LA RED ACTUAL PMP DE GLOBAL CROSSING.....	37
FIG. 17.- MAPA DE DENSIDAD DE CAPACIDAD DE CLIENTES EN CARACAS.....	42
FIG. 18.- MAPA DE DENSIDAD DE CLIENTES EN CARACAS.....	45
FIG.19.- OBSTÁCULOS EN LA LOS DESDE EL NODO A.....	48
FIG. 20.- OBSTÁCULOS EN LA LOS DESDE EL NODO B.....	48
FIG.21.- OBSTÁCULOS EN LA LOS DESDE EL NODO C.....	49
FIG.22.- OBSTÁCULOS EN LA LOS DESDE EL NODO E.....	49
FIG.23.- SECTORES DEL NODO A. ESCENARIO A.....	67
FIG.24.- SECTORES DEL NODO B. ESCENARIO A.....	67
FIG.25.- SECTORES DEL NODO C. ESCENARIO A.....	68
FIG. 26.- SECTORES DEL NODO D. ESCENARIO A.....	68
FIG. 27.- SECTORES DEL NODO E. ESCENARIO A.....	69
FIG. 28.- SECTORES DEL NODO F. ESCENARIO A.....	69
FIG. 29.- SECTORES CH1 Y CH2 EN EL NODO A. ESCENARIO B	73
FIG.30.- SECTOR CH3 EN EL NODO A. ESCENARIO B.....	73
FIG.31.- SECTORES CH1 Y CH2 EN EL NODO B. ESCENARIO B	74
FIG.32.- SECTORES CH-3 Y CH-4 EN EL NODO B. ESCENARIO B.....	74
FIG.33.- SECTORES EN EL NODO C. ESCENARIO B.....	75
FIG.34.- SECTORES EN EL NODO D. ESCENARIO B.....	75
FIG.35.- SECTORES CH-1 Y CH-2 EN EL NODO E. ESCENARIO B.....	76

FIG.36.- SECTORES CH-3 Y CH-4 EN EL NODO E. ESCENARIO B.....	77
FIG.37.- ESTRUCTURA DE LA RED PROPUESTA.....	82
FIG.38.- UBICACIÓN DE RES. LA URBINA.....	83
FIG.39.- UBICACIÓN DE LOS OBSTÁCULOS DE EDIFICIOS DE LA CALIFORNIA DESDE RES. LA URBINA.....	84
FIG.40.- PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA SIMULACIÓN DEL ESTUDIO DE COBERTURA.....	90
FIG.41.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO A.....	91
FIG.42.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO B.....	91
FIG.43.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO C.....	92
FIG.44.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO D.....	92
FIG.45.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO E.....	93
FIG.46.- COBERTURA DE RADIO DESDE EL NODO F.....	93
FIG.47.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO A CH-1 DEBIDO AL NODO D CH-1.....	94
FIG.48.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO A CH-2 DEBIDO AL NODO D CH-2.....	94
FIG.49.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO C DEBIDO AL NODO E CH-1.....	95
FIG.50.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO B CH-1 DEBIDO AL NODO E CH-1.....	95
FIG.51.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO B CH-2 DEBIDO AL NODO E CH-2.....	96
FIG.52.- SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA EN EL NODO F DEBIDO AL NODO D.....	96

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.- CRECIMIENTO DEL NÚMERO DE RADIOS DE GLOBAL CROSSING.....	50
GRÁFICO 2.- N° DE CPES VS BW/CLIENTE.....	58

## **LISTA DE SIGLAS**

CCITT: Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony

CEPT: Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony

CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones

FCC: Federal Communications Commission

IEEE: Institute of Electric and Electronic Engineers

ISO: International Organization for Standardization

ITU: International Telecommunication Union

ITU-R: International Telecommunication Union - Radiocommunication

## LISTA DE ACRÓNIMOS

BER: Bit Error Rate

BPSK: Binary Phase Shift Keying

BS: Base Station

CPE: Custom Premise Equipment

CDMA: Code Division Multiple Access

DAMA/FDMA: Demand Assigned Multiple Access

DCE: Data Communication Equipment

DTE: Data Terminal Equipment

EIRP: Effective Isotropic Radiated Power

FBWA: Fixed Broadband Wireless Access.

FDD: Frequency Division Duplexing

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FTP: File Transfer Protocol

IP-MPLS: Internet Protocol – Multiprotocolo Label Switching

LAN: Local Area Network

LLC: Logical Link Control

LOS: Line Of Sight

MAC: Media Access Control

MAN: Metropolitan Area Network

MDU: Multi-Dwelling Units

MTU: Multi-Tenant Units

NLOS: Near Line Of Sight

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OSI: Open System Interconnection

PAMA: Pre-Assigned Multiple Access

PDU: Protocol Data Units

PMP: Point-Multi-Point

PTP: Point-To-Point

QAM: Quadrature Amplitud Modulation

QPSK: Quaternary Phase Shift Keying

SDH/SONET: Synchronous Digital Hierarchy/ Synchronous Optical Network

SME: Small Medium Enterprise

SOHO: Small Office Home Office

TDD: Time Division Duplexing

TDMA: Time Division Multiple Access

TS: Terminal Station

UTP: Unshield Twisted Pair

VPN: Virtual Private Network

WAN: Wireless Area Network

## **Introducción**

La demanda de servicios de comunicaciones aumenta cada día en vista de que las prestaciones que esta ofrece facilitan el trabajo de pequeñas, medianas y grandes empresas. Por consiguiente, los proveedores de servicios de telecomunicaciones requieren de una evaluación constante en sus redes que garantice el crecimiento constante de los servicios.

La empresa Global Crossing cuenta con una red IP-MPLS internacional que ofrece una gran cantidad de soluciones IP, sin embargo el crecimiento de la misma queda limitado generalmente por el ancho de banda de las tecnologías de acceso utilizadas. Por ende se hace necesario evaluar la estructura actual de la red para identificar las limitantes y establecer una propuesta que permita optimizar el desempeño de la misma, en términos de capacidad y cobertura.

El desarrollo de la propuesta se divide en 4 fases: investigación bibliográfica, evaluación de la estructura de la red, diseño de la propuesta y recomendaciones para la implementación. En general esta metodología recoge los aspectos relevantes a tener en consideración en el diseño de una red y puede ser empleada para otras situaciones similares en esta área.

En la Fase I se lleva a cabo la investigación bibliográfica de los aspectos teóricos fundamentales de las redes FBWA, para lo cual se utiliza el modelo OSI el cual permite dividir todo tipo de redes en capas, específicamente se hace referencia a las capas física, de acceso y de aplicación, por ser estas las involucradas en los objetivos del estudio.

En la segunda fase se evalúa la estructura actual de la red, para lo cual se determina la capacidad y cobertura, los canales disponibles, la ubicación de obstáculos, las especificaciones de la tecnología utilizada y el crecimiento estimado, lo cual permite identificar las limitantes para el crecimiento en términos de capacidad y cobertura, estableciendo así las pautas para un diseño escalable.

En la Fase III se evalúan las tecnologías existentes en el mercado en términos de densidad de clientes, ancho de banda, interfaces y costo, con el propósito de seleccionar aquella cuyas prestaciones se adaptan mejor a los requerimientos de la red. En base a las especificaciones técnicas de la tecnología elegida y a las características de la red se proponen dos (2) escenarios como posibles alternativas, seleccionando como propuesta definitiva la que representa la mejor solución desde el punto de vista de optimización de recursos en la red.

En la cuarta fase se describe detalladamente la solución de acceso propuesta, especificando la arquitectura de red y su interconexión con el *Backbone*. En esta fase también se hacen recomendaciones para la implementación de la misma mediante una programación que especifica las actividades que se deben realizar a corto, mediano y largo plazo, así como también se realiza la evaluación de los recursos necesarios para la puesta en marcha de la topología propuesta. Finalmente, se realiza un estudio de cobertura de cada uno los nodos de la red involucrados y un estudio de interferencia entre sectores adyacentes con la misma canalización y polaridad, lo cual constituye el peor caso.

## **Capítulo I.- Descripción del Problema**

Con el fin de delimitar el alcance del presente estudio, este capítulo explica el planteamiento del problema, en el cual se destacan la justificación, el contexto en el que se desarrollará y las implicaciones del mismo, así como también se mencionan los objetivos que se pretenden conseguir en esta investigación.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La empresa Global Crossing cuenta con una red IP-MPLS internacional, que permite ofrecer servicios de voz, datos y video, la cual se encuentra limitada actualmente por las tecnologías de acceso utilizadas y que, en consecuencia, restringen el crecimiento de la red.

Tomando en cuenta esta situación, en el presente trabajo se evaluarán los requerimientos de la red actual en cuanto a capacidad y cobertura, determinando así las limitantes para el crecimiento de la misma. Esta evaluación permitirá establecer las pautas para lograr un diseño escalable en términos de capacidad, cobertura y capilaridad.

La capilaridad define la relación que existe entre cobertura, capacidad y densidad de clientes. Por consiguiente, para determinar este parámetro se utilizan los mapas de densidad de clientes y de capacidad obtenidos como resultado de la evaluación de los requerimientos de la red.

En base a esta información, se elaborará una propuesta que permita ampliar la capacidad de acceso ofrecida actualmente y, por consiguiente, ofrecer un mejor servicio a los clientes. Para ello, se realizará un estudio comparativo de diversos productos existentes en el mercado, con el objeto de seleccionar la tecnología que se

adapte mejor a los requerimientos de la red actual, en función de las prestaciones ofrecidas y del costo de su implementación.

Para la elaboración de la propuesta se cuenta con las instalaciones de Global Crossing en Caracas, empresa que brindará los recursos y la información necesaria para el desarrollo de la misma. La duración del estudio será de 20 semanas.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de ofrecer soluciones de acceso que soporten las capacidades que el mercado demanda, de otra forma, no se justificaría la inversión realizada en una plataforma de *Backbone* que soporte una amplia gama de servicios, si éstos no pueden llegar al usuario final a la velocidad que ellos requieren.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Elaborar una propuesta de acceso *wireless* para mejorar el desempeño que ofrece actualmente la red IP-MPLS de Global Crossing, en términos de capacidad y cobertura.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Recopilar información sobre las características principales de las redes IP-MPLS.
- ✓ Estudiar la estructura de la red IP-MPLS de Global Crossing existente.
- ✓ Evaluar los requerimientos a largo plazo.
- ✓ Identificar las limitantes para el crecimiento en capacidad y cobertura de las soluciones de acceso actuales.

- ✓ Establecer las pautas para lograr un diseño escalable.
- ✓ Evaluar tecnologías y productos existentes en el mercado.
- ✓ Especificar la tecnología y equipos a utilizar.
- ✓ Diseñar la topología de la nueva red, en base a los requerimientos establecidos anteriormente.
- ✓ Establecer los recursos y requerimientos para su implementación.

## **Capítulo II.- La Empresa**

La presente investigación se desarrolla en un contexto corporativo que debe tomar en cuenta el mercado a cubrir y las prestaciones que debe tener la red que se pretende diseñar. En este capítulo se describe brevemente la empresa, los servicios que ofrece y su estructura organizativa, destacando el área de la empresa en donde se realizó el presente estudio y finalmente, la misión y visión de la misma.

### **2.1 Descripción de la Empresa**

Global Crossing es una empresa proveedora de servicios de Telecomunicaciones que opera en más de 60 países, ofreciendo servicios integrados de voz, datos y video a través de sus redes Metro-Ethernet, satelital, de radio y *switching*.

Los servicios ofrecidos en Global Crossing están orientados principalmente hacia los clientes corporativos, grandes, medianas y pequeñas empresas y corporaciones, organismos de gobierno, y, en general, cualquier organización que necesite satisfacer sus necesidades de telecomunicaciones.

### **2.2 Servicios**

La gama de servicios que ofrece la empresa Global Crossing, permiten la integración de voz, datos y video. Entre estos servicios se pueden destacar:

- ✓ Plataforma IP que brinda convergencia en información, voz, video y aplicaciones de multimedia.
- ✓ Transporte de datos de modo seguro y confiable, ofreciendo a los clientes servicios Ethernet, SDH/SONET, ATM o Frame Relay.

- ✓ Soluciones de seguridad que permiten que expertos en seguridad evalúen las debilidades y planifiquen la mejor solución, cumpliendo con todas las regulaciones internacionales de seguridad.
- ✓ Profesionales que permiten prevenir incidentes y restaurar las operaciones afectadas, reduciendo pérdidas económicas del cliente.
- ✓ Servicios de voz que mejoran la productividad y reducen los costos de migración gradual hacia IP.
- ✓ Soluciones de voz, web o videoconferencia que permiten a sus clientes comunicarse desde cualquier parte del mundo.
- ✓ Profesionales capaces de brindar la mejor planificación, implementación y administración en las redes de telecomunicaciones de los clientes.

Estos servicios permiten a los clientes mantener una infraestructura actualizada, reduciendo así los costos de obsolescencia tecnológica.

### 2.3 Estructura Organizativa

La empresa está conformada por 3 áreas: *Sales & Services*, *Publicidad y Mercadeo* y *Network* (Fig.1)

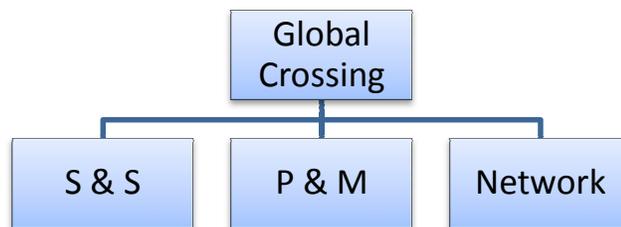


Fig.1.- Estructura Organizativa general de Global Crossing. Fuente: Global Crossing

El área de *Network* a su vez está conformada por 6 Departamentos: Ingeniería y Proyectos, Infraestructura, *Service Delivery*, *Service Assurance*, Logística y Tecnologías. El presente trabajo se desarrolló en el Departamento de Tecnologías, específicamente en el área *wireless* (Fig.2)

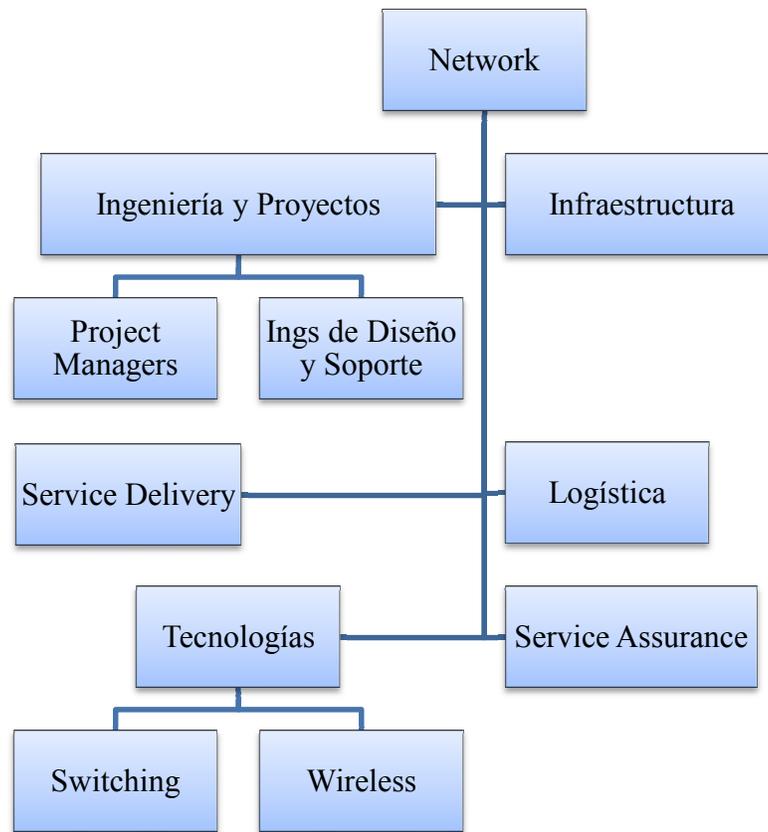


Fig.2.- Estructura Organizativa del area Network Global Crossing. Fuente: Global Crossing

## Capítulo III.- Marco Referencial

Tomando en cuenta los objetivos del presente estudio, se utiliza el modelo de referencia OSI (*Open System Interconnection*) que facilita la comprensión de la comunicación de datos en una red, dividiendo la misma en capas y solucionando así posibles problemas de incompatibilidad. Este modelo se puede aplicar a los sistemas de telecomunicaciones y, por esta razón, se utilizará en el presente estudio con el fin de describir las características fundamentales de las redes de acceso inalámbrico.

### 3.1 Modelo OSI

El modelo OSI, creado en 1984 por la empresa ISO (*International Standards Organization*), se puede definir como “una arquitectura por niveles para el diseño de sistemas de red. Está compuesto por siete niveles separados, pero relacionados, cada uno de los cuales define un segmento necesario para mover la información a través de la red” [1]

Este modelo “proporcionó a los fabricantes un conjunto de normas que podían facilitar una mayor compatibilidad e interoperabilidad entre los diferentes tipos de tecnología de red producidos por muchas empresas de todo el mundo” [2]

El modelo OSI se divide en 7 capas, que realizan diferentes funciones. Entre ellas se pueden destacar [2] y [5]

1. Capa física: se encarga de la transmisión y recepción de los bits a través del medio de transmisión, el cual puede ser guiado o no guiado. En esta capa, se definen las características físicas de las interfaces y el medio, la velocidad de transmisión, el tipo de configuración de línea utilizada (dedicada o compartida), la

topología física, el modo de transmisión y todas las características físicas necesarias para la comunicación de los elementos en la red.

2. Capa de enlace de datos: Es la responsable de que los datos a transmitir puedan llegar sin errores al nivel superior. Para garantizarlo, esta capa se encarga del direccionamiento físico, el control de errores, el control de flujo y del acceso a la red. La IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineering*) divide esta capa en LLC (*Logic Link Control*) y MAC (*Media Access Control*), las cuales se encargan del direccionamiento físico y de determinar la forma de comunicación de los dispositivos involucrados en la red, respectivamente.
3. Capa de red: es la encargada del direccionamiento lógico y del enrutamiento
4. Capa de transporte: es la responsable de la entrega extremo a extremo, para lo cual realiza segmentación y re-ensamblado, control de flujo y de errores.
5. Capa de sesión: se encarga de iniciar, administrar y terminar la comunicación
6. Capa de presentación: realiza la traducción, cifrado y comprensión para que la aplicación pueda ser interpretada en el extremo receptor
7. Capa de aplicación: Es la capa que permite al usuario acceder a diferentes servicios a través de la red.

Cada capa utiliza servicios del nivel inferior, los proporciona al nivel superior y, a su vez, se comunica con su igual en el otro extremo.

### **3.1.1 Modelo OSI en redes de acceso inalámbrico**

En la transmisión de información el dispositivo origen encapsula los datos para que sean aptos para transmitirse por la red, éste es procesado por una serie de equipos, los cuales realizan un proceso de desencapsulación para obtener la información que necesitan y poder enviar correctamente la información a su destino. Los dispositivos intermedios, sólo necesitan la información contenida en las primeras capas para poder enviar la información [2]

Para comprender cómo funciona el modelo OSI en una red de acceso inalámbrico, primero es necesario conocer las partes que conforman la misma. En general, todas las redes de telecomunicaciones están conformadas por el *Backbone* y la red de acceso, lo que cambia es el medio de transmisión utilizado, el cual puede ser guiado (par de cobre, fibra óptica, UTP (*Unshielded Twisted Pair*), etc) o no guiado (aire), la tecnología utilizada y los servicios ofrecidos.

- ✓ *Backbone*: es la parte de la red que maneja la mayor cantidad de tráfico, abarca elementos y subsistemas de alta capacidad como multiplexores, *switchs* y *routers* [3]. Está conformado por el *core* y el *edge* (Fig. 3 y 4)

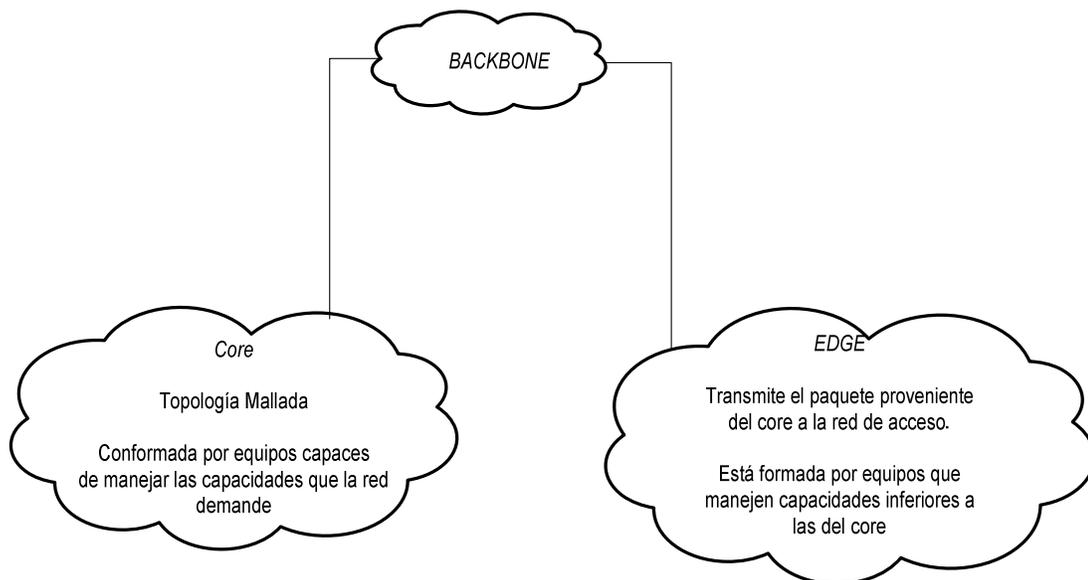


Fig.3.- Descripción del *Backbone*. Realizado por la autora

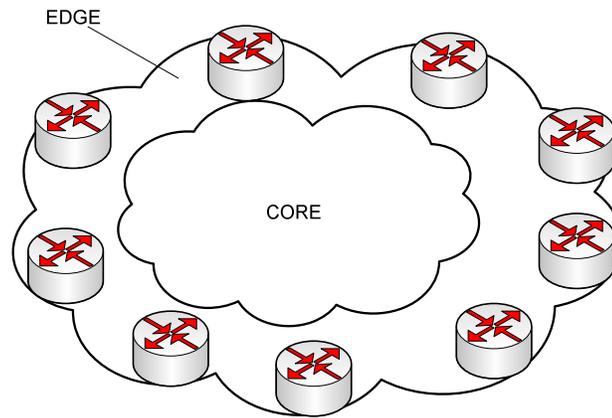


Fig.4.- Estructura del *Backbone*. Realizado por la autora

En el *core*, hay equipos que manejan las 7 capas del modelo OSI, mientras que hay otros que sólo necesitan las primeras para enrutar la información a transmitir correctamente. Mientras que en el *edge*, donde se encuentran los equipos fronterizos del *Backbone*, los equipos involucrados sólo necesitan procesar las 3 primeras capas. (Fig.5)

- ✓ La red de acceso se encarga de conectar el *Backbone* con el usuario, cubriendo lo que se conoce como “última milla”, el cual es el tramo final entre el proveedor de servicios y el usuario final. En la red de acceso se encuentran equipos que procesan principalmente hasta la tercera capa del modelo OSI, los cuales permiten transmitir la información al usuario final, así como también se encuentran los equipos que interactúan directamente con el usuario, en los cuales intervienen todas las capas del modelo OSI (Fig.5).

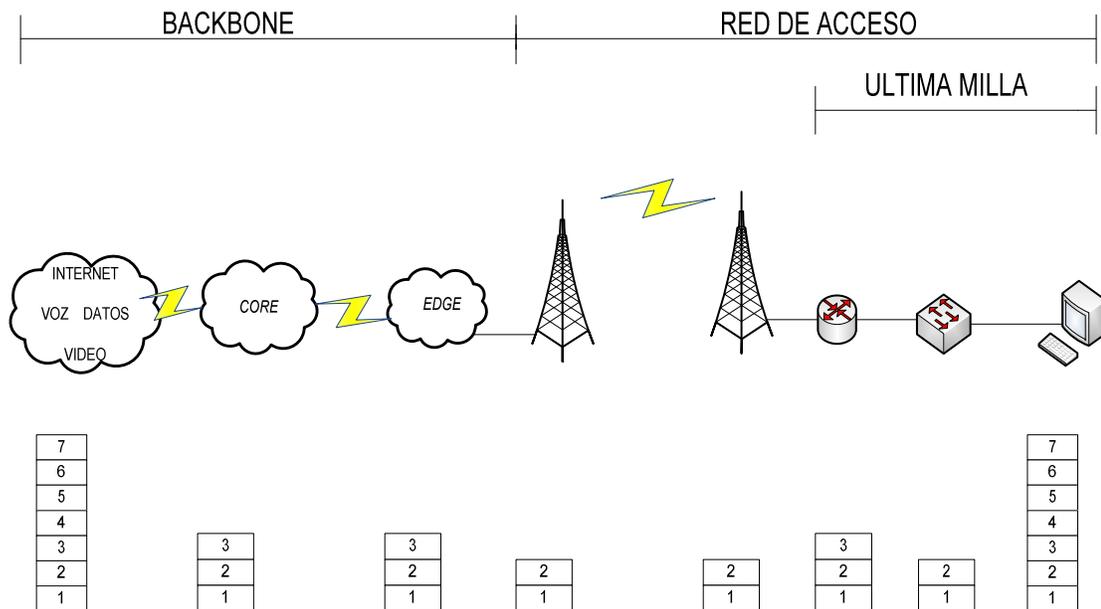


Fig.5.- Modelo OSI en redes de acceso inalámbrico. Realizado por la autora

Para describir la capa física de este tipo de redes se explican brevemente las características principales del medio de transmisión, las interfaces, la atribución del espectro de frecuencias *wireless* en Venezuela y las topologías de la red tanto a nivel de *Backbone* como a nivel de red de acceso

La capa de enlace de datos está formada por los estándares desarrollados en tecnologías inalámbricas, las técnicas que se utilizan para acceder al medio, las técnicas de *duplexing* y las arquitecturas FBWA (*Fixed Broadband Wireless Access*), el cual es el tipo de red específica que se utilizará en la presente investigación.

Finalmente, se hará una breve descripción de la capa de aplicación, destacándose la clasificación de los usuarios y de los servicios, porque esta información permite definir las zonas potenciales a cubrir.

## 3.2 Capa Física

### 3.2.1 Medio de Transmisión

El medio de transmisión de las redes de acceso *wireless* es el aire. Por cuanto, para garantizar que la señal sea recibida en el extremo receptor es necesario que exista LOS (*Line Of Sight*). Para ello, es necesario que exista despeje de al menos el 60% de la zona de Fresnell, la cual es la región en la que se transmite la potencia significativa del enlace [3]. El radio de la primera zona de Fresnell se calcula mediante (1)

$$r_1 = \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2 \cdot \lambda}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

Donde,

$d_1$ : distancias entre el transmisor y el obstáculo (m)

$d_2$ : distancias entre el receptor y el obstáculo (m)

$\lambda$  : Longitud de onda (m) .  $\lambda = \frac{c}{f}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8$  m/seg; frecuencia

Actualmente se están desarrollando estudios para realizar enlaces que toleren cierto tipo de obstrucciones sin perder la calidad de la señal, similar al caso de los sistemas celulares, lo cual se conoce como NLOS (*Near Line Of Sight*).

Existen varios factores que pueden producir atenuación en la señal transmitida, entre ellos se puede destacar: gases atmosféricos, nubes, niebla, lluvia, la capa de agua que se puede formar en el *radome* (estructura que protege las antenas) de las antenas, material de construcción utilizado, vegetación y obstáculos, principalmente

La atenuación producida por las condiciones ambientales como los gases atmosféricos, nubes, niebla, lluvia y la capa de agua formada en el *radome* de las antenas, aumenta con la frecuencia, mientras que la producida por los materiales

utilizados, depende de las características dieléctricas y de permitividad de los mismos [12].

### 3.2.2 Interfaces

Las interfaces permiten interconectar los distintos dispositivos en una red. Para que existiera interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes se han definido algunos estándares que describen las características eléctricas y mecánicas de las mismas. Entre ellas se puede mencionar Ethernet, V.35, X.21 y E1/G.703.

#### V.35

Las características eléctricas y mecánicas de esta interfaz se encuentran en la recomendación del CCITT V.35. En la tabla 1 se encuentran las características más importantes de este tipo de interfaz.

Tabla 1.- Características del estándar V.35 [4].

Velocidad (kbps)	Modo de transmisión	Niveles de voltaje		Niveles lógicos
		Entrada	Salida	
48, 56 y 64	Full dúplex	< -70 mv	-0,55 v	1 (OFF)
		> + 70 mv	+0,55 v	0 (ON)

#### Ethernet

La norma IEEE 802.3 define las características eléctricas y mecánicas de este estándar, éstas se encuentran resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2.- Características del estándar 802.3 [5]

	<b>Medios</b>	<b>Velocidad (Mbps)</b>	<b>Long. Máxima (m)</b>
<b>10BASE2</b>	Cable coaxial grueso	10	500
<b>10BASE5</b>	Cable coaxial delgado	10	200
<b>10BASE-T</b>	Cable UTP	10	100
<b>10BASE-FL</b>	Fibra Multimodo - 850nm	10	2000
<b>100BASE-TX</b>	Cable UTP	100	100
<b>100BASE-SX</b>	Fibra Multimodo - 850nm	100	300
<b>100BASE-FX</b>	Fibra Multimodo o monomodo - 1310nm	100	400
<b>1000BASE-T</b>	Cable UTP	1000	100
<b>1000BASE-SX</b>	Fibra Multimodo - 850nm	1000	275 (microfibra 62,5), 550 (microfibra 50)
<b>1000BASE-LX</b>	Fibra Multimodo o monomodo - 1310nm	1000	440 (microfibra 62,5), 550 (microfibra 50), 3 a 10 Km (fibra monomodo)

### X.21

Esta interfaz fue recomendada por la CCITT (*Comité Consultatif Internationale de Télégraphie et Téléphonie*) en 1976, y define la señalización digital entre usuarios (*Data Terminal Equipment*, DTE) y proveedores (*Data Communication Equipment*, DCE). Transmite los datos de forma asíncrona, por cuanto es importante destacar que el reloj esté bien configurado, lo cual es responsabilidad del proveedor de servicios [5].

### E1/G.703

La norma G.703 de la ITU define las características eléctricas y físicas de las interfaces digitales jerárquicas definidas en la norma G.702, las cuales se muestran en la tabla 3

Tabla 3.- Características del estándar G.703. [6]

Nivel de Jerarquía digital	Velocidades binarias jerárquicas (kbps) para redes cuya jerarquía digital se basa en una velocidad binaria de primer nivel de	
	1544 kbps	2048 kbps
	64	64
1	1544	2048
2	6312	8448
3	32064	44736
4	97728	139264

### 3.2.3 Espectro Radioeléctrico

La regulación del espectro radioeléctrico es responsabilidad de organizaciones internacionales (ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication)), regionales (FCC (*Federal Communications Commission*), para USA y CEPT (*Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications*) para Europa) y las nacionales, que son finalmente las que otorgan las concesiones a los usuarios para operar en determinada frecuencia, basada en las recomendaciones emitidas por la ITU.

La Ley Orgánica de Telecomunicaciones señala en el artículo 69 y 70 que corresponde a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones la administración, regulación, ordenación y control del espectro radioeléctrico, lo cual comprende, entre otras facultades, la planificación, la determinación del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, la asignación, cambios y verificación de frecuencias, la comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas, el establecimiento de las normas técnicas para el uso del espectro, la detección de irregularidades y perturbaciones en el mismo, el control de su uso adecuado y la imposición de las sanciones a que haya lugar, de conformidad con la Ley.[7]

En general, el rango de frecuencias de microondas se divide en diferentes sub-bandas, como se muestra en la Tabla 4. En la propuesta desarrollada en el presente trabajo se opera en la banda X, específicamente en 10.5 GHz.

Tabla 4.- Rango de frecuencias de microondas. [8]

<b>Banda</b>	<b>Rango de Frecuencia (GHz)</b>
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ka	27-40

### **3.2.4 Topologías de red de acceso inalámbrico**

Las redes están conformadas por nodos, que se encargan de interconectar los dispositivos que la conforman y procesar la señal según sea necesario. Desde el punto de vista topológico, se pueden presentar distintas configuraciones que dependen de la parte de la red a la que pertenezcan (*Backbone* o red de acceso) y de los requerimientos que deba cumplir la red en cuestión.

#### **3.2.4.1 Backbone**

Las topologías de *Backbone* están formadas por enlaces PTP (Point-To-Point) en los que se utilizan antenas directivas. Estas pueden ser [8]:

Anillo: los nodos de la red están dispuestos en forma de anillo. Muchas veces se interconectan mediante fibra óptica. La ventaja de esta configuración es que si hay alguna falla en algún nodo del anillo, el tráfico puede ser re-enrutado. Generalmente se utilizan para interconectar los nodos en una ciudad.

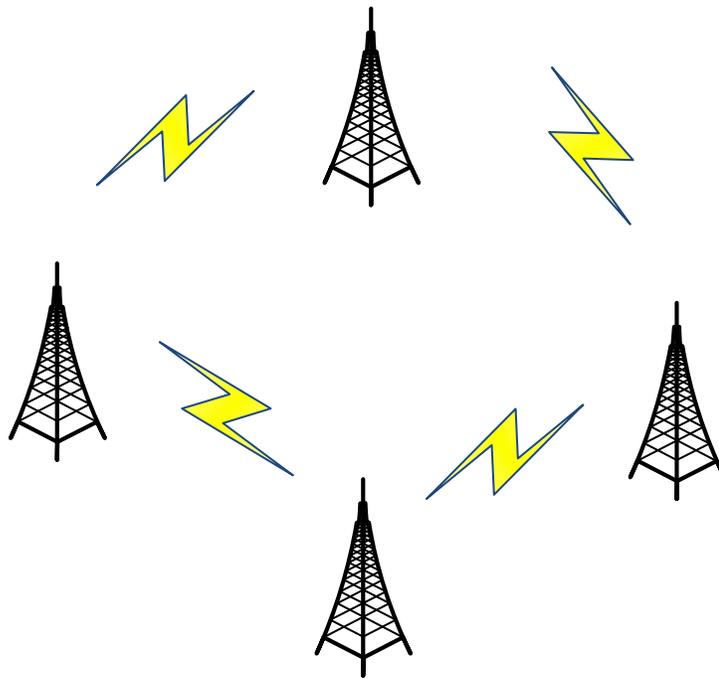


Fig.6.- Topología anillo en redes PTP [8].

Puntos consecutivos: los nodos están dispuestos de forma consecutiva, cumpliendo la función de repetidores. La desventaja de esta configuración con respecto a la anterior, es que si hay una falla en alguno de ellos el tráfico no se puede re-enrutar. Generalmente se utilizan para conectar ciudades, en las que no sería factible implementar la configuración anterior, por el gasto que esto generaría o porque la topografía y edificios de la zona no lo permiten.

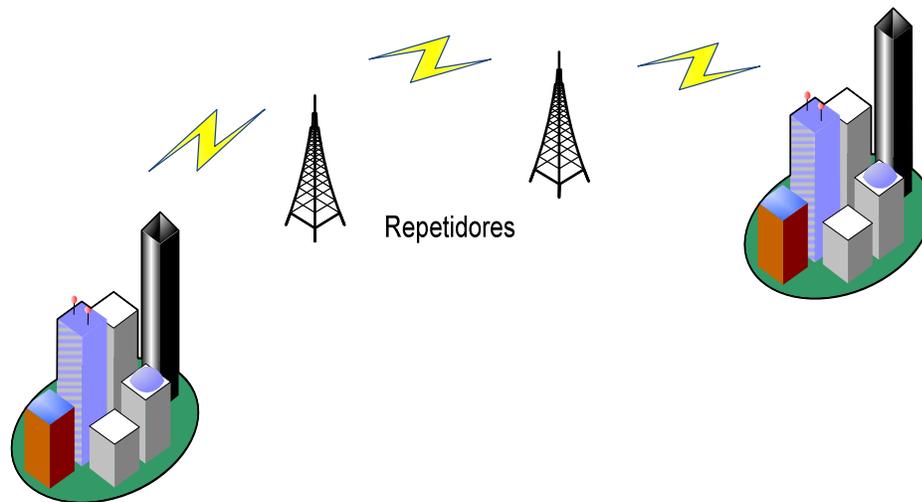


Fig.7.- Topología de puntos consecutivos en redes PTP [8].

### 3.2.4.2 Acceso

Las topologías utilizadas en las redes de acceso pueden ser PMP LOS (*Point-MultiPoint Line Of Sight*), PMP NLOS (*Point-MultiPoint Near Line Of Sight*) y PTP. La configuración empleada depende de los requerimientos de la red.

#### Redes PMP LOS

Este tipo de redes está conformado por una BS (*Base Station*) y varias TS (*Terminal Station*). Las antenas utilizadas en la BS son sectoriales, que cubren una región determinada, y las utilizadas en las TS son directivas, se requiere LOS. Este tipo de redes generalmente ofrecen menor capacidad por cliente que las redes PTP, pero son más eficientes en el uso del espacio porque en el nodo sólo se requiere una antena para ofrecer servicio a un sector determinado.

Esta es una de las configuraciones más utilizadas en las redes de acceso inalámbrico fijo, por las ventajas que representa en cuanto a infraestructura. Generalmente para ofrecer cobertura a toda una ciudad este tipo de redes utiliza varias BS, en donde cada una le brinda cobertura a un sector específico, similar a la arquitectura utilizada en tecnología celular [8].

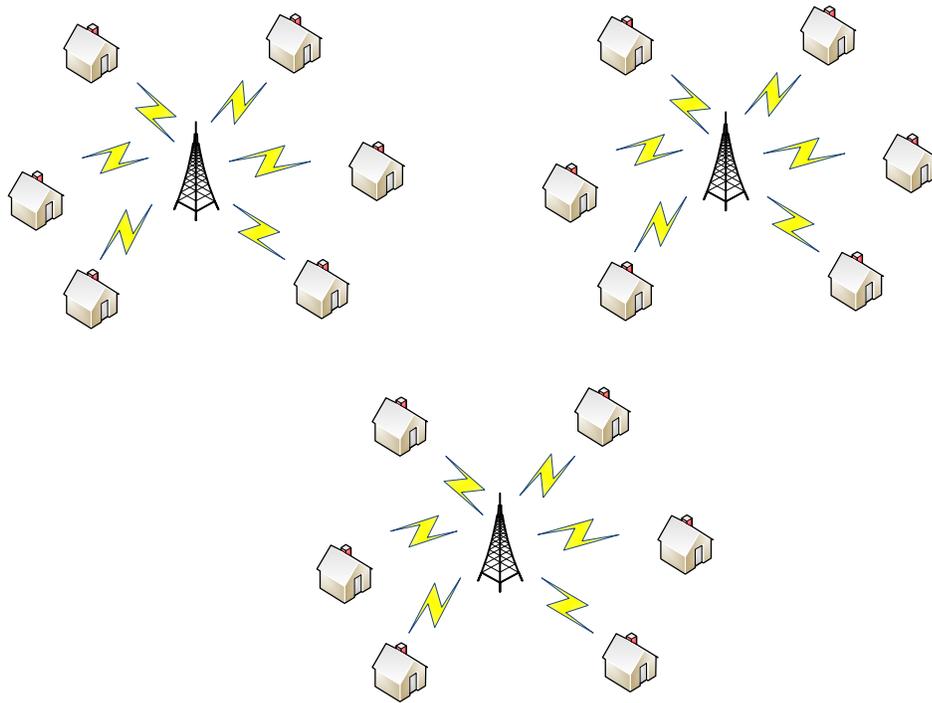


Fig.8.- Topología PMP LOS [8].

### Redes PMP NLOS

Esta topología es similar a las redes PMP LOS, la diferencia radica en que las estaciones remotas pueden ser localizadas en el interior de una casa u oficina, en donde no se necesite un enlace libre de obstrucciones.

La atenuación producida por estas obstrucciones representa un reto para los diseñadores de estos sistemas, de forma similar a los presentados en telefonía celular

### Redes PTP

Está conformada por enlaces PTP que requieren LOS. La configuración utilizada en este tipo de redes se conoce como estrella y es similar a las redes PMP, con la diferencia que en el nodo se coloca una antena por cada cliente al que se vaya a

ofrecer servicio, lo cual limita el número de enlaces disponibles de acuerdo al espacio físico [3].

### **3.3 Capa de acceso**

#### **3.3.1 Estándares en tecnología inalámbrica**

“Con la creación de estándares se pueden obtener principalmente 2 beneficios:

- ✓ Compañías competitivas producirán una gran cantidad de dispositivos que cumplan con los estándares, reduciendo drásticamente el precio de los dispositivos individuales.
  - ✓ Los operadores estarán más dispuestos a desarrollar sistemas que cumplan con los estándares porque así, ellos pueden esperar que estén disponibles una gran cantidad de equipos terminales económicos, aumentando el número de clientes”.
- [8]

Los estándares en tecnología inalámbrica se dividen, principalmente, de acuerdo al tipo de redes y a las organizaciones que los realizan, como se puede observar en la Fig. 9.

Sólo se explicarán las características principales de los estándares correspondientes a las redes de acceso MAN (*Metropolitan Area Network*) Fijo y Móvil, por ser estas las redes en estudio en el presente trabajo.

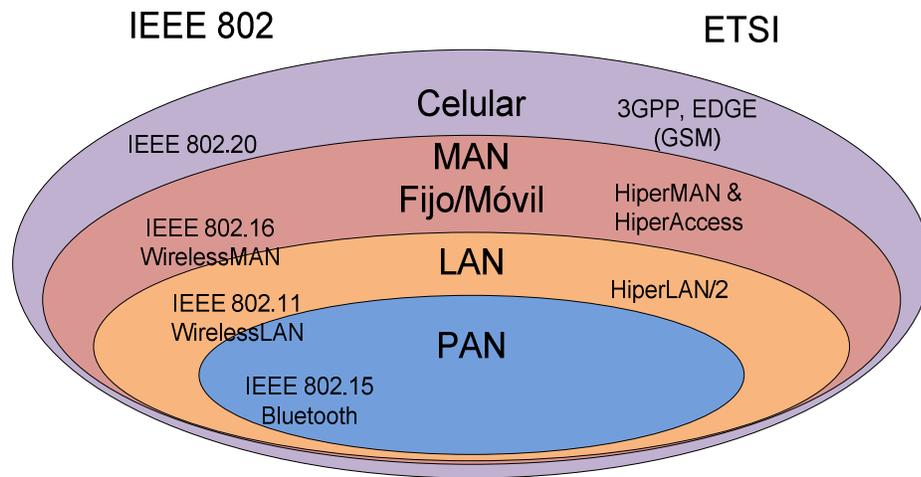


Fig.9.- Estándares inalámbricos [9].

### IEEE 802.16

“Esta tecnología es diseñada para proveer acceso inalámbrico en la última milla en redes MAN, proporcionando un comportamiento comparable con el cobre, DSL o T1” [9] , con la ventaja de poderse implementar, hasta en áreas en las que la infraestructura cableada no puede llegar.

La implementación de este estándar permite ofrecer servicios orientados a los usuarios, las pequeñas, medianas y grandes empresas, así como para el backbone de redes fijas y móviles, permitiendo ofrecer servicio incluso a los lugares en los que la infraestructura cableada no llega. En la tabla 5 se resumen las características más importantes del estándar 802.16 y los sub-estándares 802.16a y 802.16e, los cuales añadieron movilidad y la ventaja de NLOS, en donde no se necesita el despeje del 60% de la primera zona de Fresnell.

Tabla 5.- Características del estándar 802.16 [10]

Estándar	F (GHz)	Velocidad	Modulación	BW del canal	Alcance	Condiciones del medio
802.16	10-66	Desde 32 hasta 134Mbps, para BW de 28MHz	QPSK, 16 QAM y 64 QAM	20,25 y 28 MHz	De 1,6 Km a 4,83 Km	LOS
802.16a/ Revd	< 11	Más de 75 Mbps con una BW de 20 MHz	OFDM 256, 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	BW seleccionables desde 1,5 hasta 20 MHz, con más de 16 subcanales	De 4,83 a 8,05 Km	NLOS
802.16e	< 6	Más de 15 MHz con un BW del canal de 5 MHz	OFDM 256, 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	BW seleccionables desde 1,5 hasta 20 MHz, con más de 16 subcanales	De 1,6 Km a 4,83 Km	NLOS

ETSI/BRAN (European Telecommunications Standard Institute/Broadband Radio Access Network)

El grupo de trabajo BRAN de la ETSI, ha trabajado en diferentes estándares para tecnologías inalámbricas, entre los cuales se destacan HiperAccess, HiperMAN e HiperLAN/2. Dentro de los cuales los 2 primeros son los que corresponden a las redes MAN [9]

La Tabla 6 resume las características principales de los estándares HiperAccess e HiperMAN, por ser éstos los orientados al tipo de redes en estudio en el presente trabajo.

HiperAccess surge con el objeto de aumentar el alcance de HiperLAN/2, el cual corresponde a las redes LAN, permitiendo ofrecer servicio para las pequeñas y medianas empresas, para los usuarios SOHO (Small Office Home Office) y para el *Backbone* UMTS, principalmente, mientras que HiperMAN fue diseñado para redes fijas de banda ancha de acceso inalámbrico, tomando como punto de partida el estándar 802.16; permitiendo ofrecer servicio a usuarios residenciales, pequeñas y medianas empresas, y usuarios SOHO [9].

Tabla 6.- Características de los estándares de la ETSI/BRAN para redes MAN

<b>Estándar</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Banda de Frecuencia</b>	<b>Método de acceso</b>	<b>Alcance</b>	<b>Ancho del canal</b>
<b>HiperAccess</b>	Hasta 25 Mbps	40.5 – 43.5 31.8 – 33.4 27.5 – 29.5 24.5 – 26.5	TDMA	Hasta 12 km	28 MHz
<b>HiperMAN</b>	Hasta 25 Mbps	2 – 11 GHz	OFDMA	Hasta 50 km	7 MHz

### 3.3.2 Técnicas de Múltiple Acceso

En los sistemas de telecomunicaciones en los que se utiliza un medio compartido, como es el caso de las redes inalámbricas, se necesitan técnicas de múltiple acceso para poder transmitir la información simultáneamente sin interferirse entre ellas. Entre Los métodos que existen se pueden destacar FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*), OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*).

#### FDMA

Esta técnica consiste en la división de la banda asignada en sub-bandas, para cada uno de las estaciones remotas (Fig.10). Estas sub-bandas se pueden asignar de

forma fija (PAMA/FDMA), en donde a cada estación remota se le asigna una frecuencia al momento de instalarse o puede ser establecida en base a la demanda del canal (DAMA/FDMA), en este caso la frecuencia de las sub-bandas es realizada de acuerdo a los canales en uso.

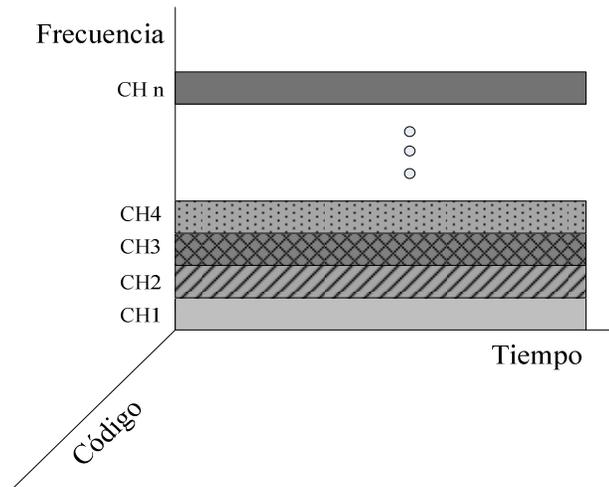


Fig.10.- Distribución de las bandas de frecuencia en FDMA [8].

Existen principalmente 3 fuentes de interferencia: co-canal, canal adyacente y *spurious*. La primera es producida por otros transmisores que pueden ocupar el canal del receptor. La segunda es originada por los transmisores que ocupan los canales adyacentes. Finalmente, los productos de intermodulación pueden ocasionar interferencia. [8].

### TDMA

Esta técnica le asigna a cada canal una ranura de tiempo (*Time Slots*). Al igual que en el caso anterior, la asignación de canal puede ser fija (PAMA/TDMA, *Permanently Assigned Multiple Access/Time Division Multiple Access*) o de acuerdo a la demanda (DAMA/TDMA, *Demand Assign Multiple Access/Time Division Multiple Access*). Ofreciendo la ventaja de poder asignar a una estación remota que necesite alta velocidad de transmisión varios Time Slots en un mismo canal [8].

Es necesario que la estación base y la remota estén sincronizadas, para lo cual las ranuras de tiempo se agrupan en una trama, la cual contiene los datos y bits de sincronismo. En términos generales los bits de información contiene la información de cada uno de los *Time Slots* (Fig 11).

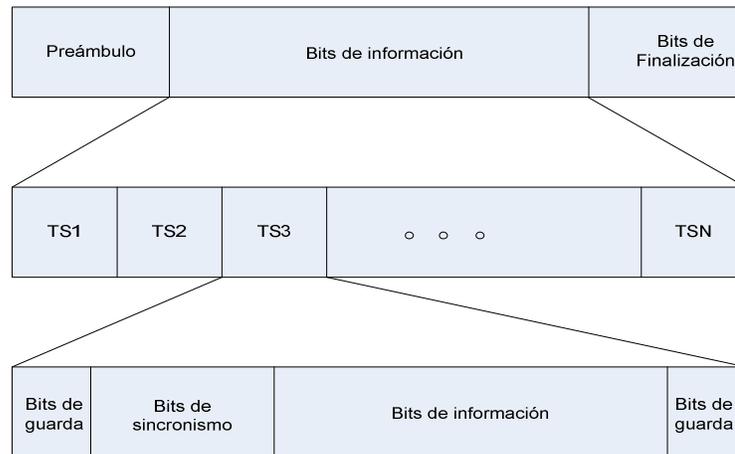


Fig 11.- Estructura general de la trama TDMA [8].

## CDMA

CDMA multiplica la señal de información con un código pseudoaleatorio a una velocidad de transmisión mucho más alta que la original, obteniéndose como resultado una señal con un ancho de banda mayor que la original. [12].

El ensanchamiento de la señal original disminuye la posibilidad de interferencia por agentes externos, porque para otros receptores que no conozcan el código, ésta no va a poder ser demodulada. Además, por las características de la misma, se puede confundir con ruido [3].

Esta técnica es muy utilizada en redes de banda ancha de acceso inalámbrico LOS y NLOS y en sistemas celulares, principalmente.

## OFDMA

Es una técnica de múltiple acceso, que subdivide el ancho de banda disponible en sub-portadoras, a su vez éstas son agrupadas en sub-canales, los cuales son asignados a los usuarios en función de los requerimientos y las condiciones del canal.

“OFDMA es esencialmente un híbrido entre FDMA y TDMA: las subportadoras son dinámicamente asignadas a los usuarios (FDMA) en diferentes *Time Slots* (TDMA)” [11]

### **3.3.3 Técnicas de *duplexing***

Para evitar interferencias entre usuarios a causa de la transmisión de información simultáneamente por el mismo medio se utilizan las técnicas de *duplexing*, las cuales dependen de la naturaleza del espectro disponible y del tráfico que va a ser comunicado. Principalmente existen 2 técnicas: FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time Division Duplexing*) [8].

## FDD

Esta técnica consiste en usar 2 frecuencias distintas para la transmisión y la recepción, en donde las frecuencias disponibles para el enlace de subida y bajada están separadas por una banda de guarda (Fig.12)

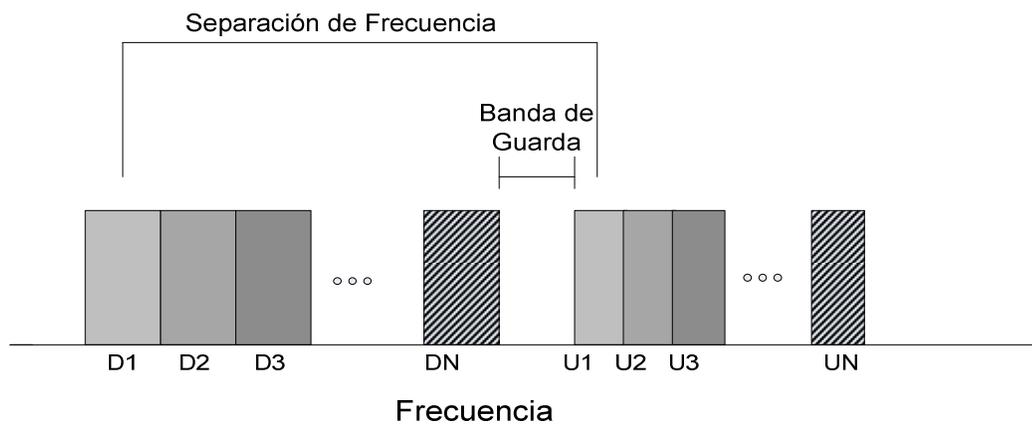


Fig.12.- Distribución de Frecuencias en FDD [8].

Para minimizar los requerimientos de los filtros requeridos en el equipo y por consiguiente el costo de los mismos, se tiene que aumentar la separación entre el *uplink* y *downlink*, razón por la cual se suele utilizar polarizaciones ortogonales entre sí [8].

Este tipo de enlaces es muy frecuentemente utilizado en las redes de Banda Ancha PTP y PMP, pudiéndose obtener un porcentaje de ancho de banda inutilizado por una buena parte del tiempo, especialmente en aplicaciones asimétricas.

Por otra parte, utilizando esta técnica se puede producir interferencia en los casos en los que 2 estaciones bases cercanas se encuentren transmitiendo en la misma frecuencia.

### TDD

Esta técnica consiste en el uso del mismo canal de frecuencia para la transmisión y la recepción, pero en diferentes momentos. Para separar en el tiempo los enlaces de subida y de bajada existe una banda de guarda, que generalmente tiene una duración de 50 a 200  $\mu s$  (Fig.13)

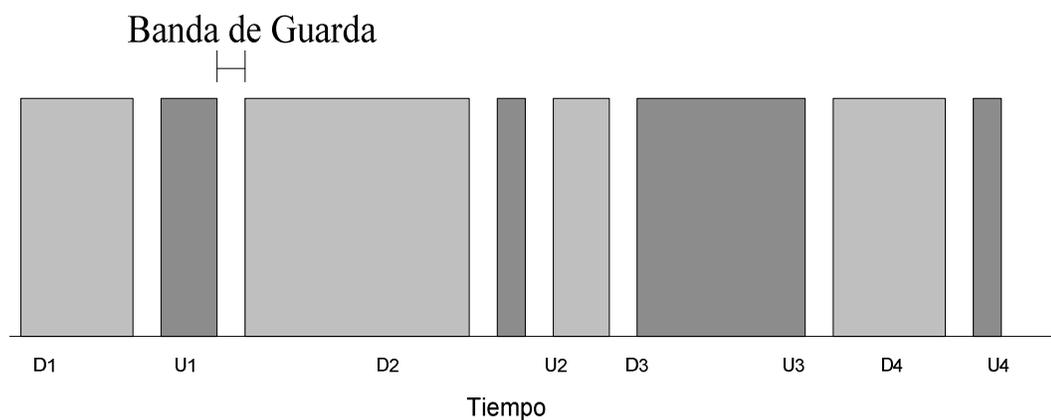


Fig.13.- Distribución en el tiempo [8].

TDD es recomendada para los casos en los que el flujo de tráfico en el enlace de subida y de bajada no sea simétrico, porque permite que la ocupación del canal sea ajustada de acuerdo al tráfico en determinado momento.

Por otra parte esta técnica puede duplicar el número de fuentes de interferencia comparadas con las que se producen en sistemas que utilicen FDD, porque al transmitir y recibir en la misma frecuencia tanto la BS (*Base Station*) como en los CPEs (*Customer Premise Equipment*), puede haber interferencia CPE-CPE, BS-CPE y BS-BS [8].

### **3.3.4 Arquitecturas FBWA**

Se pueden definir 3 tipos de arquitecturas, las cuales representan los posibles escenarios que se pudieran presentar en redes de acceso inalámbrico [3]. Esta división se fundamenta principalmente en la zona de cobertura, la capacidad necesaria, la densidad de clientes y las frecuencias disponibles.

#### Arquitectura celular sectorizada

Está conformada por la división de la zona de cobertura en celdas, los cuales se representarán mediante hexágonos, al igual que en los sistemas celulares. Esta forma de representar los sectores es sólo ilustrativa para definir los límites ideales que debe satisfacer cada sector, porque en realidad, éstos adoptan formas un poco diferentes por la topología del terreno y las construcciones que impiden la LOS [12].

Las celdas están conformadas por sectores, los cuales ofrecen cobertura hacia zonas determinadas, con el objeto de aumentar la capacidad. Para lo cual se utilizan antenas direccionales, en donde la región de cobertura del sector está definida por la amplitud del sector y el alcance. Las amplitudes generalmente disponibles en el mercado para las estaciones base son 90°, 60°, 45°, 30° y en algunos casos 15°.

La estructuración de esta arquitectura depende de la topografía de la zona, la densidad de clientes a cubrir, la frecuencia y canalización disponible y el alcance de la tecnología a utilizar, además de que se puedan obtener los permisos legales para la instalación de una celda en la localidad deseada.

### Arquitectura micro-celular

Esta arquitectura se caracteriza por tener celdas con un alcance de 1.5 Km o menos de radio, generalmente dispuestas con antenas omnidireccionales instaladas en torres de 15m o menos.

Es utilizada generalmente en lugares con alta densidad de clientes y con una topografía y características de la zona que dificulten la instalación en lugares que permitan ofrecer LOS a un mayor alcance. También es aplicable en ambientes MDU (*Multi-Dwelling Units*), como campus universitarios, parques industriales pequeños, zonas residenciales, entre otros [12].

### Extensión de celdas

Es utilizada para proveer servicio en áreas en las que no se puede acceder de otra manera. Su topología es similar a la arquitectura PTP que conecta 2 ciudades, la diferencia está en que en este caso los repetidores son implementados con antenas sectoriales u omnidireccionales, que permiten ofrecer servicio a los clientes ubicados cerca del nodo.

## **3.4 Capa de aplicación**

### **3.4.1 Tipo de usuarios**

Los tipos de usuarios definen el tipo de servicios requeridos, éstos se pueden clasificar de acuerdo a la densidad o a la demanda de capacidad. En el primer caso, se clasifican en rural, sub-urbana, urbana, urbana densa y metropolitana. En el segundo caso, pueden ser usuarios individuales, residenciales, SOHOs (*Small Office Home*

Office), SME (Small and Medium Enterprise), Multi-Dwellings, Centros Empresariales y Grandes Corporaciones [12]..

De acuerdo a estos criterios se pueden ubicar a qué sectores corresponden cada tendencia dentro del mercado de Telecomunicaciones, pudiéndose ubicar lo correspondiente a Banda Ancha inalámbrica en zonas con características media-alta de densidad de usuarios y demanda de capacidad (Fig.14)[5].

En este caso, el criterio de demanda de capacidad brinda mayor información porque en Venezuela existen ciudades como Puerto Ordaz en las que no hay gran densidad de usuarios, pero éstos corresponden a los sectores con más alta demanda de capacidad, pudiéndose interpretar erróneamente los requerimientos en los servicios si se utiliza el criterio de densidad de usuarios.

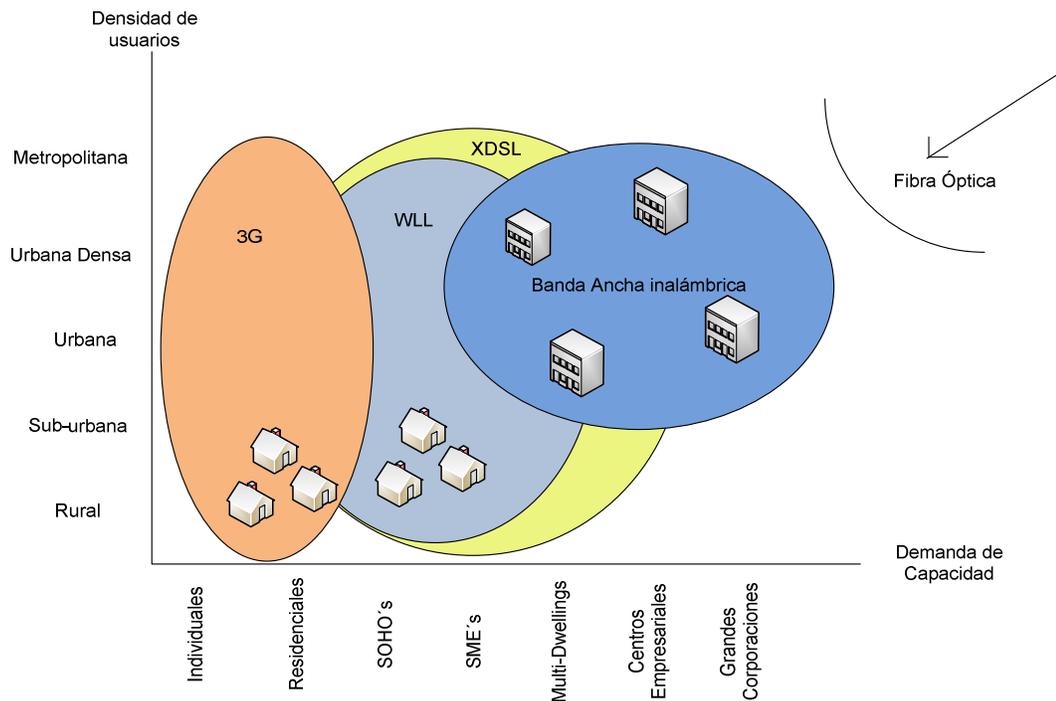


Fig.14.- Mercado de Banda Ancha [4].

Las características que describen a cada tipo de usuarios de acuerdo a la demanda de capacidad se resumen en la Tabla 7

Tabla 7.- Clasificación de los usuarios de acuerdo a la demanda de capacidad [12]

Tipo de Usuarios	Descripción	Características del servicio requerido
Individuales, Residenciales, Multi-Dwellings	Usuarios residenciales que ocupan desde residencias unifamiliares hasta edificios o conjuntos residenciales,	Servicios de telefonía e Internet. Típicamente las interfaces requeridas por este tipo de usuarios son interfaces RJ-11 para teléfonos analógicos y un switch que permita forma redes locales.
SOHO (Small Office - Home Office)	usuarios que tienen una pequeña empresa en su casa	Requieren velocidades de acceso similares a las de pequeñas empresas. Generalmente demandan servicios telefónicos y de Internet, para lo cual necesita interfaces RJ-11 para los teléfonos analógicos y switches para formar una red local.
SME (Small Medium Enterprise)	Usuarios corporativos con al menos 10 empleados	Generalmente requieren velocidades de transmisión superiores a las de MTUs comerciales. Los servicios ofrecidos a este tipo de usuarios deben garantizar seguridad
Centros Empresariales y Grandes Corporaciones	Usuarios corporativos	VPNs seguras, velocidades de transmisión más altas que las requeridas por usuarios residenciales.

### 3.4.2 Tipo de servicios

Los servicios utilizados definen el tipo de tráfico y las capacidades mínimas requeridas, además éstos están estrechamente vinculados con los usuarios. En términos generales, la mayoría del tráfico de datos está relacionado con el uso de Internet y, en el caso de los usuarios corporativos, con el tráfico de datos que permite la comunicación de varias sucursales dentro de una empresa. Las aplicaciones más utilizadas se listan en la Tabla 8.

Tabla 8.- Características de los servicios más utilizados en usuarios corporativos [8].

Aplicación	Tipo de Servicio	Tipo de tráfico
E-mail	No Tiempo Real	Simétrico
Navegación-Web	Tiempo real	Asimétrico
FTP	Tiempo real	Simétrico
Conexión WAN	Tiempo real	Simétrico
Videoconferencia	Tiempo real	Asimétrico

### 3.5 Diseño FBWA

#### 3.5.1 Planificación de Cobertura

El diseño de redes de acceso inalámbrico utiliza una técnica conocida como sectorización, mediante la cual se divide la zona de cobertura total en celdas, y a su vez estas se dividen en sectores, de forma similar al diseño de sistemas celulares.

La sectorización permite aumentar la capacidad disponible en la red, definiéndose el número de sectores de acuerdo a los requerimientos a satisfacer, tomando en cuenta las limitantes de la tecnología y el número de canales disponibles.

La configuración de estos sectores debe garantizar que no se produzca interferencia entre sectores adyacentes. Una de las configuraciones típicas cuando se dispone de 2 canales de frecuencia se puede observar en la Fig.15 [13]

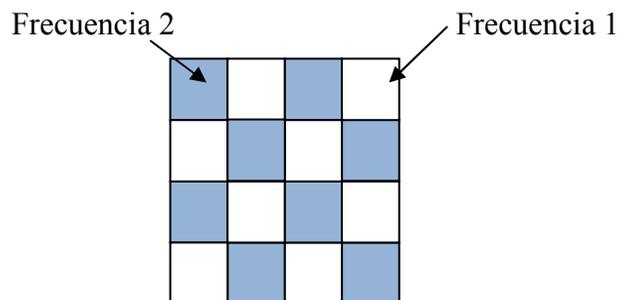


Fig.15.- Configuración de sectores utilizando 2 canales de frecuencia [13]

### 3.5.2 Herramientas computacionales

Existen herramientas computacionales que facilitan el diseño de este tipo de redes, simulando la cobertura y los parámetros del enlace, obteniéndose así una aproximación de la situación real de una forma más rápida que la tradicional.

Dentro de las herramientas disponibles en el mercado la única que es *software* libre es Radio Mobile. Este paquete computacional ofrece una gran gama de aplicaciones, entre ellas se pueden destacar la cobertura topográfica, el nivel de señal recibida, la relación  $S_{D-I}$ , entre otros. Para ello, se requieren mapas de elevación del terreno.

En general, para el diseño de redes en ciudades con gran cantidad de edificios y estructuras, esta herramienta presenta limitaciones, porque sólo se analizan los posibles obstáculos que se puedan presentar a causa del relieve topográfico. En estos casos es de mucha utilidad la aplicación otras herramientas que brinden información de los edificios de la zona.

Para determinar los obstáculos debido a los edificios y estructuras, existen 2 tipos de bases de datos, vectoriales y *canopy*. En las primeras, las paredes, techos y altura de las estructuras se representan por la latitud, longitud y altura. En la base de datos Canopy se representan los edificios y otras estructuras en una cuadrícula de puntos de elevación de alta resolución, de forma muy parecida a los mapas topográficos utilizados por Radio Mobile [8].

Con la información contenida en estas bases de datos se puede obtener una situación bastante aproximada a la realidad. Adicionalmente, puede utilizarse software especializado para simular las características del enlace y obtener los niveles de señal tomando en cuenta la ganancia de la antena, la ubicación de obstáculos, altura de la antena, potencia de transmisión, condiciones atmosféricas, entre otros factores. Para ello, es necesario adquirir licencias

### 3.5.3 Estudio de Interferencia

En las redes de acceso inalámbrico fijo se puede presentar interferencia, lo cual afecta la calidad de la señal recibida, pudiendo en algunos casos interrumpir el servicio ofrecido. Este fenómeno puede ser: canal adyacente, co-canal o polarización cruzada.

La inmunidad del sistema a la interferencia por canal adyacente es generalmente definida por el nivel de señal máximo que puede ser tolerada en el canal adyacente, sin que esto afecte el BER [13]. Para ello, se calcula la relación C/I, la cual debe tener un valor típico de 10 a 12 dB, para un BER= $10^{-6}$

La interferencia co-canal es la que se puede producir por otras antenas transmitiendo en el mismo canal de frecuencia. Se mide calculando la relación C/I, la cual tiene un valor típico de alrededor de 13 dB (para BER= $10^{-6}$ ) [13]

Finalmente, la interferencia producida por polarización cruzada se debe a que “una parte de la energía transmitida con un estado de polarización se transfiere a la otra polarización (transpolarización, ITU-R I.722)” [14]. Este parámetro también se define en términos de C/I, el cual debe tener un valor típico de 25 dB para un BER= $10^{-6}$

### 3.6 Red de Global Crossing

El *Backbone* de la red de Global Crossing está conformado por *switching*, fibra óptica y la red troncal de radios, que permiten la comunicación entre los nodos de Caracas y de éstos con los del interior, permitiendo así ofrecer servicios de voz, datos y video en Venezuela y conectarse con la red internacional.

La red de acceso está conformada por enlaces de radio (PTP y PMP) y satelitales. En este caso, se describe únicamente la red de acceso de radios por ser esta el área de interés del presente trabajo.

La red de acceso de radios PMP está conformada por 4 nodos, a los que se hará referencia como A, B, C y D. De los cuales 2 se conectan con el *Backbone* mediante la red de Fibra Óptica y los otros 2 se conectan a través de enlaces troncales. Todo este tráfico llega hasta el Nodo G, desde el cual se conmutan los servicios requeridos.

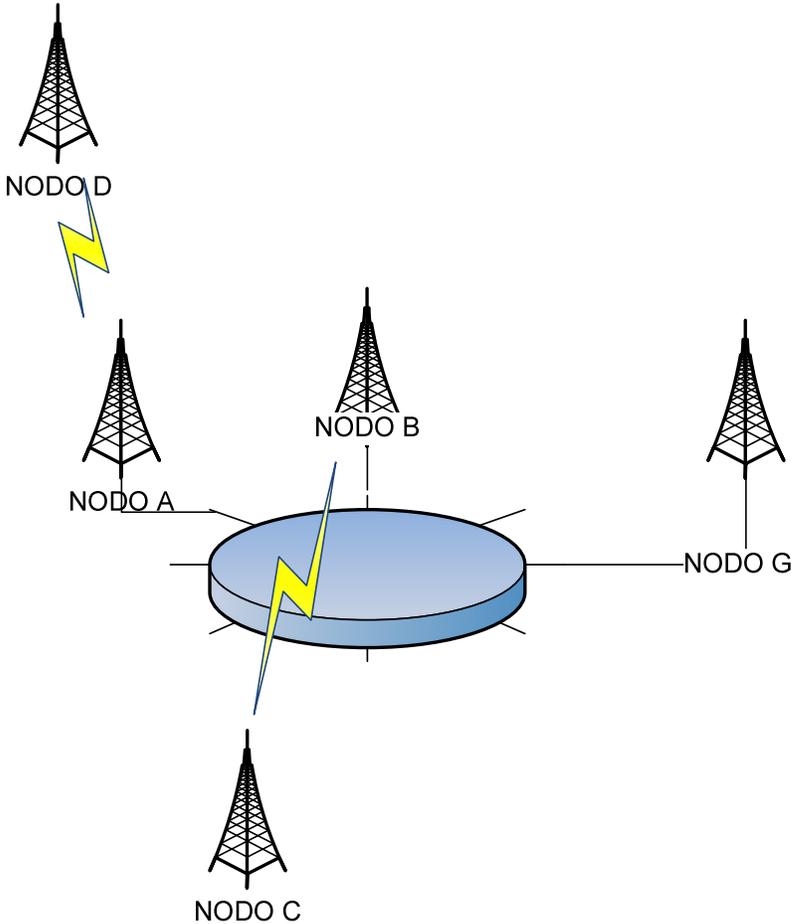


Fig.16.- Estructura de la red actual PMP de Global Crossing

## Capítulo IV.- Resultados y Análisis

El diseño de la propuesta de solución de acceso *wireless* de la red IP/MPLS de Global Crossing se divide en 4 fases: investigación bibliográfica, evaluación de la estructura de la red, diseño de la propuesta y recomendaciones para la implementación.

Como se ha podido observar, mediante la investigación bibliográfica se elaboró la fundamentación teórica de la propuesta, la cual recoge los aspectos fundamentales de las redes de acceso inalámbrico.

En la evaluación de la estructura de la red actual, se determinaron los requerimientos de la red y las limitantes que presenta para el crecimiento en cuanto a capacidad y cobertura a corto, mediano y largo plazo.

En la tercera fase se realizó el diseño de la propuesta, para lo cual se definieron las pautas para un diseño escalable, en base a las cuales se evaluaron las tecnologías existentes en el mercado y se seleccionaron los equipos necesarios, desde el punto de vista de acceso. En función a las características de la tecnología escogida se plantearon varias opciones para el diseño de la nueva estructura de red, las cuales posteriormente se compararon y, finalmente, se seleccionó la propuesta que satisface mejor los requerimientos a corto, mediano y largo plazo, definidos anteriormente.

En base a la propuesta seleccionada, se elaboró un instrumento que recoge las recomendaciones para la implementación de la misma. Este material, pretende describir la sectorización y canalización utilizada, la evaluación de recursos necesarios, el estudio de cobertura y de interferencia, así como la programación recomendada para su implementación.

## **4.1 Limitantes de la red actual**

La identificación de las limitantes de la red actual permitió definir los requerimientos que deben ser satisfechos por el diseño planteado. Para lo cual, se determinó la situación actual de la red en términos de capacidad y cobertura, los canales disponibles, la ubicación de los obstáculos tentativos, las limitantes de la tecnología utilizada actualmente y, finalmente, el crecimiento que ha presentado la red de radios de la empresa en los últimos años.

### **4.1.1 Evaluación de los requerimientos actuales**

La evaluación de los requerimientos actuales permite definir las prestaciones mínimas que debe satisfacer la red a diseñar. Para ello se actualizó la información de clientes PTP y PMP operativos, específicamente lo referente a la ubicación y capacidad contratada por los mismos.

Para ello, se tuvo acceso al sistema de monitoreo de la red PMP, mediante el cual se obtuvo los clientes operativos en cada sector de los nodos actuales y la capacidad contratada por cada uno de ellos. En el caso de la red PTP no fue necesario acceder a los sistemas de monitoreo, porque en la empresa se contaba con un listado actualizado con dicha información.

En base a esta información, se consultó la documentación de la dirección de los clientes, lo que permitió posteriormente la ubicación de los mismos, mediante la utilización de un programa llamado MapInfo, el cual permite visualizar los mapas viales de las principales ciudades donde Global Crossing opera, ofreciendo el nombre de algunas calles y edificios importantes. Esta herramienta permitió determinar las coordenadas geográficas de cada uno de los clientes, lo cual facilitó el diseño de la propuesta, permitiendo una visualización de la distribución de los clientes y por consiguiente la identificación de las zonas críticas a cubrir, en términos de capacidad y número de clientes.

## Requerimientos de capacidad

Tabla 9.- Capacidad contratada actualmente por Estado en Venezuela

<b>Ciudad</b>	<b>BW<sub>PMP</sub> (Kbps)</b>	<b>BW<sub>PTP</sub> (Kbps)</b>	<b>BW<sub>Total General</sub> (Kbps)</b>
Anzoategui	4096		4096
Aragua	1664	94208	95872
Bolivar	4160		4160
Carabobo	49600	65792	115392
Caracas	277682	221184	498866
Lara	26356	22528	48884
Miranda	15616	8192	23808
Zulia	28992	24576	53568
<b>Total General</b>	<b>408166</b>	<b>436480</b>	<b>844646</b>

En base a la información obtenida de los clientes de radio PTP y PMP operativos, se determinó la capacidad contratada actualmente en cada uno de los estados de Venezuela (Tabla 9). Obteniendo, como era de esperarse, que Caracas es la ciudad que requiere mayor capacidad, representando un 59% de la total del país y, por lo tanto, es la que requiere una pronta evaluación para garantizar que el crecimiento de la empresa no se vea afectado por la capacidad de acceso de la red.

Para identificar las zonas de Caracas que requieren mayor ancho de banda se realizó un mapa de densidad de capacidad. Para lo cual, se dividió la superficie de Caracas por  $\text{km}^2$  tomando como punto de referencia las coordenadas  $10,4601^\circ$  Latitud Norte y  $66,9148^\circ$  Longitud Oeste, lo que corresponde a la esquina inferior izquierda del plano de Caracas utilizado.

En base al punto de referencia y a la información de las coordenadas de los clientes de radio PMP y PTP actualmente operativos, se determinó el  $\text{BW}/\text{km}^2$ , para lo cual utilizó la herramienta VBA de Excel con el fin de sistematizar estos cálculos,

el código utilizado se muestra en el Anexo 1 y la tabla con los resultados obtenidos se muestra en el Anexo2.

El área de interés utilizada para el cálculo de densidad de capacidad corresponde con la superficie de Caracas desde El Centro hasta Terrazas del Ávila, en vista de que por una inspección previa de la distribución de clientes en MapInfo se observó que más allá de los límites definidos los clientes son escasos y dispersos, por consiguiente no ameritan ser involucrados en el estudio de la red PMP. Por consiguiente, a dichos clientes es preferible ofrecer los servicios a través de la red PTP.

Los resultados obtenidos permitieron graficar el mapa de densidad de capacidad, mostrado en la Fig. 17

## DENSIDAD DE CAPACIDAD

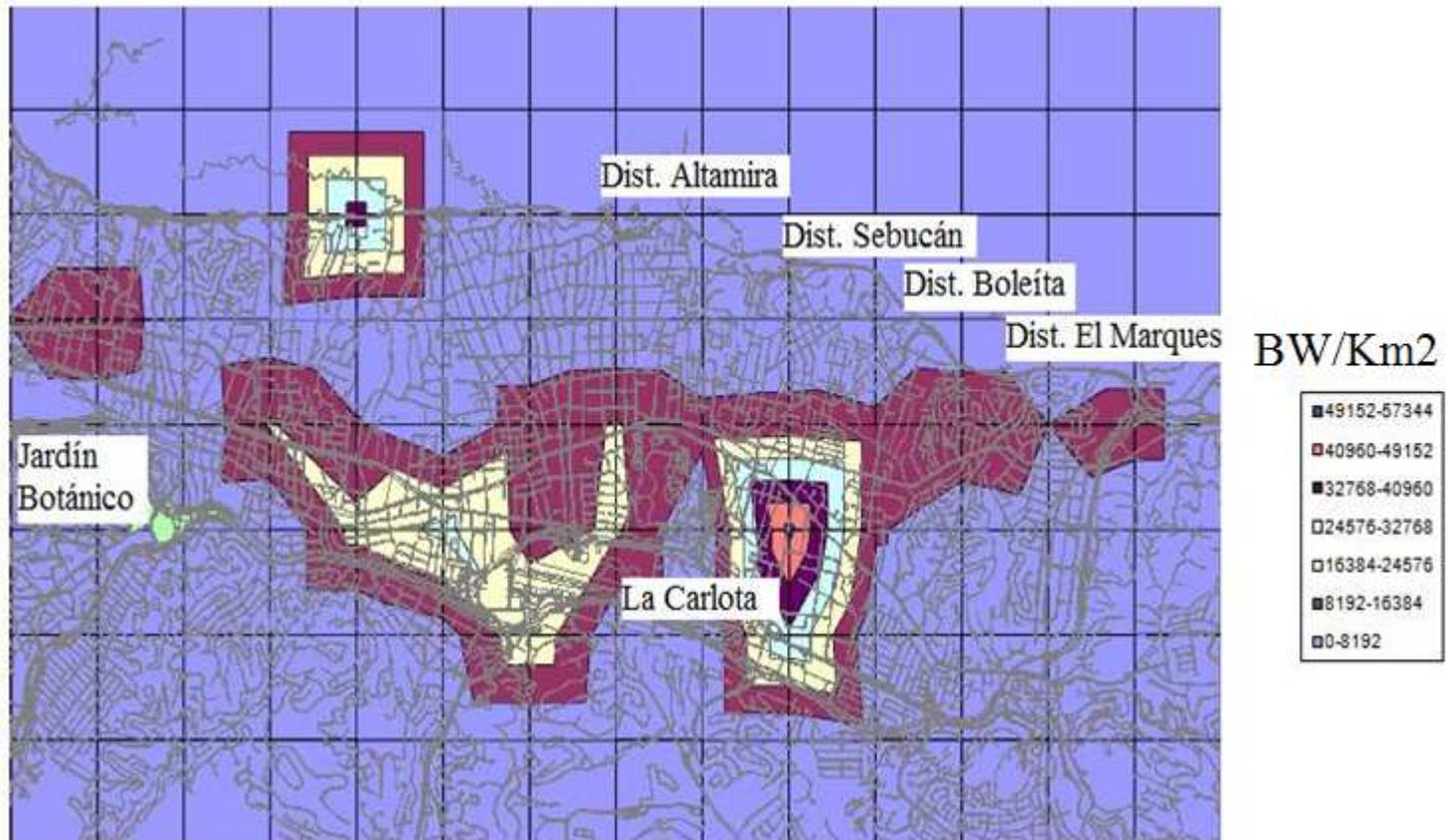


Fig. 17.- Mapa de densidad de capacidad de clientes en Caracas

### Requerimientos de cobertura

En base a la información actualizada de los clientes de radio actualmente operativos, se obtuvo el número total de CPEs (*Customer Premise Equipment*) en cada estado (Tabla 10), obteniéndose que la ciudad con mayor cantidad de clientes es Caracas, representando un 57.6% del total en Venezuela.

Tabla 10.- Cantidad de CPEs operativos actualmente por Estado en Venezuela

<b>Ciudad</b>	<b>N° CPE<sub>PMP</sub></b>	<b>N° CPE<sub>PTP</sub></b>	<b>N° CPEs Total General</b>
Anzoategui	8		8
Aragua	5	24	29
Bolivar	9		9
Carabobo	54	19	73
Caracas	247	38	285
Lara	22	6	28
Miranda	15	2	17
Zulia	35	7	42
<b>Total General</b>	<b>385</b>	<b>101</b>	<b>486</b>

Para determinar las zonas de Caracas con mayor demanda de usuarios, se realizó un mapa de densidad de clientes en Caracas para lo cual, al igual que en el caso anterior, se dividió el plano en sectores de 1 km<sup>2</sup> y se tomaron como punto de referencia las coordenadas de la esquina inferior izquierda 10,4601° Latitud Norte y 66,9168° Longitud Oeste, lo que corresponde a la esquina inferior izquierda del plano de Caracas utilizado.

En base al punto de referencia y a la información de las coordenadas de los clientes de radio PMP y PTP actualmente operativos, se calculó el N° CPEs/km<sup>2</sup>, para lo cual se utilizó la herramienta VBA de Excel con el fin de sistematizar estos cálculos, el código utilizado se muestra en el Anexo 3 y los resultados obtenidos en el Anexo4.

El área de interés, al igual que en el caso anterior, corresponde con la superficie de Caracas desde El Centro hasta Terrazas del Ávila, en vista de que constituye las zonas de interés de la ciudad. Los clientes más allá de estos límites, serán cubiertos por enlaces PTP.

El mapa de densidad de clientes confirma que las zonas con mayor demanda a cubrir en Caracas son Las Mercedes, El Rosal, Los Ruices, Boleita, La Castellana y Terrazas del Ávila.

# DENSIDAD DE CLIENTES

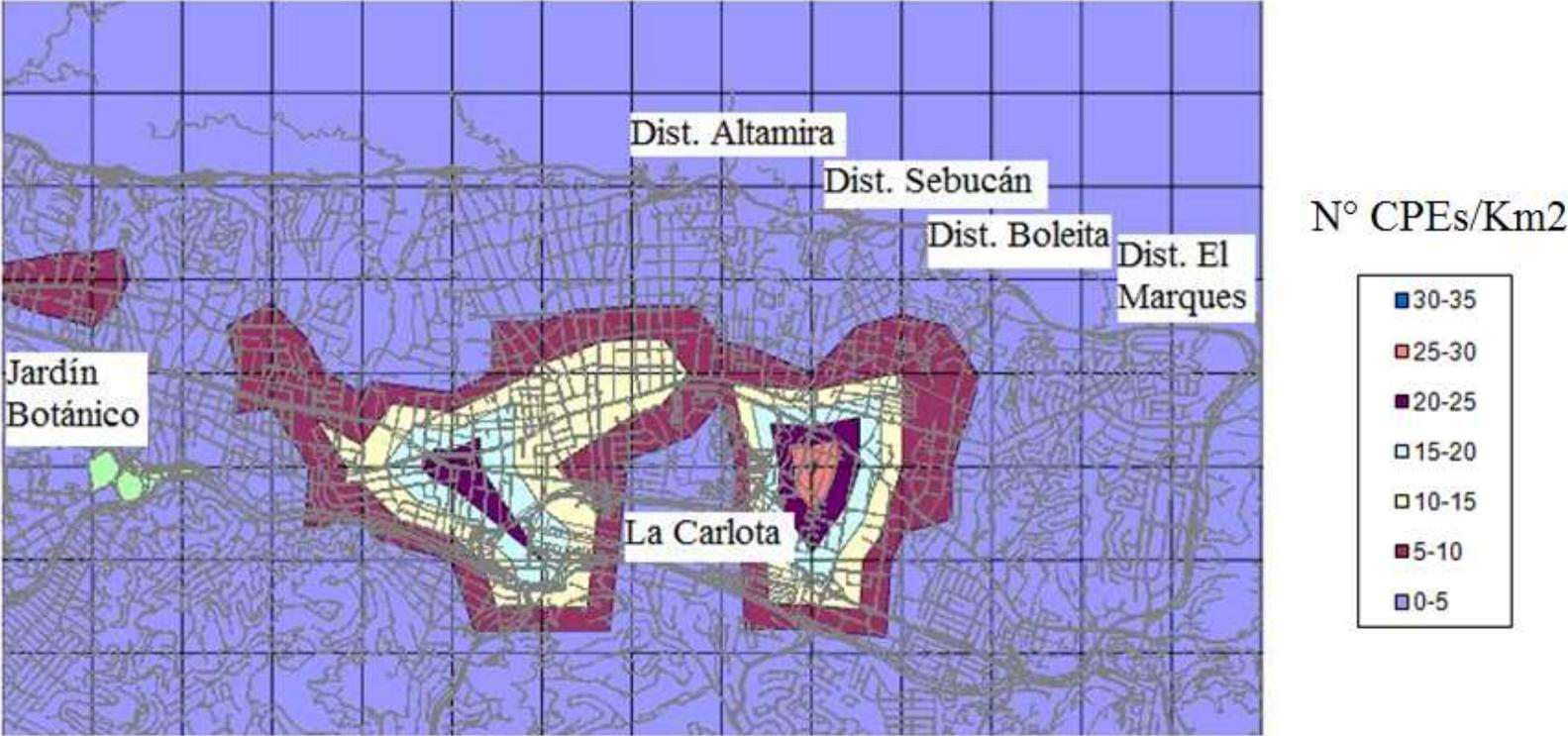


Fig. 18.- Mapa de densidad de clientes en Caracas

#### 4.1.2 Especificaciones técnicas de la tecnología utilizada

La comparación de las características que soporta la tecnología utilizada actualmente con los requerimientos de la red, permite definir las limitantes en la sectorización que se pudiera utilizar para soportar el crecimiento de la red y, por consiguiente, permite definir los requerimientos a satisfacer en el diseño planteado.

Las especificaciones técnicas de la tecnología utilizada se obtuvieron mediante la consulta de los manuales. Destacándose principalmente el rango del azimuth, el BW/sector, el alcance, la polaridad y el número de CPEs/sector, teniendo en cuenta en este último factor que el promedio de capacidad contratado actualmente en Caracas en la red PMP de Global Crossing es de 1Mbps. Estas características se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11.- Especificaciones técnicas de la tecnología utilizada actualmente.

<b>Rango del azimuth (°)</b>	<b>BW/Sector (Mbps)</b>	<b>N° CPEs /Sector</b>	<b>Alcance (km)</b>	<b>Polaridad</b>
15	34	34	8	Vertical/ Horizontal
45				
90				

En este sentido, también es importante tener en cuenta que en Caracas la red PMP está conformada por 4 nodos operativos ubicados en Plaza Venezuela (Nodo A), La Castellana (Nodo B), Valle Arriba (Nodo C) y a la altura de Maripérez (Nodo D). Estos nodos forman un total de 8 sectores con una capacidad total de 272 Mbps. Si se compara, esta capacidad con la contratada actualmente (271,18Mbps) se puede concluir que se está al límite de la de la capacidad disponible.

### 4.1.3 Canales disponibles

La capacidad de la red puede estar limitada por los canales disponibles actualmente en la empresa porque estos, junto con las especificaciones técnicas de la tecnología utilizada, definen el número de sectores máximos que pueden coexistir en una celda sin que se produzca interferencia. En el caso de Global Crossing se dispone de 2 canales en la banda de 10.5 GHz,

### 4.1.4 Ubicación de los obstáculos

Otro de los factores a considerar es la ubicación de los obstáculos, especialmente por las características topográficas de Caracas y la existencia de gran cantidad de edificios y estructuras.

Para determinar los obstáculos debido a las características topográficas del Terreno se utilizó el programa Radio Mobile, en el cual con la ubicación geográfica del punto de interés se puede determinar la cobertura visual ofrecida desde el mismo, tomando en cuenta la altura de la BS, de la TS, el alcance, el rango del azimuth y el rango del ángulo de elevación.

En este caso se utilizaron fotos panorámicas desde los nodos actuales, las cuales permitieron ubicar los edificios emblemáticos que obstaculizan la LOS ofrecida desde dichas localidades. Para la simulación de cobertura visual de la red se introdujeron en Radio Mobile los siguientes valores:

$$H_{NODO A} = 60 \text{ m}$$

$$H_{NODO B} = 60 \text{ m}$$

$$H_{NODO C} = 20 \text{ m}$$

$$H_{NODO D} = 20 \text{ m}$$

$$H_{NODO E} = 20 \text{ m}$$

$$\text{alcance} = 0,1 \rightarrow 4 \text{ km}$$

$$H_{CPE} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Rango}_{elev} = -90^\circ \rightarrow 90^\circ$$

$$\text{Rango}_{azimuth} = 0^\circ \rightarrow 360^\circ$$

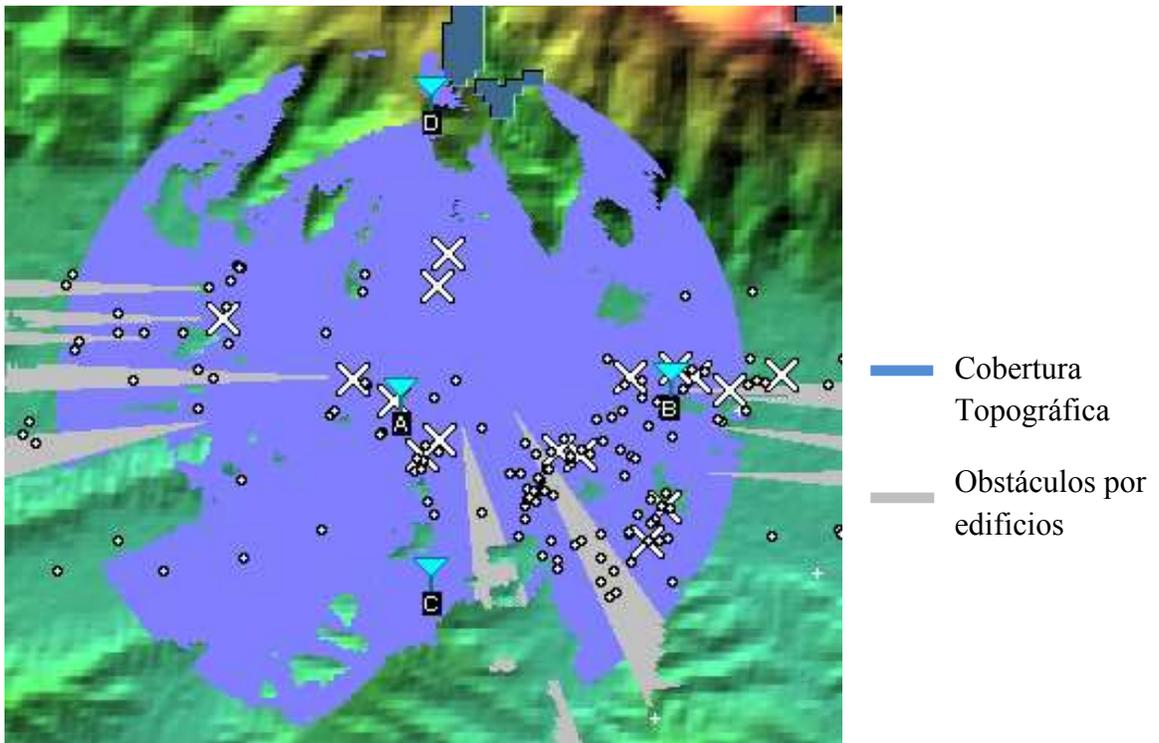


Fig.19.- Obstáculos en la LOS desde el Nodo A

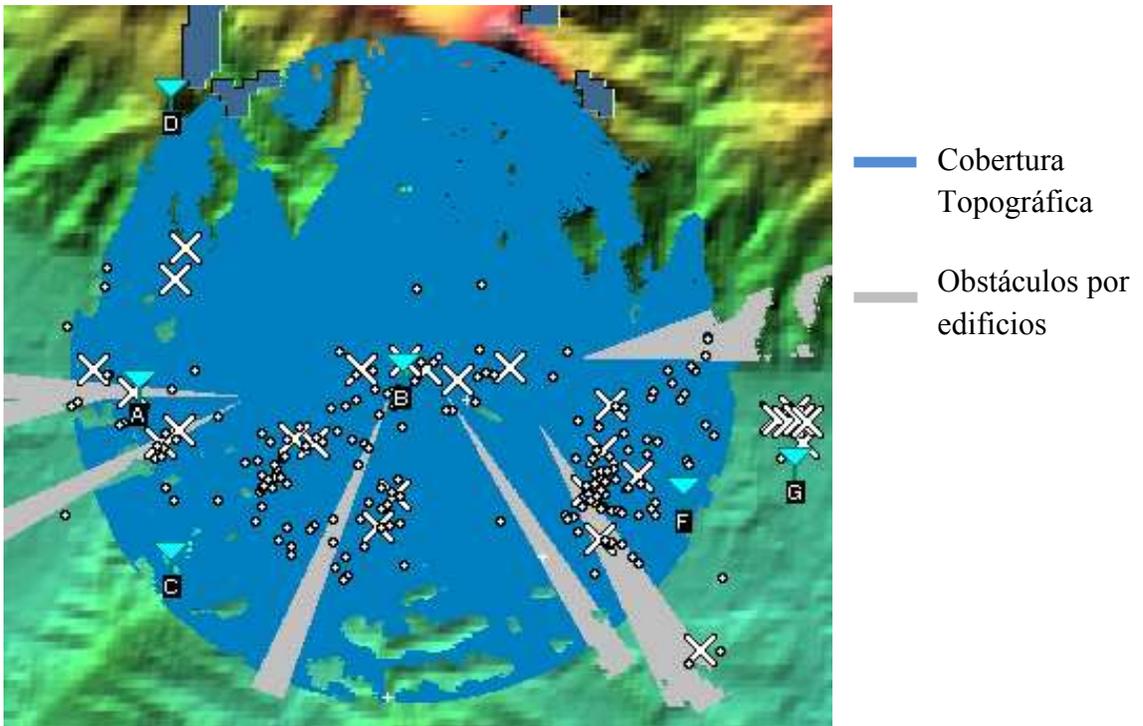


Fig. 20.- Obstáculos en la LOS desde el Nodo B

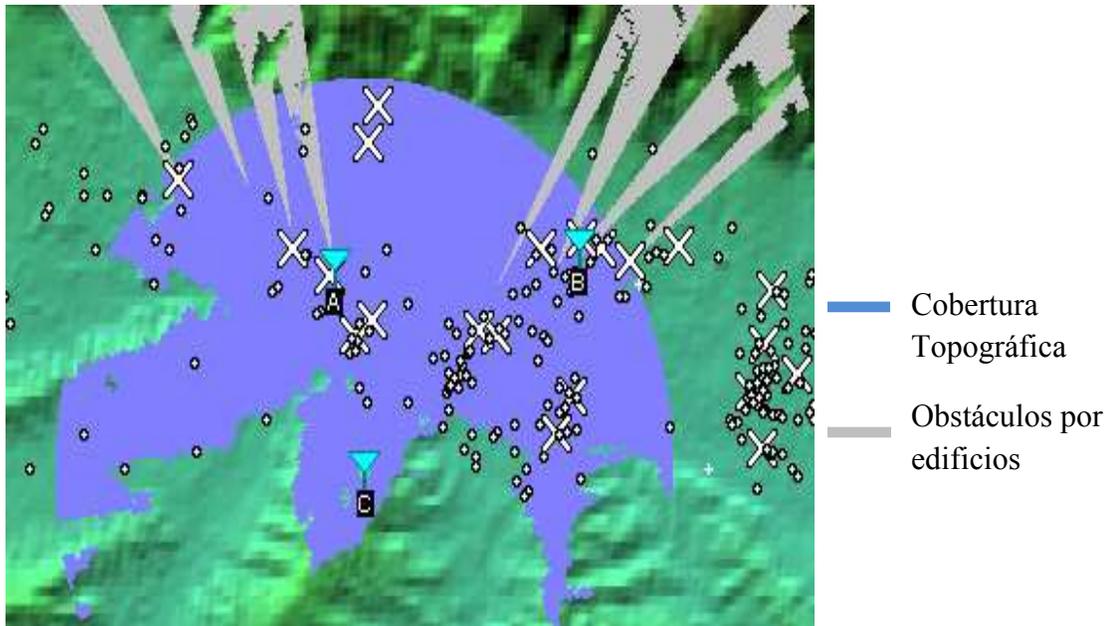


Fig.21.- Obstáculos en la LOS desde el Nodo C

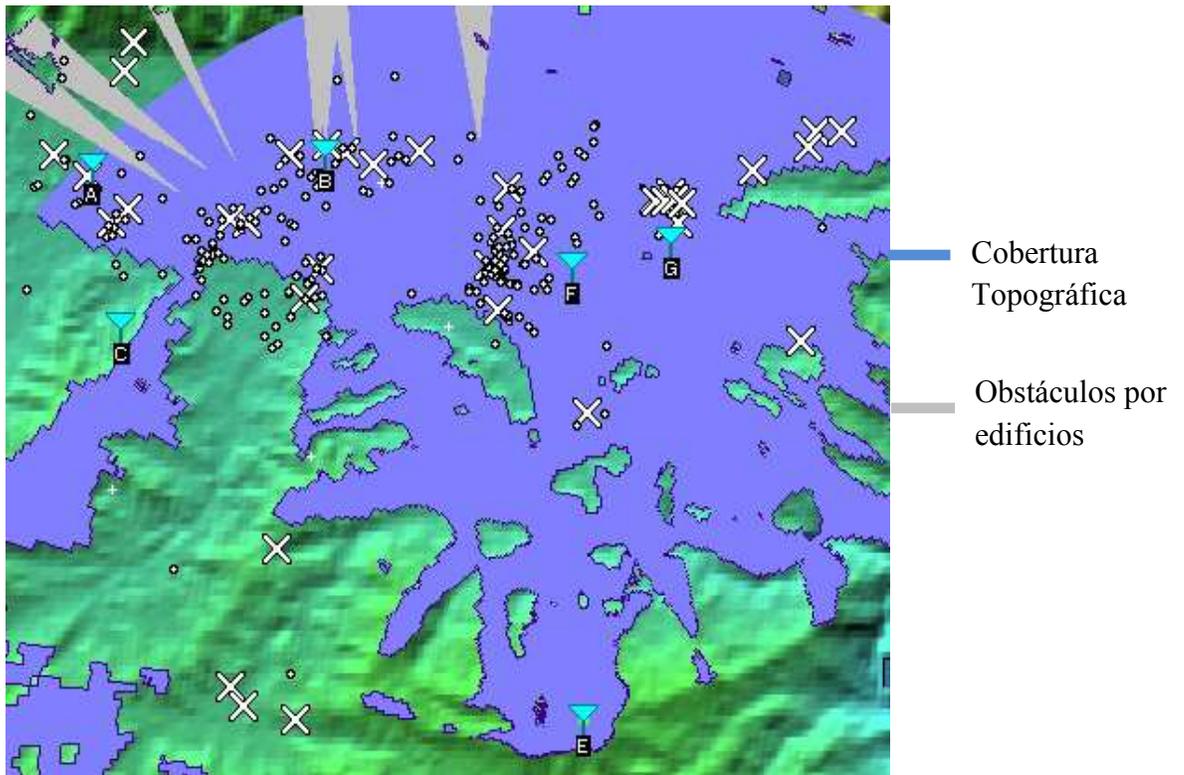


Fig.22.- Obstáculos en la LOS desde el Nodo E

#### 4.1.5 Crecimiento

El crecimiento se determinó en base a las cifras de los informes anuales del número de clientes totales, obteniendo así el porcentaje promedio, el cual determina el aumento estimado en el ancho de banda y el número de clientes en los próximos años. Para determinar este factor se utilizaron la Tabla 12, que muestra el porcentaje de crecimiento en los últimos años y el Gráfico 1, el cual indica la variación en el N° CPEs en los últimos años.

Tabla 12.- Crecimiento porcentual de la red de radios de Global Crossing

Período	Crecimiento porcentual
2002 - 2003	8%
2003 - 2004	3%
2004 - 2005	12,14%
2005 - 2006	22,35%
2006 - 2007	19%

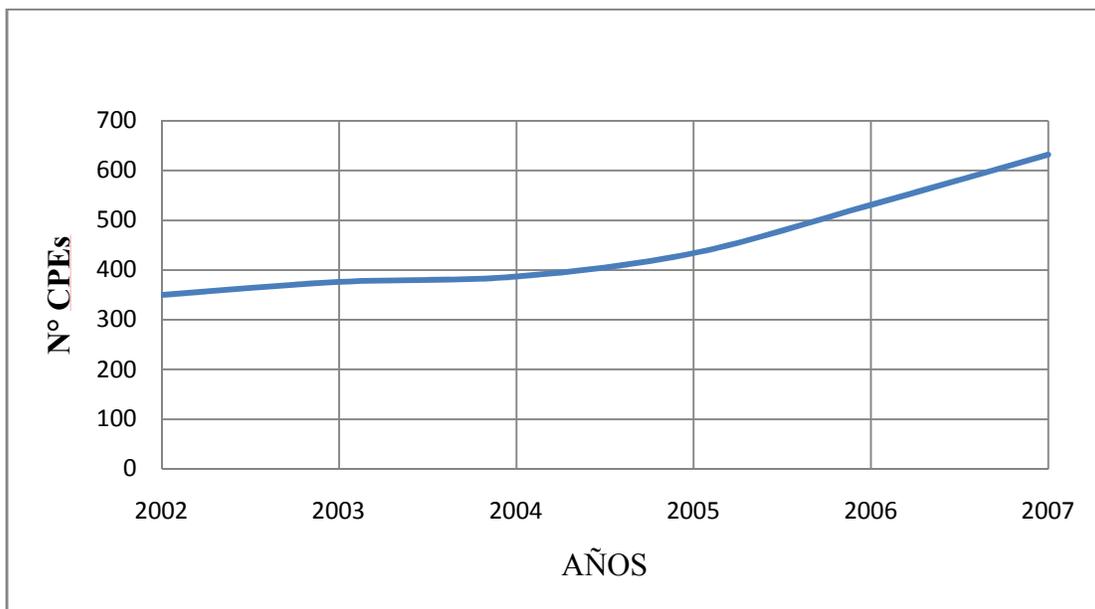


Gráfico 1.- Crecimiento del número de radios de Global Crossing

La Tabla 12 y el Gráfico 1 indican que la red de radios de Global Crossing experimentó el mayor crecimiento en los últimos 2 años, por consiguiente se utilizó como referencia el promedio de estos últimos 2 años, el cual corresponde con 20,5%

Estos datos permitieron dimensionar los requerimientos que debe cumplir la red para garantizar su escalabilidad. Este resultado permitió determinar los requerimientos a futuro, lo que establece el límite hasta el cual la plataforma instalada actualmente será capaz de satisfacer el crecimiento de la red.

#### 4.2 Requerimientos a largo plazo

El diseño de una red debe contemplar la escalabilidad, permitiendo así soportar su crecimiento sin afectar el funcionamiento de la misma. Para ello es fundamental tener en consideración los requerimientos a corto, mediano y largo plazo, en términos de capacidad y cobertura.

Para determinar los requerimientos de capacidad a corto, mediano y largo plazo se definió, en primer lugar, el tiempo correspondiente a dichos plazos de acuerdo a la dinámica de la empresa. Seleccionando un período de 1 año para corto plazo, 3 años para mediano plazo y 5 años para largo plazo.

Posteriormente se determinó la capacidad total requerida a corto, mediano y largo plazo teniendo en cuenta la capacidad contratada actualmente, los períodos correspondiente a cada uno de los plazos establecidos y al crecimiento promedio establecido anteriormente de 20,5 % , para lo cual se utilizaron las siguientes formulas:

$$BW_{corto\ plazo} = BW_{2009} = BW_{actual} \cdot (1,205) \quad (2)$$

$$BW_{2010} = BW_{2009} \cdot (1,205) \quad (3)$$

$$BW_{mediano\ plazo} = BW_{2011} = BW_{2010} \cdot (1,205) \quad (4)$$

$$BW_{2012} = BW_{2011} \cdot (1,205) \quad (5)$$

$$BW_{largo\ plazo} = BW_{2013} = BW_{2012} \cdot (1,205) \quad (6)$$

De igual forma, se determinaron el número de CPEs requeridos a corto, mediano y largo plazo, utilizando las siguientes fórmulas

$$CPE_{\text{corto plazo}} = CPE_{2009} = CPE_{\text{actual}} \cdot (1,205) \quad (7)$$

$$CPE_{2010} = CPE_{2009} \cdot (1,205) \quad (8)$$

$$CPE_{\text{mediano plazo}} = CPE_{2011} = CPE_{2010} \cdot (1,205) \quad (9)$$

$$CPE_{2012} = CPE_{2011} \cdot (1,205) \quad (10)$$

$$CPE_{\text{largo plazo}} = CPE_{2013} = CPE_{2012} \cdot (1,205) \quad (11)$$

Cabe destacar que en estos cálculos se utilizó la zona delimitada en el cálculo de los mapas de densidad, lo cual representan las zonas críticas, despreciando aquellos enlaces ubicados en la periferia de esta región, los cuales corresponden principalmente a enlaces PTP.

Los resultados obtenidos de los requerimientos de capacidad y número de CPEs a corto, mediano y largo plazo se resumen en la Tabla 13

Tabla 13.- Requerimientos totales de capacidad y número de clientes a corto, mediano y largo plazo

	<b>Capacidad</b>	<b>Nº clientes</b>
<b>Corto Plazo (1 año)</b>	526,585 Mbps	341
<b>Mediano Plazo (3 años)</b>	764,62 Mbps	493
<b>Largo Plazo (5 años)</b>	1024,78 Mbps	713

Otro factor a tomar en consideración es la ubicación de las zonas que actualmente presentan una mayor densidad de clientes y aquellas en las que se localicen clientes potenciales. Para ello, se utilizaron las Fig 17 y 18 y el previo conocimiento de las zonas en las que se encuentren localizadas corporaciones, pequeñas y medianas empresas. Obteniendo que las zonas a las que se debe prestar mayor atención son: El Rosal, Los Palos Grandes, Altamira, La Castellana, La Urbina, Boleita, Los Ruices, Las Mercedes, La California y Chuao.

#### 4.3 Pautas para un diseño escalable

Los resultados de la evaluación de las limitantes de la red y el conocimiento obtenido de la investigación teórica realizada, permiten establecer los siguientes criterios como pautas que garanticen obtener un diseño escalable:

- ✓ Seleccionar, dentro de la gama disponible, interfaces que permitan ofrecer los servicios existentes a la misma o mayor velocidad de acceso.
- ✓ Elegir la tecnología que soporte el crecimiento a corto, mediano y largo plazo y que permita la inversión escalonada.
- ✓ Utilizar una sectorización que soporte el crecimiento de la red, sin causar interferencia con los sectores operativos actualmente.

#### **4.4 Evaluación de las tecnologías**

Para determinar cuál de los productos existentes en el mercado brinda las prestaciones que mejor se adaptan a los requerimientos de la red y que garantizan una solución escalable, se realizó un estudio comparativo de las soluciones de acceso PMP que operan en la banda de 10.5GHz, por ser ésta la banda licenciada por CONATEL a Global Crossing.

La selección de estos equipos dentro de la gama de productos existente en el mercado se realizó en función de los siguientes criterios:

1. Equipos que ofrecen soluciones de acceso PMP en la banda de 10.5 GHz
2. Productos mencionados en artículos, en donde se haga referencia a su implementación en los últimos 5 años, de forma tal de garantizar la vigencia del mismo.

Para el estudio comparativo de las tecnologías seleccionadas se definieron la densidad de clientes y de capacidad, el ancho de banda máximo por sector, las interfaces disponibles y los costos como las variables que permitieron determinar cuál es el producto cuyas prestaciones se ajustan mejor a los requerimientos de la red.

##### **4.4.1 Densidad de clientes**

Para determinar cuál de las tecnologías estudiadas se ajusta mejor a las exigencias requeridas se determinó la densidad de clientes soportada por cada tecnología. Para lo cual, se tomó en consideración el concepto básico de densidad de población y se aplicó al caso de estudio en particular.

La densidad de población se puede definir como: “Número de individuos de la misma especie que viven por unidad de superficie” [15]. Como en este caso el segmento de interés de la población son los usuarios de los servicios de Global Crossing, se puede definir la densidad de clientes como:

$$densidad_{clientes} = \frac{N^{\circ} \text{ clientes}}{Area} \quad (12)$$

El área ocupada por los clientes es una porción de circunferencia definida por el rango de azimuth de la antena de la BS, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$Area = \frac{\pi \cdot \alpha(^{\circ}) \cdot r^2}{360^{\circ}} \quad (13)$$

Donde,

r : alcance (km)

$\alpha$  : amplitud del sector ( $^{\circ}$ )

Por consiguiente, densidad de clientes se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$d = \frac{N^{\circ} \text{ clientes}}{\frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha}{360}} \quad (14)$$

El número de clientes fue calculado suponiendo que todos tenían un ancho de banda contratado de 256 kbps, lo cual está por debajo del promedio actual de clientes PMP (1 Mbps, aproximadamente). De este modo se toma en cuenta el peor caso, el cual corresponde con la mayor densidad de clientes.

Las características de cada una de las tecnologías estudiadas, así como los cálculos correspondientes a la densidad de clientes en cada uno de los casos se resumen en la Tabla 14.

Como las tecnologías estudiadas ofrecen distinto alcance y tipo de sectores, se estableció como patrón de referencia un alcance de 8 km y una amplitud de 90°.

Tabla 14.- Densidad de clientes soportado por las tecnologías estudiadas.

<b>Tecnología</b>	<b>Amplitud Sector (°)</b>	<b>Alcance (km)</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>N° CPEs</b>	<b>Densidad (CPEs/km<sup>2</sup>)</b>
Walkair 1000	90	8	78,54	256	3,26
	60	8	52,36	256	4,89
AirStar	90	15	176,72	112	0,64
	45	15	88,36	112	1,27
	60	15	117,81	112	0,95
	180	15	353,43	112	0,32
Bosch	15	8	8,38	80	9,6
	45	8	25,13	80	3,18
	90	8	50,27	80	1,6
Mini-Link	90	8	50,27	176	3,5

Tabla 15.- Densidad de clientes para un alcance de 8 km y una amplitud por sector de 90°

<b>Tecnología</b>	<b>Densidad de clientes (CPEs/km<sup>2</sup>)</b>
Walkair 1000	3,26
AirStar	2,23
Bosch	1,6
Mini-Link	3,5

Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 15, se observa que la tecnología que mejor satisface los requerimientos de densidad de clientes es Walkair 1000 por cuanto es la que soporta mayor densidad de clientes.

Posteriormente, utilizando la información obtenida de la actualización de los clientes operativos se determinó la densidad requerida actualmente en cada nodo (Tabla 16). Lo cual permitió establecer un patrón de comparación para determinar si los resultados de la Tabla 15 satisfacen los requerimientos actuales.

Tabla 16.- Densidad de clientes en los nodos actualmente operativos.

<b>NODO</b>	<b>Alcance (Km)</b>	<b>Sector</b>	<b>Superficie(Km<sup>2</sup>)</b>	<b>N° RADIOS PMP</b>	<b>Densidad</b>
B	8	90	50,27	44	0,875
C	8	90	50,27	48	0,955
A1	8	90	50,27	38	0,756
A2	8	90	50,27	19	0,378
A3	8	90	50,27	17	0,338
D1	8	90	50,27	63	1,253
D2	8	90	50,27	31	0,617

Al comparar la densidad soportada por Walkair 1000 (Tabla 15) con la mayor densidad requerida actualmente se evidencia que la tecnología seleccionada en la evaluación de este parámetro soporta los requerimientos actuales con un amplio margen de diferencia.

Tomando en cuenta que la diferencia entre la densidad de clientes soportada es bastante mayor a la requerida, se calculó la densidad de clientes ofrecida por Walkair suponiendo un BW/cliente de 1 Mbps (BW promedio, red PMP), obteniendo como resultado 1,27 clientes/km<sup>2</sup>. Lo cual confirma que dicha tecnología es capaz de satisfacer los requerimientos actuales

Para la evaluación de la densidad de clientes sólo se tomó en consideración la red PMP, porque la red PTP no define un área de cobertura en específico, por consiguiente no se puede definir la densidad de clientes que ocupan los mismos.

#### 4.4.2 Ancho de Banda

Tomando en consideración que una de las principales limitantes para el crecimiento es la capacidad de acceso de la red actual, es fundamental evaluar el ancho de banda soportado por cada tecnología. Para lo cual se consultaron las especificaciones de los fabricantes, que se resumen en la Tabla 17, permitiendo así determinar la que ofrece mejores prestaciones en términos de capacidad.

Tabla 17.- Ancho de banda soportado por las tecnologías estudiadas.

<b>Producto</b>	<b>BW/TS (Mbps)</b>	<b>BW/BS (Mbps)</b>
Walkair 1000	Hasta 4 Mbps	64 Mbps
AirStar	8 Mbps para 4 QAM y 16 Mbps para 16 QAM	28 Mbps
Mini-Link	4 y 8 Mbps	44 Mbps
Bosch	4 Mbps	36 Mbps

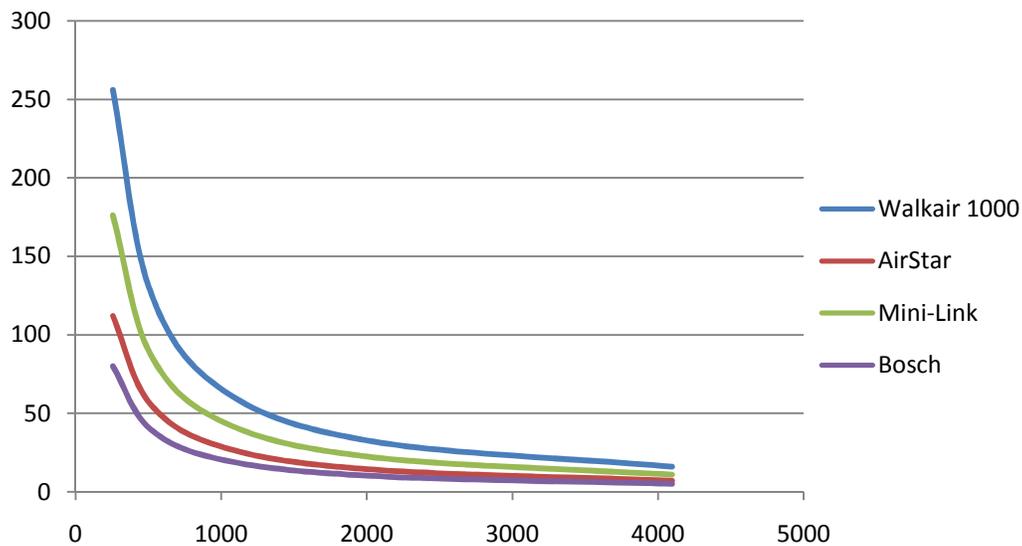
Al comparar las especificaciones técnicas que ofrece cada tecnología se obtiene que Walkair 1000 es la que ofrece mayor BW/BS y aunque no es la que soporta mayor BW/TS, es suficiente tomando en cuenta que el promedio de los clientes PMP contratado actualmente es de aproximadamente 1 Mbps y 2 Mbps tomando en cuenta también los enlaces PTP.

Para determinar la tecnología que ofrece las mejores prestaciones se realizó la gráfica de N°CPEs vs BW, para lo cual se calculó los clientes que soporta cada tecnología para distintos anchos de banda (Tabla 18).

Tabla 18.- N° clientes soportados por las tecnologías estudiadas.

<b>BW (Kbps)</b>	<b>N° clientes</b>
------------------	--------------------

	<b>Walkair 1000</b>	<b>AirStar</b>	<b>Mini-Link</b>	<b>Bosch</b>
256	256	112	176	80
512	128	56	88	40
1024	64	28	44	20
2048	32	14	22	10
4096	16	7	11	5



Gráfica 2.- N° CPEs vs BW/cliente

Al trazar una recta paralela al eje de las ordenadas se observa que Walkair es la que soporta mayor número de clientes, suponiendo que todos tengan el mismo BW. De igual forma, al trazar una recta paralela al eje horizontal se observa que para un número determinado de clientes Walkair es la que soporta un mayor BW/cliente. Por lo tanto es la que ofrece mejores prestaciones en términos de capacidad y densidad de clientes.

#### 4.4.3 Interfaces

El tipo de interfaces soportada por las tecnologías estudiadas puede limitar la velocidad de acceso. Además, en caso de que la tecnología utilizada no soporte las interfaces requeridas por la aplicación, es necesario utilizar convertidores, los cuales

añaden un punto más de falla en la red. Por consiguiente, es preferible utilizar tecnología que ofrezca las interfaces generalmente requeridas por las aplicaciones de usuario.

Para determinar las interfaces soportadas por las tecnologías estudiadas, se consultaron los manuales de los fabricantes de cada una de ellas, las cuales se resumen en la Tabla 19

Tabla 19.- Interfaces disponibles para las tecnologías estudiadas

<b>Tecnología</b>	<b>Interfaces</b>
Walkair 1000	E1/G.703, 10/100BaseT, E1-FR, V.35/X.21, ISDN BRI, Hasta 64xPOTS
AirStar	FR, 10/100 BaseT, E1/T1 fraccional, ISDN, X.21, V.35
Bosch	E1 (G.703)
Mini-Link	E1 (G.703)

En este caso la red a diseñar está orientada a ofrecer servicios IP/MPLS, por consiguiente se prefieren las tecnologías que ofrezcan interfaces Ethernet, como es el caso de Walkair 1000 y AirStar

#### **4.4.4 Costo**

La inversión necesaria inherente a la tecnología utilizada define la factibilidad para la implementación de la misma. Para seleccionar tecnología es necesario tener en cuenta que el producto debe ser económicamente viable, permitiendo una inversión escalonada que garantice la escalabilidad de la red.

Para definir la tecnología más económicamente factible de implementar se determinó el Costo/CPE, lo cual permite dimensionar el costo inherente a la migración de la tecnología utilizada actualmente. Para ello se realizó la Tabla 20, en la que se resume el costo/CPE para cada una de las tecnologías estudiadas, incrementando el N° de CPEs en 34, lo cual corresponde con la cantidad soportada por la tecnología actual suponiendo un BW/CPE de 1 Mbps (Promedio de red PMP actualmente).

Analizando la Tabla 20, se determinó que la tecnología que resulta más económica es Netro, seguida por Walkair 1000 y finalmente, la más costosa es Bosch. Cabe destacar que no se pudieron conseguir los datos correspondientes a Mini-Link de Ericsson, por lo cual no se pudo incluir en el estudio.

Cabe destacar que el objeto fundamental del presente trabajo se centra en evaluar la factibilidad técnica más allá de la económica, en vista de que este proyecto en la empresa luego pasará a otros departamentos orientados en el aspecto económico.

Tabla 20.- Evaluación de costos

<b>N° CPEs</b>	<b>Walkair 1000 (\$)</b>	<b>Bosch (\$)</b>	<b>AirStar (\$)</b>
1	2500	3500	1000
34	85000	119000	34000
68	170000	238000	68000
102	255000	357000	102000
136	340000	476000	136000
170	425000	595000	170000
204	510000	714000	204000
238	595000	833000	238000
272	680000	952000	272000
306	765000	1071000	306000

#### **4.5 Selección de tecnología a utilizar**

Los resultados obtenidos en la evaluación de la tecnología determinaron que el producto que mejor satisface los requerimientos de la red en términos de densidad de

clientes, cobertura, capacidad e interfaces es Walkair 1000, mientras que la más económicamente factible es AirStar. Sin embargo, teniendo en cuenta que la capacidad y el número de canales disponibles son las principales limitantes para el crecimiento de la red se prefiere utilizar Walkair 1000 porque ofrece mejores prestaciones con respecto a estos parámetros.

En este sentido cabe destacar que aunque Walkair 1000 no es la más económica es menos costosa que la tecnología utilizada actualmente, con lo cual el costo de su implementación no sólo sería técnicamente óptimo sino también económicamente factible, tomando en consideración el costo inherente a la tecnología actual.

Walkair 1000 presenta la ventaja adicional de que en caso de que se requiera ofrecer servicio a clientes que demanden más de 4 Mbps se puede implementar con tan sólo adquirir un modem Walkair 3000, el cual puede brindar velocidades de acceso fraccionales hasta 34 Mbps, sin necesidad de invertir en la instalación de otra ODU en la estación maestra, garantizando así la escalabilidad de la red.

#### **4.6 Diseño de la Propuesta**

El procedimiento desarrollado para el diseño de la propuesta se puede dividir en varias etapas:

1. Identificación de las zonas críticas a cubrir.
2. Dimensionamiento de la red
3. Evaluación de localidades tentativas para la ubicación de las celdas

Cabe resaltar que el diseño de la propuesta pretende incluir los clientes de la red PMP y PTP, por cuanto se utilizará como referencia para los cálculos un BW/cliente de 2 Mbps, lo cual corresponde con el promedio actual de clientes de radio.

##### Identificación de las zonas críticas a cubrir

Para determinar las zonas que presentan mayor demanda de servicios y que por lo tanto, requieren especial atención para el diseño de la red, se utilizaron los mapas de

densidad de clientes y capacidad obtenidos en la evaluación de los requerimientos de capacidad y cobertura de la red actual. Obteniendo como zonas que requieren especial interés: El Rosal, Boleita, Altamira, Los Ruices, Los Palos Grandes, La Castellana y Las Mercedes.

#### Dimensionamiento de la red

Una vez localizadas las zonas críticas a cubrir se calcularon los requerimientos de capacidad actuales, para lo cual se dividió la Tabla de densidad de capacidad actual en regiones referenciadas por los nodos A y B (Este B, A-B y Oeste A).

Para determinar los requerimientos a corto, mediano y largo plazo se utilizaron los valores de la capacidad actual dividida por regiones y se tomó en cuenta el crecimiento estimado de 20,5%, de igual forma que como se realizó en la sección de evaluación de requerimientos. Estos resultados se resumen en la Tabla 21.

Es importante destacar que en estas Tablas como en las utilizadas para el cálculo de los mapas de densidad se limitó el número de clientes a la región ocupada desde El Centro de Caracas hasta Terrazas del Ávila, no se incluyeron los clientes dispersos ubicados más de los límites señalados, porque por su distribución no ameritan ser cubiertos por la red PMP, es preferible ofrecer servicio mediante enlaces PTP.

Tabla 21.- Requerimientos de capacidad a corto, mediano y largo plazo

<b>Sector</b>	<b>BW actual (Mbps)</b>	<b>BW 2009 (Mbps)</b>	<b>BW 2011 (Mbps)</b>	<b>BW 2013 (Mbps)</b>
Este B	226	272,33	395,43	529,98
A – B	130	156,65	227,50	304,85
Oeste A	81	97,605	141,73	189,95
<b>Total</b>	<b>437</b>	<b>526,585</b>	<b>764,66</b>	<b>1024,78</b>

Para determinar los requerimientos de número de CPEs se repitió el procedimiento utilizado para los requerimientos de capacidad. Estos cálculos se resumen en la Tabla 22.

Tabla 22.- Requerimientos de N° CPEs a corto, mediano y largo plazo.

<b>Región</b>	<b>N° CPEs actuales</b>	<b>N° CPEs (2009)</b>	<b>N° CPEs (2011)</b>	<b>N° CPEs (2013)</b>
Este B	136	163	236	342
A – B	91	109	157	227
Oeste A	58	69	100	144
<b>Total</b>	<b>285</b>	<b>341</b>	<b>493</b>	<b>713</b>

De acuerdo con los requerimientos obtenidos y teniendo en cuenta las limitantes que presenta la tecnología a utilizar, se determinaron el número de sectores necesarios en cada región (Tabla 23). Para realizar estos cálculos se tomó como premisa una capacidad contratada por cliente de 2 Mbps, lo cual corresponde con el BW promedio tomando en cuenta los clientes PTP y PMP

Tabla 23.- Número de sectores necesarios

<b>Región</b>	<b>N° sectores necesario</b>		
	<b>Corto Plazo</b>	<b>Mediano Plazo</b>	<b>Largo Plazo</b>
Este B	5	7	10
A-B	3	5	7
Oeste A	2	3	4

#### Evaluación de localidades tentativas para la ubicación de las celdas

La selección de las localidades tentativas para la ubicación de las celdas se realizó en función de la cobertura que ofrecen a las áreas de interés, tanto desde el punto de vista topográfico como de ubicación de edificios y estructuras que obstaculicen la LOS. Para ello se utilizó el programa Radio Mobile, el cual permite simular la cobertura ofrecida tomando en cuenta el nivel topográfico, y fotos panorámicas de la ciudad que sirvieron de referencia para determinar los posibles obstáculos (Fig. 19, 20, 21 y 22).

Una vez determinadas las zonas en las que es necesario la ubicación de las celdas, se seleccionaron los edificios y estructuras posibles para la instalación de las mismas siguiendo el siguiente orden de prioridad.

1. Localidades que se encuentren en el recorrido del anillo de fibra óptica, con el objeto de garantizar velocidad de acceso.
2. Los nodos ya operativos de la red, lo cual reduce los costos de inversión.
3. Las localidades de los clientes, para facilitar la permisología.

En función de estos criterios se estudiaron los posibles escenarios que se pueden presentar tomando en cuenta los canales disponibles y las limitantes que ofrece la tecnología seleccionada. Una vez definidas las localidades, se diseñó la sectorización de modo tal que satisfaga los requerimientos de la red a corto, mediano y largo plazo.

La evaluación de la estructura de la red y la identificación de las limitantes para el crecimiento permite definir los posibles escenarios que se pueden analizar con el objeto de seleccionar la propuesta que mejor satisfaga los requerimientos de la red y sea factible de implementar a corto plazo. Por consiguiente, se evaluaron 2 posibles escenarios que pueden aumentar la capacidad de la red.

En el primer caso (Escenario A) se analizó una topología en la cual se aumentara el número de sectores en los nodos actuales y la instalación de un nuevo nodo que soporte el crecimiento de la red. En el segundo caso (Escenario B) se estudió la factibilidad de adquirir dos (2) canales de frecuencia que aumenten el número de sectores sin causar interferencia entre ellos. Estos escenarios plantean una estructura que permita cubrir los requerimientos de la red tratando de optimizar los recursos disponibles.

#### **4.6.1 Escenario A**

##### **4.6.1.1 Descripción General**

Esta topología está conformada por 6 celdas (A, B, C, D, E, y F), conformando un total de 17 sectores, de las cuales 4 celdas ya están operativas en la red (A, B, C y D) y el Nodo E que aunque actualmente no está operativo, era un nodo anteriormente usado en la empresa. Por lo tanto, sólo se necesitaría la inversión en la instalación de un nodo.

La Tabla 24 resume las zonas a cubrir por los sectores de cada uno de los Nodos, destacando que las zonas críticas por la demanda de servicios requeridos son cubiertas por varios nodos, garantizando así mayor capacidad y disminuir la posibilidad de no poder ofrecer servicios por obstáculos en la LOS, teniendo en cuenta que estas zonas se caracterizan por estar en zonas con gran cantidad de edificios alrededor. También se puede destacar que se limitan los sectores de los nodos A, B, C y F para evitar interferencias entre ellos.

Tabla 24.- Descripción de los nodos del Escenario A

<b>Nodo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Alcance (km)</b>	<b>Zonas a cubrir</b>
A	Plaza Venezuela	4	Plaza Venezuela, San Bernardino, El Centro, Bello Monte y parte del Rosal Las Mercedes
B	La Castellana	4	Los Palos Grandes, La Castellana, Altamira, Boleita y parte de Los Ruices
C	Valle Arriba	4	El Rosal, Las Mercedes, Bello Monte, Sabana Grande
D	A la altura de Maripérez	8	El Centro y Oeste de la ciudad y al Este los clientes en los que los otros sectores no tengan LOS
E	El Hatillo	8	La Urbina, Los Ruices, Altamira, Macaracuay, La California
F	La California	4	Los Ruices, Boleita, La California

#### 4.6.1.2 Sectorización

Para determinar la sectorización se utilizó el mapa de densidad de clientes y capacidad, la ubicación de las zonas críticas a cubrir por la demanda de servicios, así como el conocimiento de los canales disponibles, Obteniendo la siguiente sectorización.

El Nodo A está conformado por 4 sectores de 90°, en los cuales se limita el alcance a 4 km para evitar interferencia con sectores adyacentes. Al Este los sectores se solapan en 10° para ofrecer mayor capacidad al Rosal y zonas aledañas. Se plantean sectores de 60° en vista de que por la distribución de clientes actuales sería la más óptima de implementar.

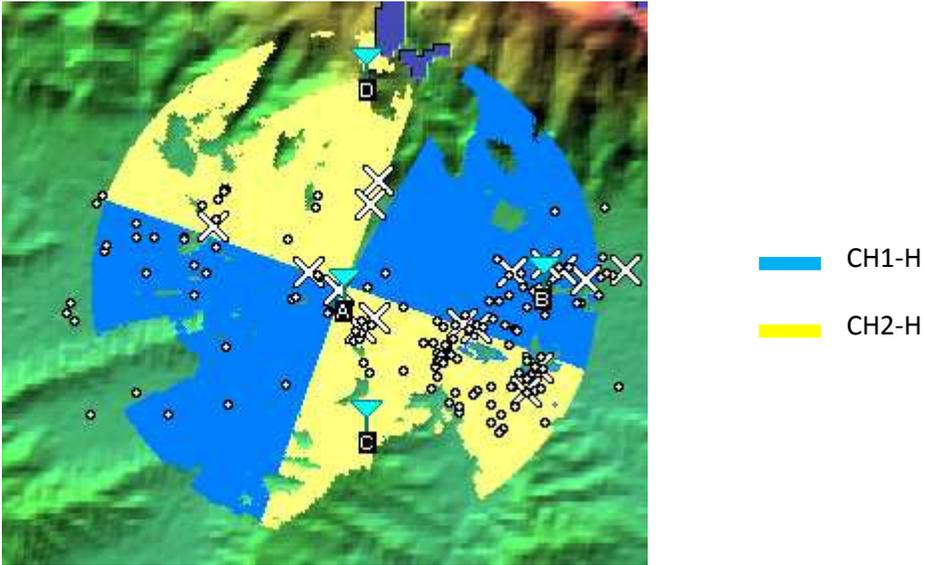


Fig. 23.- Sectores del Nodo A. Escenario A

El Nodo B está conformado por 4 sectores de 60°, conformando una capacidad total de 256 Mbps, en los cuales se limita el alcance a 4 km para evitar interferencia.

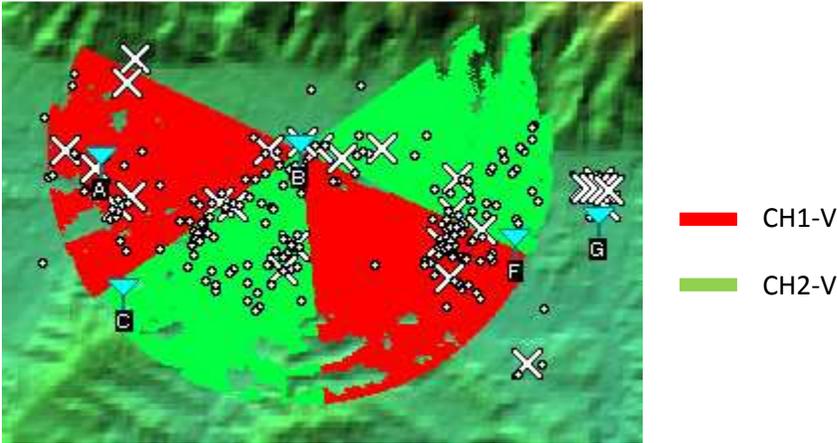


Fig.24.- Sectores del Nodo B. Escenario A

El Nodo C está conformado por 2 sectores de 60°, conformando una capacidad de 128 Mbps, en los cuales se limita el alcance a 4 km, para evitar interferencia al Este del Nodo.

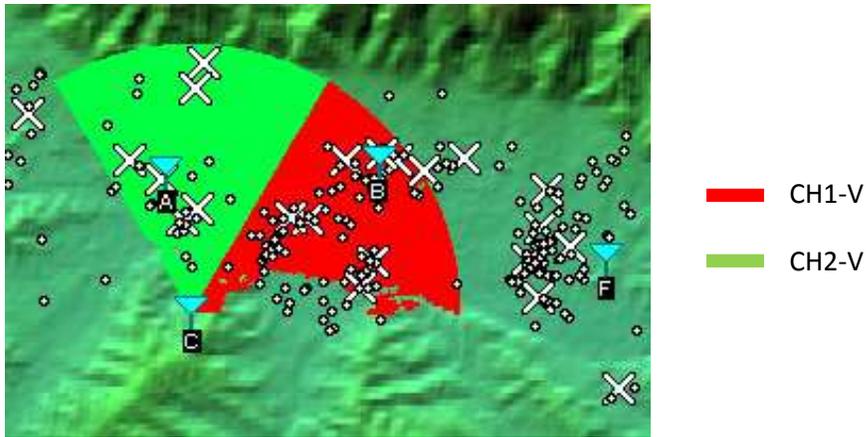


Fig.25.- Sectores del Nodo C. Escenario A

El Nodo D está conformado por 2 sectores de 90°, con un alcance de 8 km. Estos sectores solapan las regiones de interés para cubrir los requerimientos a largo plazo y a aquellos clientes que desde los otros nodos no exista LOS.

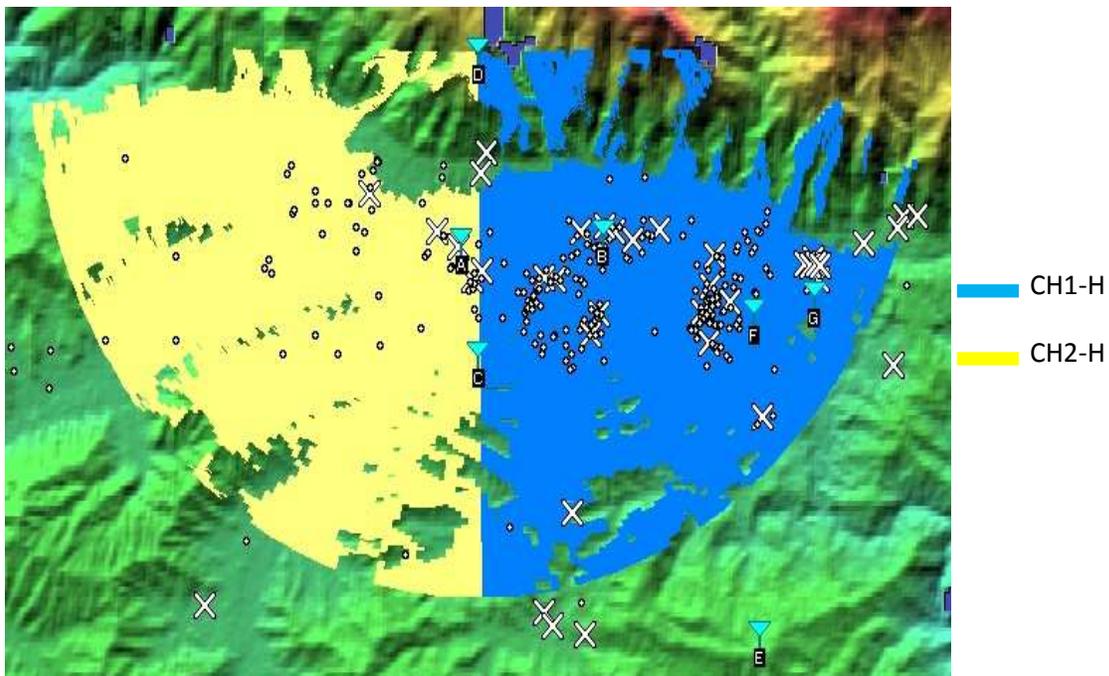


Fig.26.- Sectores en el Nodo D Escenario A

El Nodo E está conformado por 2 sectores de 60°, superponiendo 30° para aumentar la capacidad en Los Ruices, Boleita, La California y sectores aledaños.

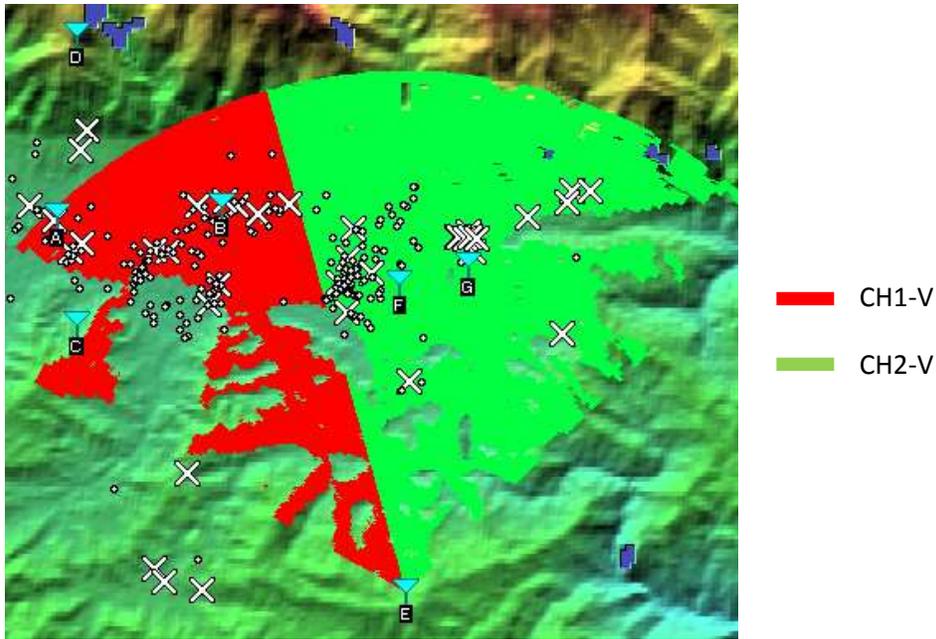


Fig.27.- Sectores en el Nodo E. Escenario A

El Nodo F está conformado por 3 sectores de 60°, conformando una capacidad de 192 Mbps, en los cuales se limita el alcance a 4 km. Este sería el nuevo nodo de la red.

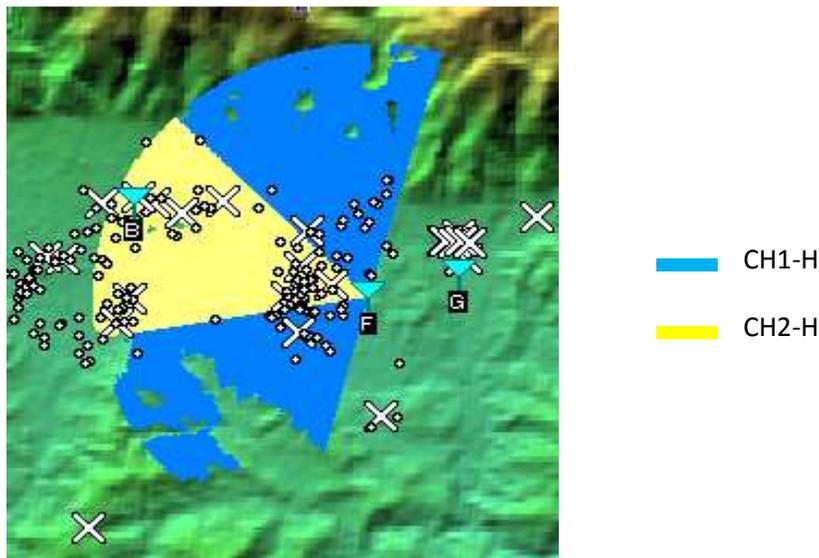


Fig. 28.- Sectores del Nodo F. Escenario A

#### 4.6.1.3 Estudio de Requerimientos

Para determinar si la opción propuesta satisface los requerimientos de la red a corto, mediano y largo plazo se comparó la capacidad y el número de clientes soportados con los requeridos en cada región, suponiendo que todos tienen una ancho de banda contratado de

2Mbps, lo cual es superior al promedio contratado actualmente por clientes PTP y PMP y tomando en cuenta un crecimiento anual de 20,5%, obteniendo como resultado las Tablas 25 y 26

Tabla 25.- Requerimientos de capacidad a corto, mediano y largo plazo

<b>Sector</b>	<b>Nodos</b>	<b>N° sectores</b>	<b>BW disponible (Mbps)</b>	<b>BW 2008 (Mbps)</b>	<b>BW 2009 (Mbps)</b>	<b>BW 2011 (Mbps)</b>	<b>BW 2013 (Mbps)</b>
Este B	B	2	512	226	272,33	395,43	529,98
	E	2					
	D	1					
	F	3					
A – B	C	2	384	130	156,65	227,50	304,85
	A	2					
	B	2					
Oeste A	D	1	192	81	97,605	141,73	189,955
	A	2					
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>1088</b>	<b>437</b>	<b>526,585</b>	<b>764,66</b>	<b>1024,78</b>

Al comparar el BW disponible en la propuesta con lo requerido a largo plazo, se obtiene que la topología propuesta no satisface los requerimientos al Este de B. Sin embargo, tomando en consideración que el ancho de banda faltante necesario para cubrir los requerimientos es 18 Mbps, excluyendo de esta zona tan sólo 5 enlaces PTP de 4 Mbps se cubrirían los requerimientos.

Tabla 26.- Estudio de requerimientos de capacidad Escenario A

<b>Sector</b>	<b>Nodos</b>	<b>Sectores</b>	<b>N° CPEs disponible</b>	<b>N° CPEs 2008</b>	<b>N° CPEs 2009</b>	<b>N° CPEs 2011</b>	<b>N° CPEs 2013</b>
Este B	B	2	256	136	163	236	342

	E	2					
	D	1					
	F	3					
A – B	C	2	192	91	109	157	227
	A	2					
	B	2					
Oeste A	D	1	96	58	69	100	144
	A	2					
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>544</b>	<b>285</b>	<b>341</b>	<b>493</b>	<b>713</b>

Los resultados obtenidos indican que, desde el punto de vista de número de clientes, no se cubrirían los requerimientos a largo plazo. Sin embargo, tomando en cuenta que el estudio realizado es bastante conservador puesto que hay clientes pequeños que no demandan esos rangos de ancho de banda, los cuales actualmente representan el 28,42% del total, se puede concluir que el Escenario A satisface los requerimientos de capacidad y de clientes.

#### **4.6.2 Escenario B**

##### **4.6.2.1 Descripción General**

Esta topología está conformada por 5 celdas (A, B, C, D y E), sectorizadas en función de 4 canales de frecuencia. Tomando en cuenta que actualmente la empresa solamente cuenta con dos canales licenciados en esta banda, habría que solicitar una extensión a CONATEL en la banda de 10.5 GHz. De esta manera se disminuyen las posibilidades de interferencia y se aumenta la capacidad ofrecida.

Las celdas involucradas en este escenario son nodos actualmente operativos en la red y por lo tanto, no se requiere realizar una inversión adicional para la instalación de un nuevo nodo, así como para su alquiler. Además, no se requiere realizar los trámites requeridos para obtener la permisología necesaria.

La Tabla 27, resume las zonas a cubrir por los sectores de cada uno de los Nodos, destacando que las zonas críticas por la demanda de servicios requeridos son cubiertas por varios nodos, garantizando así mayor capacidad y disminuir la posibilidad de no poder ofrecer servicios por obstáculos en la LOS, teniendo en cuenta que estas zonas se caracterizan por estar en zonas con gran cantidad de edificios alrededor. También se puede destacar que se limitan los sectores de los nodos A, B y C a 4 km para evitar interferencias entre ellos.

Tabla 27.- Descripción de los nodos del Escenario B

<b>Nodo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Alcance (km)</b>	<b>Zona de cobertura</b>
A	Plaza Venezuela	4	Plaza Venezuela, Sabana Grande, Bello Monte, parte del Rosal y del Centro
B	La Castellana	4	La Castellana, Altamira, Los Palos Grandes, Los Ruices, Boleita, Chacao y El Rosal
C	Valle Arriba	4	Las Mercedes, Chuao, El Rosal, Santa Mónica, Bello Monte y Plaza Venezuela
D	El Ávila	8	El Centro y el Oeste de la ciudad. Al Este solapar zonas de interés.
E	El Hatillo	8	Los Ruices, La California, La Urbina, Macaracuay.

#### 4.6.2.2 Sectorización

La sectorización propuesta se determinó tomando en consideración los mapas de densidad de clientes y de capacidad, la ubicación de las zonas críticas a cubrir por la demanda de servicios y suponiendo que se cuenta con 4 canales de frecuencia.

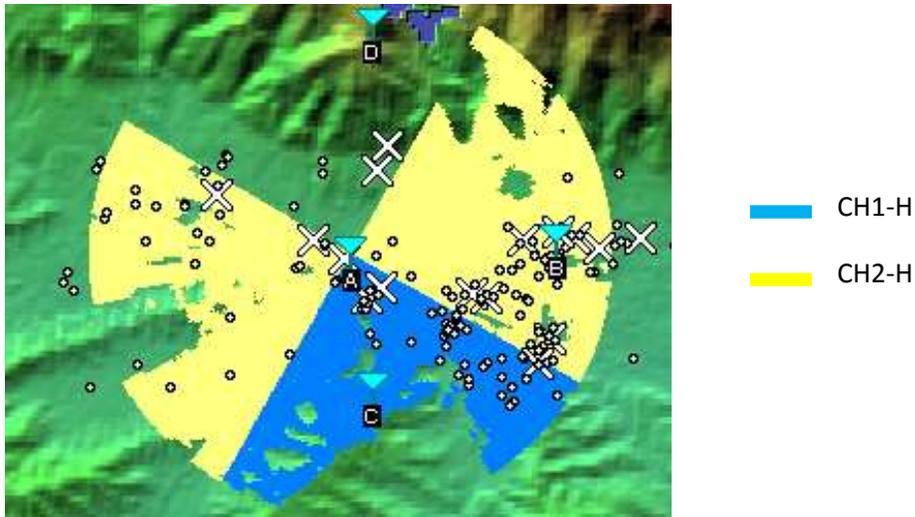


Fig. 29.- Sectores CH1 y CH2 en el Nodo A. Escenario B

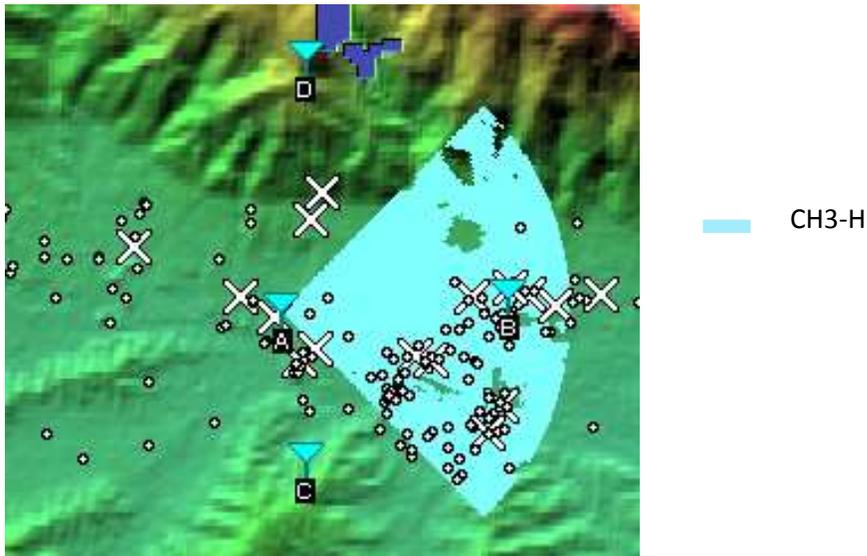


Fig.30.- Sector CH3 en el Nodo A. Escenario B

El Nodo A está conformado por 3 sectores de 90° en CH-1 Y CH-2 y un sector de 60° en CH-3, destacando que el sector del CH-3 se solapa con los sectores CH1 y CH2 para ofrecer mayor capacidad al Rosal y zonas aledañas, las cuales actualmente representan una de las zonas críticas por la demanda de capacidad.

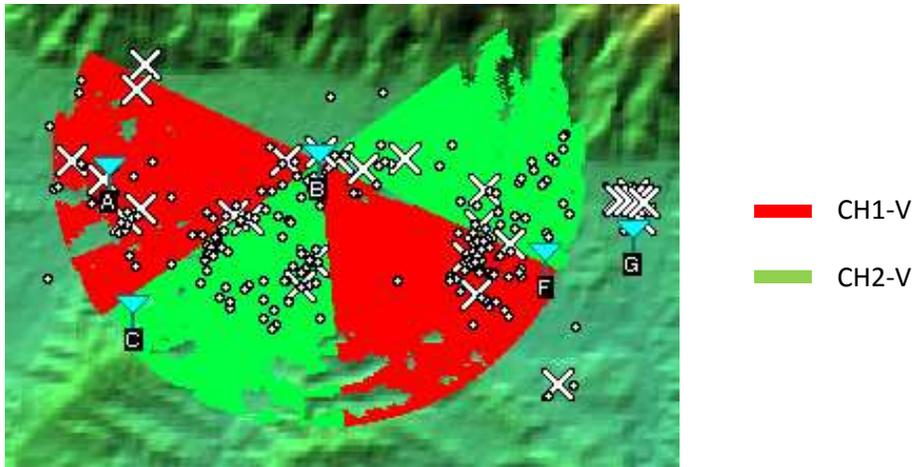


Fig.31.- Sectores CH1 y CH2 en el Nodo B. Escenario B

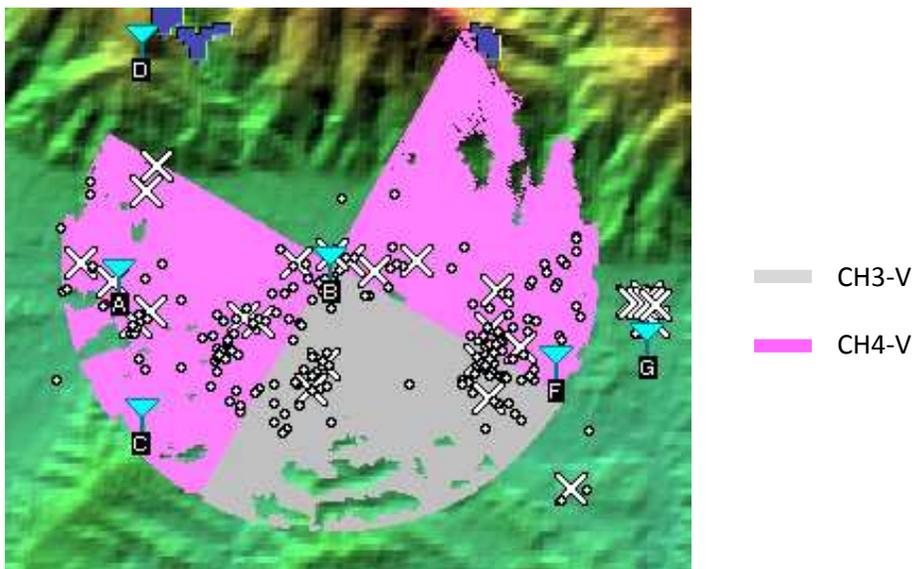


Fig.32.- Sectores CH3 y CH4 en el Nodo B. Escenario B

El Nodo B está conformado por 7 sectores, 4 de 60° en CH-1 y CH-2 y 3 de 90° en CH-3 y CH-4, en los que los sectores CH-1 y CH-2 se solapan con los sectores CH-3 y CH-4. En todos los sectores se limita el alcance a 4 km para evitar interferencia con sectores adyacentes.

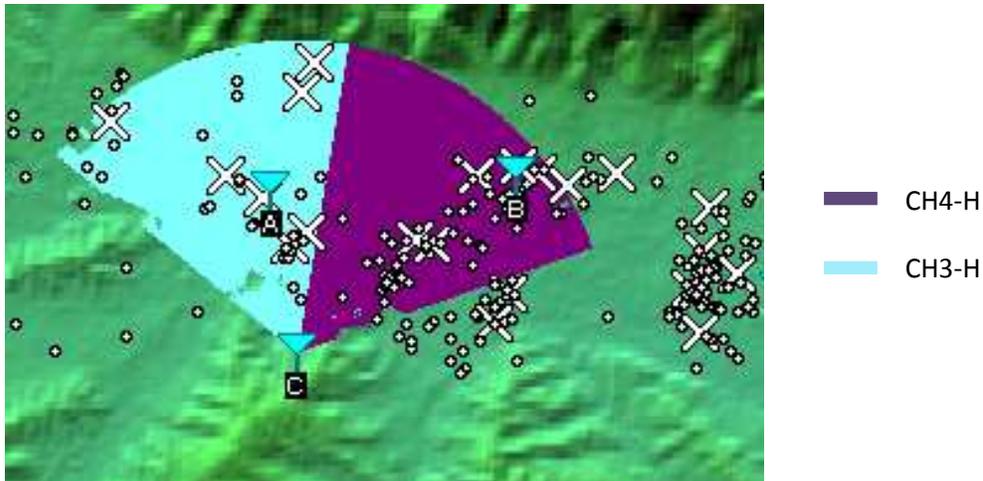


Fig.33.- Sectores en el Nodo C. Escenario B

El Nodo C está conformado por 2 sectores de 60° en CH-3 y CH-4, en donde se limita el alcance a 4 km como se observa en la Fig. 27

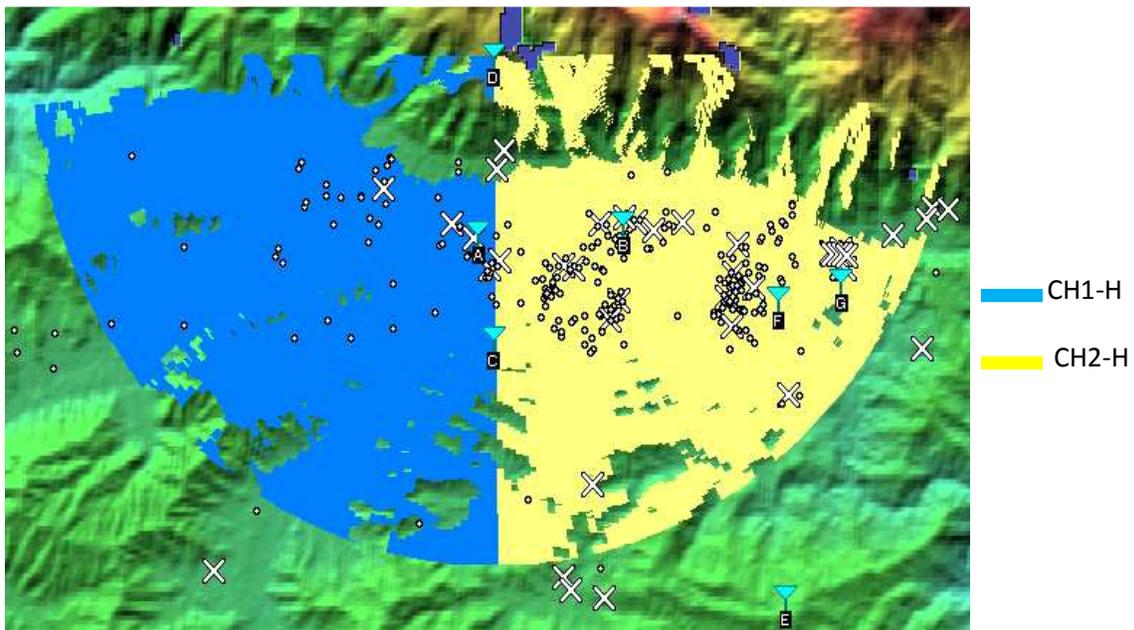


Fig.34.- Sectores en el Nodo D. Escenario B

El Nodo D está conformado por 2 sectores de 90° en CH-1 y CH-2 respectivamente con un alcance de 8 km. Este Nodo idealmente cubre gran parte de la zonas de interés en Caracas, por consiguiente se utilizará como alternativa para ofrecer servicio a aquellos

clientes en los que no hay LOS hacia los otros nodos y para cubrir los requerimientos a largo plazo.

Finalmente el Nodo E está conformado por 4 sectores de 60° en CH-1, CH-2, CH-3 y CH-4, en donde se solapan los sectores con el objeto de aumentar la capacidad en la red y cubrir así los requerimientos a largo plazo.

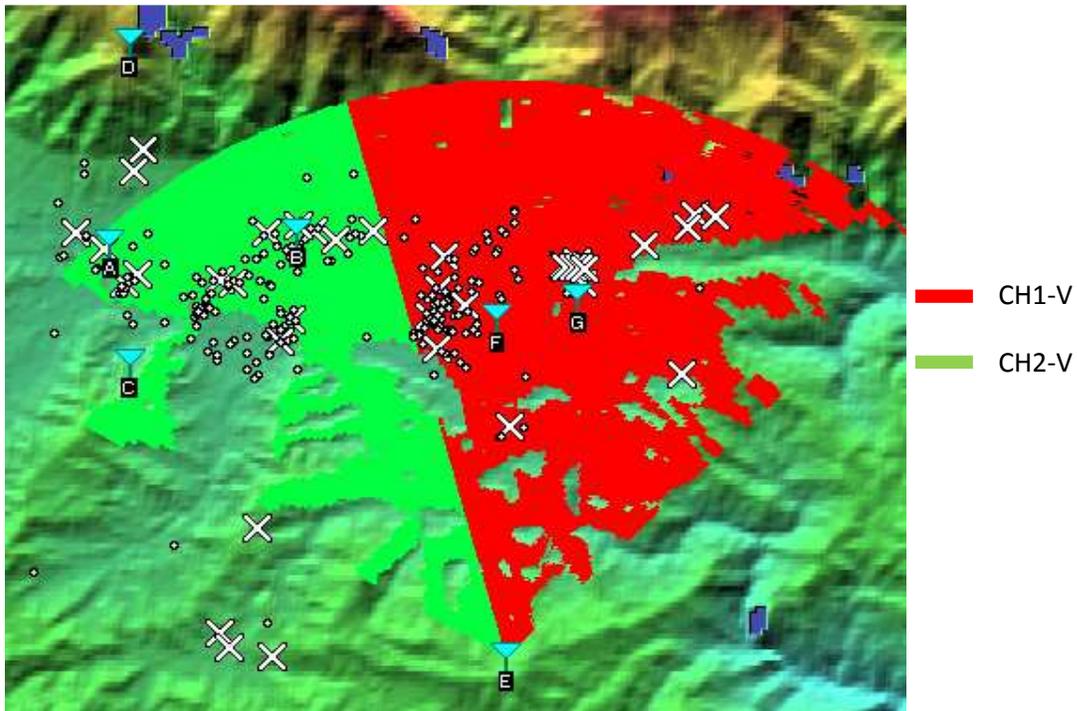


Fig.35.- Sectores CH1 y CH2 en el Nodo E. Escenario B

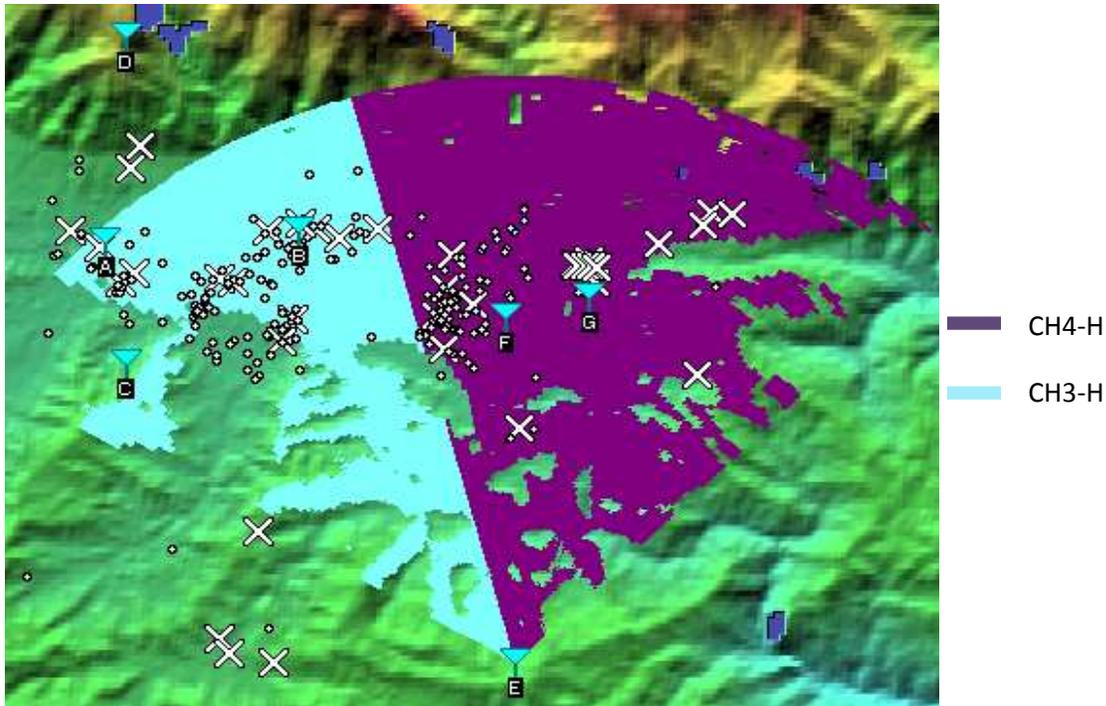


Fig.36.- Sectores CH3 y CH4 en el Nodo E. Escenario B

#### 4.6.2.3 Estudio de Requerimientos

Para determinar si la topología propuesta cumple los requerimientos de capacidad y N° CPEs, se compararon los valores señalados en las Tablas de requerimientos generales (Tablas 21 y 22) con los que ofrece este escenario, tomando en cuenta la sectorización utilizada, las limitantes de la tecnología, un crecimiento promedio anual de 20,5% y un ancho de banda contratado por cliente de 2 Mbps, lo cual es superior al promedio contratado actualmente por enlaces PTP y PMP.

Al comparar el ancho de banda ofrecido con la propuesta con el requerido (Tabla 28) se observa que esta topología cubre los requerimientos de la red a corto, mediano y largo plazo.

Tabla 28.- Estudio de Requerimientos de Capacidad. Escenario B

Sector	Nodos	Sectores	BW disponible (Mbps)	BW 2008 (Mbps)	BW 2009 (Mbps)	BW 2011 (Mbps)	BW 2013 (Mbps)
Este B	B	4	576	226	272,33	395,43	529,98
	D	1					
	E	4					
A – B	B	3	448	130	156,65	227,50	304,85
	A	3					
	C	1					
Oeste A	A	1	192	81	97,605	141,73	189,95
	D	1					
	C	1					
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>1216</b>	<b>437</b>	<b>526,585</b>	<b>764,66</b>	<b>1024,78</b>

Tabla 29.- Estudio de requerimientos de N° de CPEs. Escenario B

Sector	Nodos	Sectores	N° CPEs disponible	N° CPEs actuales	N° CPEs 2009	N° CPEs 2011	CPEs 2013
Este B	B	4	288	136	163	236	342
	D	1					
	E	4					
A – B	B	3	224	91	109	157	227
	A	3					
	C	1					
Oeste A	A	1	96	58	69	100	144
	D	1					
	C	1					
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>608</b>	<b>285</b>	<b>341</b>	<b>458</b>	<b>576</b>

Al comparar el N° CPEs soportado por este escenario con los requerimientos (Tabla 29), se observa que no se cubren las especificaciones necesarias. Sin embargo, cabe destacar que la aproximación utilizada es bastante conservadora porque 28,42% de los

clientes de la empresa tienen un ancho de banda contratado inferior a 256 kbps. Por consiguiente, se puede concluir que en términos generales la topología propuesta cubre los requerimientos de la red.

#### 4.6.3 Estudio comparativo de los escenarios propuestos

Para determinar cual propuesta representa la mejor opción, se compararon los 2 escenarios en función de los recursos disponibles, los recursos necesarios y las limitaciones, como se puede observar en la Tabla 30

Tabla 30.- Comparación de los posibles escenarios

Opción	Recursos disponibles	Recursos necesarios	Limitaciones
Escenario A	Se utilizan los canales de frecuencia ya licenciados	Se requiere la instalación de un nuevo nodo	Dentro de 5 años se requerirá la adquisición de un nuevo canal de frecuencia para garantizar el crecimiento de la red
	Se utilizan nodos ya operativos de la red	Se requiere la adquisición de 17 sectores Walkair 1000	
Escenario B	Se utilizan los nodos ya operativos de la red	Se requiere la adquisición de 2 canales de frecuencia	Se requiere realizar los trámites para la adquisición de los canales de frecuencia lo más pronto posible para garantizar las capacidades señaladas
		Se requiere la adquisición de 19 sectores Walkair 1000	

Se propone la topología de red del Escenario A porque permite satisfacer los requerimientos a corto, mediano y largo plazo optimizando los recursos disponibles debido a que utiliza todos los nodos operativos de la red y la mayor inversión que se requiere es la instalación del nuevo nodo, el cual se puede instalar en la última fase del proyecto. A

diferencia del Escenario B, el cual aunque ofrece mayor capacidad, por la sectorización actual de la red requiere la adquisición de canales de frecuencia a corto plazo.

El Escenario A brinda una solución a corto plazo que satisface los requerimientos de la red. Para garantizar la escalabilidad de la red, se recomienda que simultáneamente a los trabajos de instalación propuesta en esta opción, se realicen los trámites relacionados con la adquisición de 2 canales de frecuencias para evitar que se llegue al límite de capacidad dentro de 5 años, estos canales es recomendable que pertenezcan a la banda de 26 GHz, porque esta ofrece menor alcance, permitiendo así aumentar la capacidad.

## **Capítulo V.- Propuesta**

### **5.1 Arquitectura de la red**

La red está compuesta por 5 celdas, de las cuales sólo hace falta obtener los permisos y hacer los trámites correspondientes a la instalación de una de ellas (Nodo F). La

tecnología utilizada es Walkair 1000 con interfaces 10/100 Base-T, por tratarse de la red IP/MPLS.

Los factores utilizados para definir los clientes que se asocian con determinada estación base pueden ser: por BS más cercana, por mejor C/I o por mejor C/(I+N). En este caso se utilizará el primer criterio para evitar interferencia entre sectores adyacentes.

## **5.2 Interconexión con el *Backbone***

Las celdas se interconectan con el *Backbone* mediante Fibra Óptica, como es el caso de las celdas A, B y F, o a través de enlaces troncales hacia los nodos interconectados con la red Metro-Ethernet, como es el caso de los nodos C, D y E, en los cuales, por su ubicación, no se pueden conectar directamente a la red de Fibra Óptica (Fig. 31). Todo el tráfico de la red llega al nodo G, en donde se realiza la conmutación de servicios.

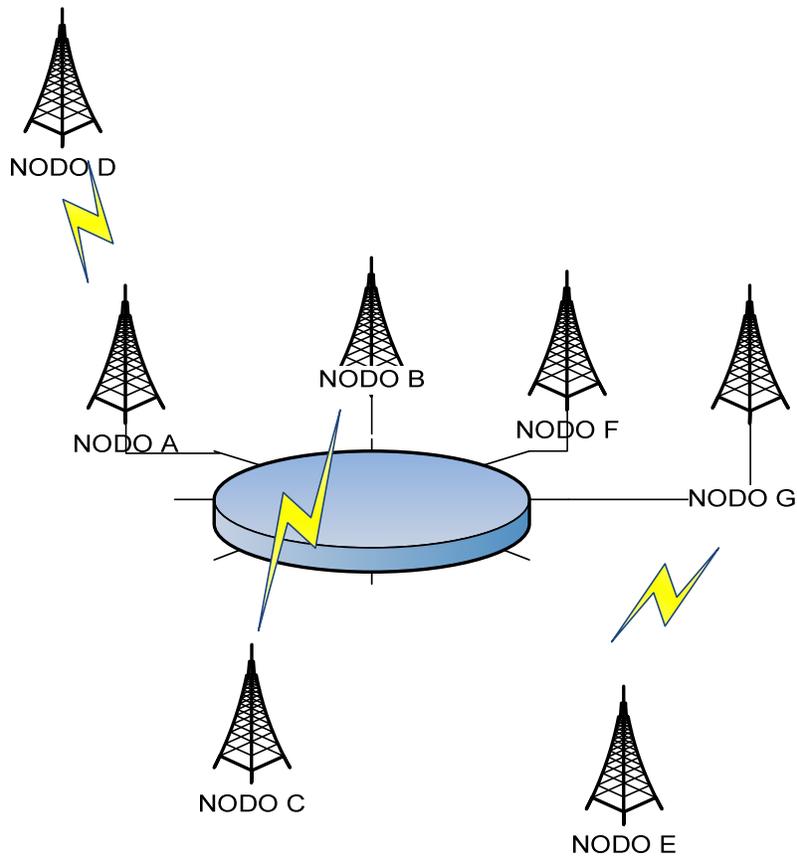


Fig.37.- Estructura de la red propuesta

### 5.3 Selección de localidad para el Nodo F

Para la ubicación de la localidad para la instalación del Nodo F se recomienda, por su ubicación, las localidades de Res. La California, Res. Yutaje, Terrazas de Guaicoco o Res. La Urbina. Las 2 primeras presentan la ventaja de estar situadas cerca del anillo de Fibra Óptica, garantizando así la capacidad de acceso en la interconexión con el *Backbone*, las demás aunque no se encuentran cerca del anillo su ubicación pareciera ofrecer cobertura a las zonas de interés



Fig 38.- Ubicación de Res. La Urbina

Durante el desarrollo del presente trabajo se tuvo acceso a Res. La Urbina para verificar la factibilidad de instalar un nodo en dicha localidad. Como resultado de esta visita se obtuvo que no es factible realizar la instalación del Nodo G en Res. La Urbina, en primer lugar, porque el espacio físico disponible para la instalación de los equipos no es suficiente, además la LOS hacia Los Ruices es obstaculizada por los edificios de La California (Fig. 39).



Fig.39.- Ubicación de obstáculos de edificios de La California desde Res. La Urbina

Por consiguiente, se recomienda evaluar la factibilidad de la implementación en alguno de los edificios de La California que obstaculizan la LOS porque es probable que desde Terrazas de Guaicoco se obstaculice también la LOS por su ubicación con respecto a Res. La Urbina.

La investigación de la factibilidad de la instalación del Nodo G en alguno de los edificios de Res. La California no se realizó porque el objeto del estudio es una pre-evaluación de las posibles localidades para la ubicación de esta celda. No se realizaron las visitas requeridas para la evaluación de la factibilidad por cuanto pudieran crear falsas expectativas en las localidades consultadas.

#### 5.4 Programación para la implementación de la Propuesta

Para la implementación de la topología propuesta se propone una programación, en la que se especifican las actividades que se deben realizar en cada una de las fases. La elaboración de esta programación tomó en consideración los sectores actualmente instalados, con el objeto de que la migración de la plataforma actual a la propuesta sea posible sin causar interferencia entre dichos sectores, en vista de que la misma utiliza los mismos canales de frecuencia actuales.

Tabla 31.- Cronograma de implementación de la propuesta

Fase	Actividades
<b>I</b>	Instalación de un sector de 90° Walkair CH2-H al Oeste del Nodo A
	Migración de los clientes del sector Oeste del Nodo A con la tecnología anterior y desinstalación del mismo
	Instalación de un sector de 60° Walkair CH1-V al Este del Nodo C
	Migración de los clientes del Nodo C con la tecnología anterior y desinstalación del mismo
	Instalación de un sector de 60° Walkair CH2-V AL Oeste del Nodo C
	Reducir el límite del sector actual CH2 al Oeste del Nodo B a 4 km
	Instalar un sector Walkair de 60° CH2-V al Este del Nodo E
<b>II</b>	Instalación de un sector de 90° Walkair CH2-H al Este del Nodo A

	Migración de los clientes actuales al Este de A y desinstalación de los sectores CH1 y CH2 con tecnología anterior
	Instalación de un sector de 90° Walkair CH1-H al SurEste del Nodo A y reorientar el sector CH2 recién instalado
	Instalación de un sector de 60° Walkair CH2-V al Este del Nodo B
	Migración de los clientes del sector con tecnología anterior y desinstalación del mismo
	Instalación de un sector de 60° Walkair CH1-V al SurEste del Nodo B.
	Instalación de un sector Walkair CH al NorOeste del Nodo B y limitar el alcance del sector SurOeste del Nodo B
	Instalación del sector Walkair de 60° al Oeste del Nodo E
<b>III</b>	Instalación de los 3 sectores de 60° Walkair en el nuevo nodo F
	Instalación de un sector de 90° Walkair CH2-H al Oeste del Nodo D
	Migración de los clientes del sector Este del Nodo D.
	Instalación de un sector de 90° Walkair CH1-H al Este del Nodo D
	Instalación de un sector de 90° Walkair CH1-H al Oeste del Nodo A

El proyecto se divide en 3 fases, las cuales se proponen realizar a corto plazo (1 año), mediano plazo (3 años) y largo plazo (5 años), respectivamente. En términos generales, se plantea en la primera fase instalar un sector en el Nodo A hacia el Oeste, los sectores del Nodo C, el sector CH-2 al Oeste del Nodo B y el sector CH-1 del Nodo E; en la segunda fase instalar los sectores faltantes del Nodo B, los sectores al Este del Nodo A y el sector CH-2 del Nodo E; finalmente, en la tercera fase se propone instalar los 2 sectores del Nodo D, todos los sectores del Nodo F y el sector faltante al Oeste del Nodo A y del Nodo E. Estas actividades se pueden observar en la Tabla 31.

Para determinar cuál es la situación de la red al finalizar cada una de las etapas de acuerdo a la programación planteada se utilizaron los requerimientos generales por región mostrados en la Tabla 22, excepto aquellos casos en los que con el objeto de optimizar recursos se migren, en primer lugar, los clientes PMP y se deje los PTP para después, en vista de que estos últimos generalmente demandan mayor capacidad. Para estos cálculos se

utilizó como patrón de referencia la Tabla 32, en donde se desglosan los clientes actuales en cada nodo ubicados de acuerdo a las regiones establecidas en la Tabla 22.

Tabla 32.- Distribución de CPEs de la red de radios

Región	Nodo	N° CPEs PMP	N° CPEs PTP	N° CPEs Total
Este B	A	16	25	136
	B	42		
	C	18		
	D	35		
	<b>Total</b>	<b>111</b>		
A-B	A	33	16	91
	B	2		
	C	26		
	D	14		
	<b>Total</b>	<b>75</b>		
Oeste A	A	19	5	58
	D	34		
	<b>Total</b>	<b>53</b>		

La situación de la red al finalizar la Fase I se resume en la Tabla 33, en la cual no se incluye la migración de los enlaces PTP ubicados al Este del Nodo B, en vista de que como estos demandan mayor capacidad que los enlaces PMP, en muchos casos se necesitaría dedicar un modem de la BS para cada uno de estos clientes, mientras que ese mismo modem se podría utilizar para cubrir varios clientes PMP. En las otras regiones se incluye la migración de enlaces PTP en los sectores Walkair.

Tabla 33.- Situación de la red al final de la Fase I

Fase	Región	Nodos	N° sectores	Tecnología	N° CPEs disponible	N° CPEs requerido
I	Este B	E	1	Walkair	132	163
		B	1	Bosch		
		D	1	Bosch		
	A-B	A	2	Bosch	164	109
		C	2	Walkair		
		B	1	Walkair		
	Oeste A	A	1	Walkair	66	69
		D	1	Bosch		

Tabla 34.- Situación de la red al final de la Fase II

<b>Fase</b>	<b>Región</b>	<b>Nodos</b>	<b>Nº sectores</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Nº CPEs disponible</b>	<b>Nº CPEs requerido</b>
<b>II</b>	Este B	E	2	Walkair	226	236
		B	2	Walkair		
		D	1	Bosch		
	A - B	A	2	Walkair	192	157
		B	2	Walkair		
		C	2	Walkair		
	Oeste A	A	2	Walkair	96	100
		D	1	Bosch		

En la Fase II se comienza la migración de los CPEs PTP ubicados al Este del Nodo B, específicamente los que son cubiertos por los sectores Walkair instalados en el Nodo E. La situación al finalizar esta fase se resume en la Tabla 34, en donde se observa que la topología propuesta, en términos generales, satisface los requerimientos establecidos, en vista de que sólo difieren en 10, lo cual teniendo en consideración que se realizó un estudio bastante conservador se puede concluir que se cubren los requerimientos.

Finalmente, la Tabla 35 resume la situación de la red al final de la Fase III, observando que en esta fase no está planteada la instalación de enlaces PTP de gran capacidad bajo esta tecnología. Es importante destacar que los requerimientos que aparecen en la Tabla 35 corresponden a la suposición de 2 Mbps/CPE, en donde no se toman en cuenta los clientes que requieren un ancho de banda significativamente menor como por ejemplo enlaces para puntos de venta de bancos. Bajo esta premisa, se cubrirían las expectativas en esta fase.

Tabla 35.- Situación de la red al final de la Fase III

<b>Fase</b>	<b>Región</b>	<b>Nodos</b>	<b>Nº sectores</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Nº CPEs disponible</b>	<b>Nº CPEs requerido</b>
<b>III</b>	Este B	E	2	Walkair	256	342
		B	2	Walkair		
		D	1	Walkair		
		F	3	Walkair		
	A - B	A	2	Walkair	192	227

		B	2	Walkair		
		C	2	Walkair		
	Oeste A	A	2	Walkair	96	144
		D	1	Walkair		

### 5.5 Evaluación de recursos

Para optimizar los recursos disponibles actualmente en la red se deja la instalación del nuevo nodo para la última fase, utilizando así infraestructura eléctrica y de los equipos que se interconectan con el *Backbone* en los nodos operativos.

Como en las dos (2) primeras fases no es necesario instalar el nuevo nodo, los recursos necesarios en estas etapas para la implementación de la topología propuesta son las maestras PMP Walkair de 90° o 60°, según sea el caso, y los CPEs necesarios. En la tercera fase además de estos equipos también son necesarios los equipos de *switching*, equipos de energía y los necesarios para la interconexión con el *Backbone*, como se resume en la Tabla 36. En la cual se estimó el número de CPEs de acuerdo al crecimiento estimado de la red de 20,5%

Tabla 36.- Recursos necesarios

Fase	Recursos necesarios	
	Cant.	Equipo
I	4	Maestra PMP Walkair 1000 (3 de 60° y 1 de 90°)
	56	CPE
II	6	Maestra PMP Walkair 1000 ( 2 de 90° y 4 de 60°)
	152	CPE
III	6	Maestras PMP Walkair 1000 (3 de 60° y 3 de 90°)
		Planta Eléctrica
		A/A

Rectificadores con Banco de Batería	
1	Router MPLS
1	Switch MPLS
1	Router de gestión
1	Switch de gestión
220	CPE

### 5.6 Estudio de cobertura

La cobertura ofrecida por cada nodo fue simulada por el programa Radio Mobile, en el cual sólo se toma en consideración los obstáculos producidos por la topografía del terreno. Para ello se introdujeron las especificaciones de la tecnología utilizada, tales como:

$$G_{TX} = 15dBi, \text{ para sectores de } 90^\circ$$

$$G_{TX} = 18 dBi, \text{ para sectores de } 60^\circ$$

$$G_{RX} = 25 dBi$$

$$P_{TX} = 40 dBm$$

$$S_{RX} = -87 dBm$$

Para la simulación de la cobertura se utilizó la aplicación de cobertura de radio polar simple, en el cual se selecciona el nodo y un punto de referencia ubicado dentro de la cobertura ideal, así como el alcance, el patrón de la antena de transmisión, el rango del azimuth y el umbral de recepción, como se muestra en la Fig 40.

Unidad central	A	Dibujar
Unidad móvil	Prueba A	Cancelar
Red	Red 1	
Dirección del enlace <input checked="" type="radio"/> Centro Tx - Móvil Rx <input type="radio"/> Centro Rx - Móvil Tx <input type="radio"/> Peor de los casos		Alcance (km) Mínimo: 0,1      Máximo: 4
Dibujar <input type="checkbox"/> Contorno      Color <input checked="" type="checkbox"/> Superficie      Color <input checked="" type="checkbox"/> Arcoiris <input checked="" type="checkbox"/> Sólido <input type="checkbox"/> Borroso		Rango del azimut (°) Mínimo: 0      Máximo: 360      Paso: 1
Umbral <input type="radio"/> S-Unit <input type="checkbox"/> Auto configuración <input checked="" type="radio"/> dBm      De: -87,0 <input type="radio"/> µV      A: <input type="checkbox"/> <input type="radio"/> dBµV/m      -67,0		Patrón de Antena omni.ant <input type="checkbox"/> Usar configuración de la antena de la red Azimut del haz(°): 0      Ver patrón <input type="checkbox"/> Dibujar <input checked="" type="checkbox"/> Dibujar fondo <input type="checkbox"/> Pequeño

Fig. 40.- Parámetros utilizados para la simulación del estudio de cobertura

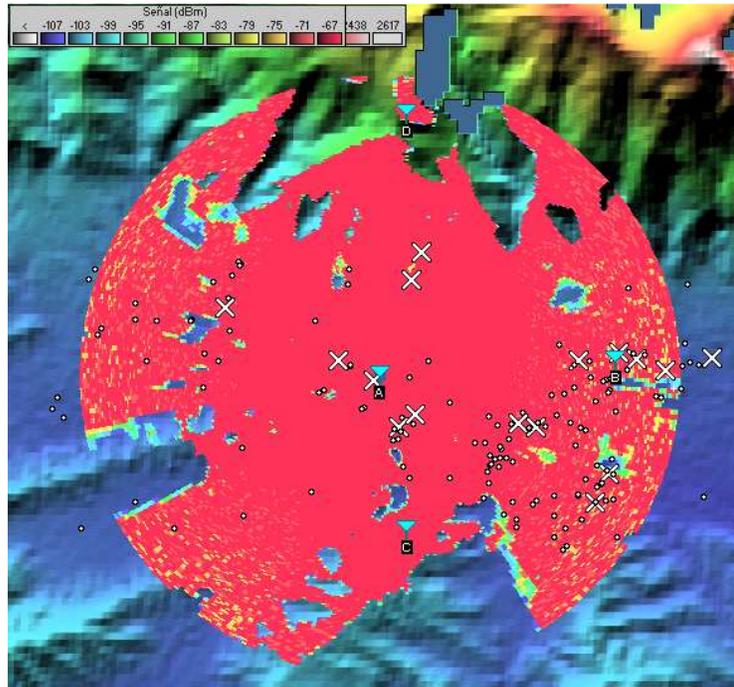


Figura 41.- Cobertura de radio desde el Nodo A

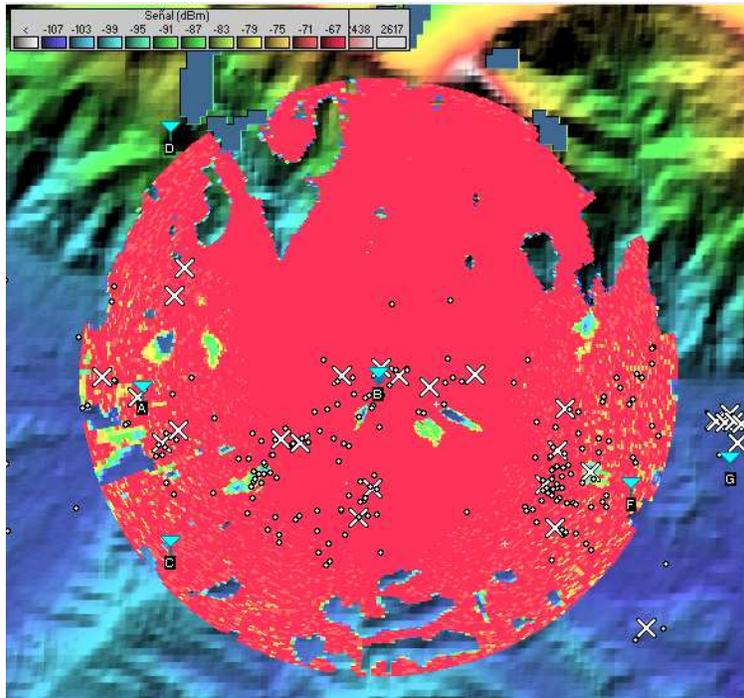


Figura 42.- Cobertura desde el Nodo B

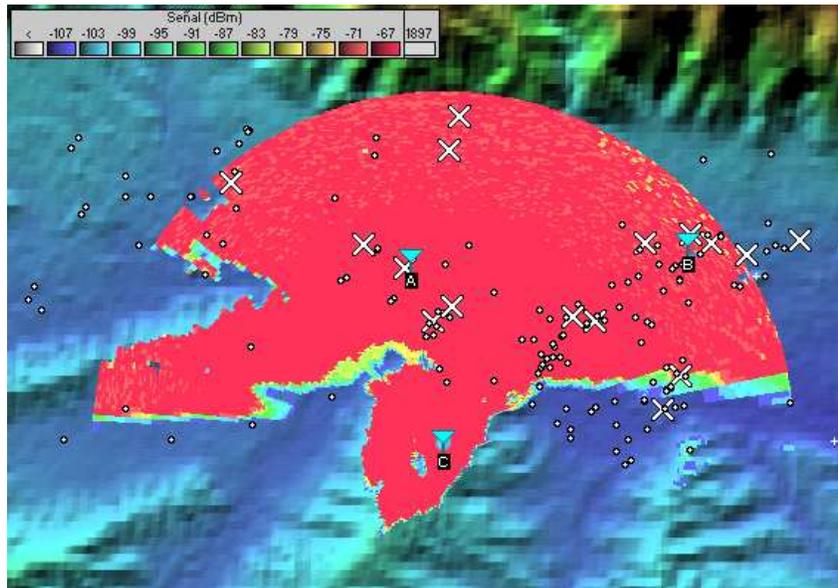


Figura 43. Cobertura desde el Nodo C

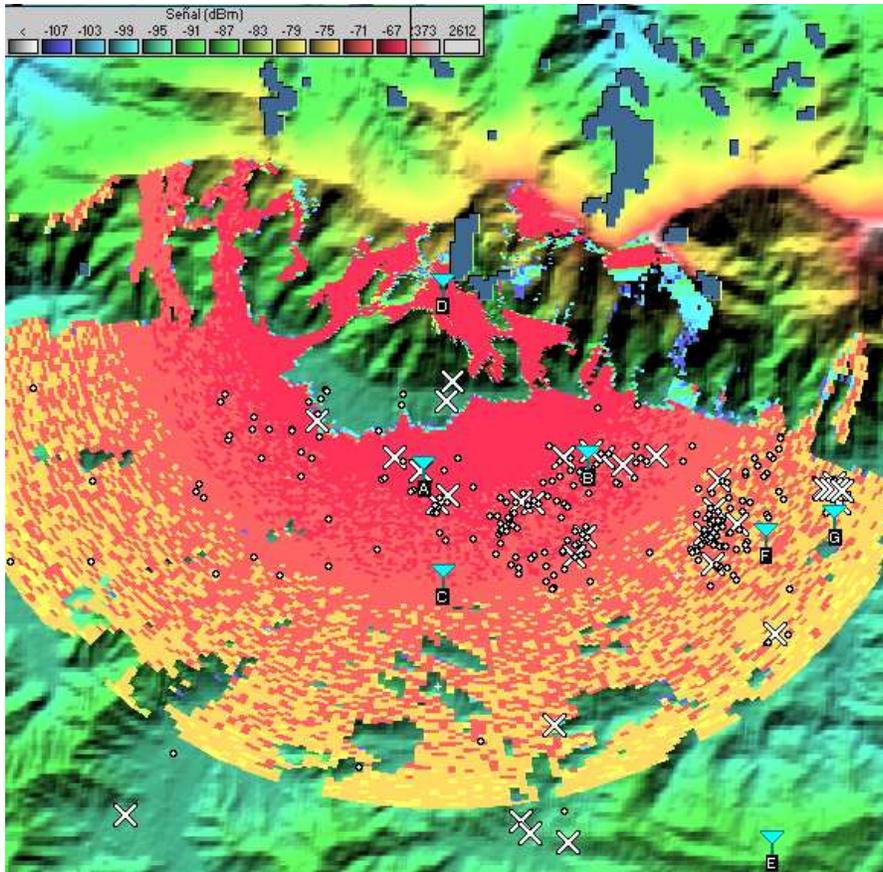


Figura 44.- Cobertura desde el Nodo D

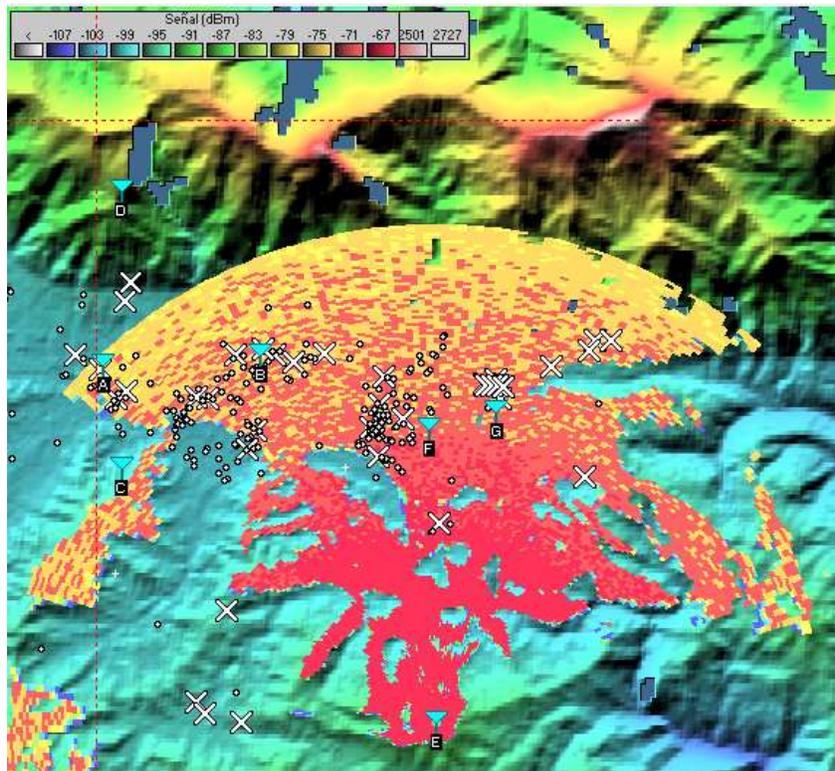


Figura 45.- Cobertura desde el Nodo E

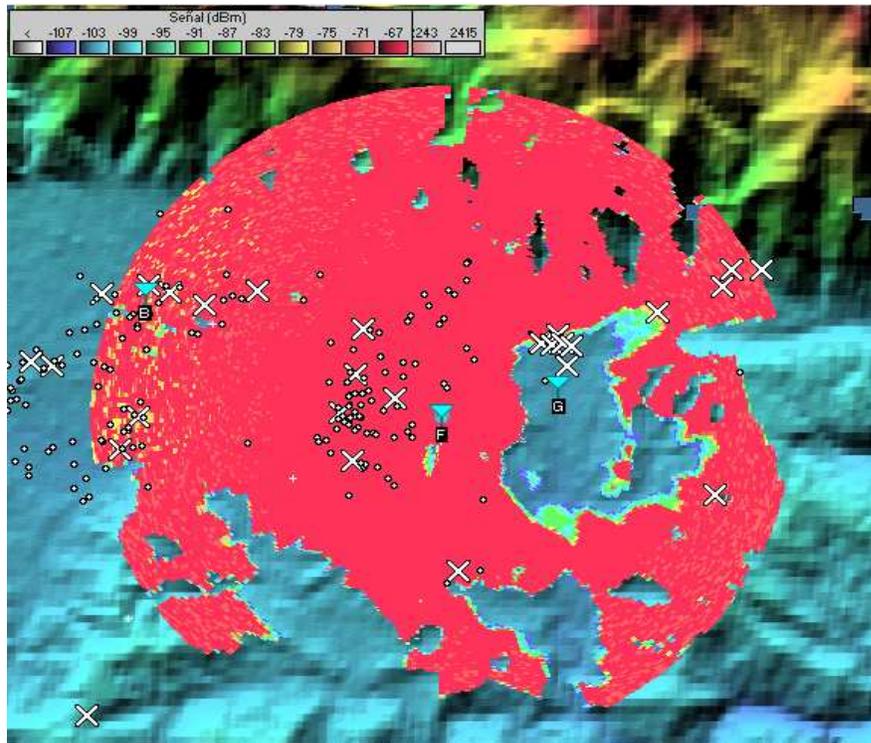


Figura 46.- Cobertura desde el Nodo F

Al observar los resultados obtenidos se evidencia que, en términos generales, los nodos cubren las zonas definidas en la sectorización propuesta, desde el punto de vista de obstáculos que se pudieran presentar en la LOS.

### 5.7 Estudio de Interferencia

Para garantizar que no se presente interferencia en el sistema se determinaron las zonas en las que el área de cobertura se solape con otros sectores, específicamente la ocasionada entre sectores con igual canalización y polaridad, lo cual constituye el caso más crítico. Para ello se halló la señal deseada ( $S_D$ ) y señal interferente ( $S_I$ ) mediante simulación en Radio Mobile, para lo cual se introdujeron los datos utilizados para el estudio de cobertura.

Los casos que se analizaron fueron:

- 1.- Interferencia en el Nodo A debido al Nodo D:

El valor  $S_D/S_I$  es mayor a 13 dB, el cual es el rango teórico estipulado que indica que no se producirá interferencia entre estos nodos.



$$S_D = -45,4 \text{ dBm}$$

$$S_I = -68,6 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 23,2 \text{ dB}$$

Fig. 47.- Simulación de interferencia en el Nodo A CH-1 debido al Nodo D CH-1



$$S_D = -41,4 \text{ dBm}$$

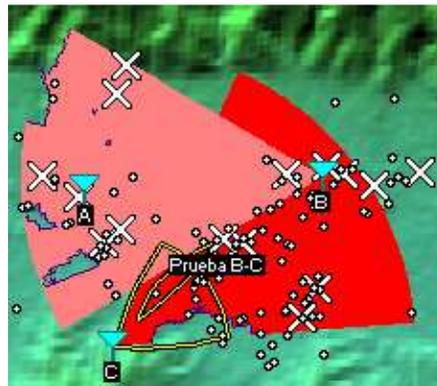
$$S_I = -66,5 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 25,4 \text{ dB}$$

Fig. 48.- Simulación de interferencia en el Nodo A CH-2 debido al Nodo D CH-2

## 2.- Interferencia en el Nodo C debido al Nodo B

En este caso no se produce interferencia porque el valor obtenido está dentro del rango teórico establecido. El CPE de Prueba se colocó en la mitad del alcance porque los clientes ubicadas en esta región de solapamiento que se encuentren más cerca del Nodo B sólo se asociarán al Nodo C si no hay LOS hacia el Nodo B.



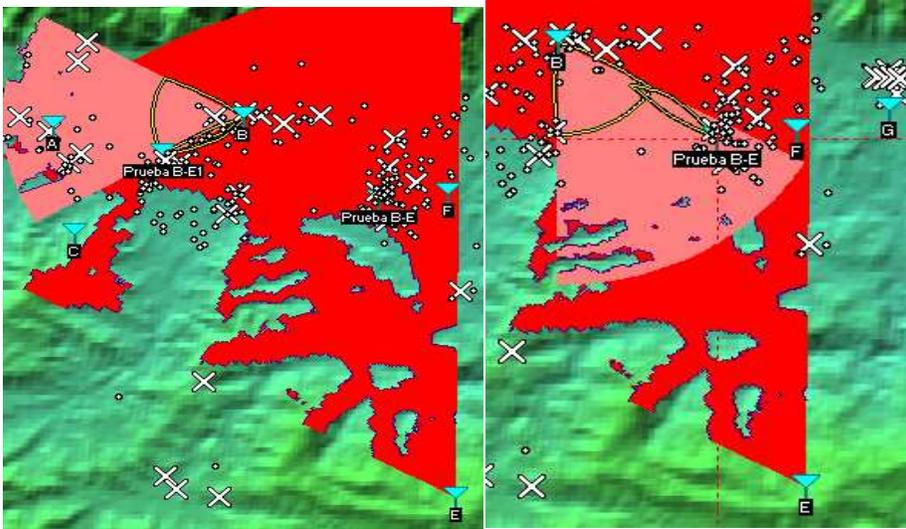
$$S_D = -44,1 \text{ dBm}$$

$$S_I = -73,5 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 29,4 \text{ dB}$$

Fig. 49.- Simulación de interferencia en el Nodo C debido al Nodo B CH-1

## 3.- Interferencia en el Nodo B debido al Nodo E



$$S_D = -45,7 \text{ dBm}$$

$$S_I = -73,5 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 27,8 \text{ dB}$$

$$S_D = -52 \text{ dBm}$$

$$S_I = -78,2 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 26,2 \text{ dB}$$

Fig. 50.- Simulación de interferencia en el Nodo B CH-1 debido al Nodo E CH-1



$$S_D = -46,5 \text{ dBm}$$

$$S_I = -80 \text{ dBm}$$

$$S_D/S_I = 33,5 \text{ dB}$$

Fig. 51.- Simulación de interferencia en el Nodo B CH-2 debido al Nodo E CH-2

Las Fig. 50 y 51 indican que no hay interferencia en el Nodo B debido al Nodo E

#### 4.-Interferencia en el Nodo F debido al Nodo D

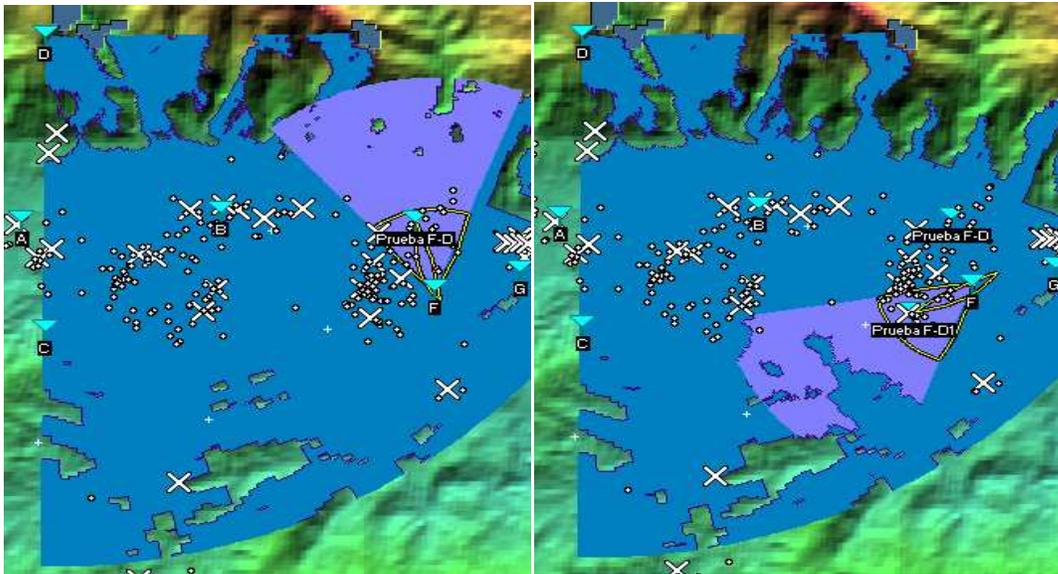


Fig. 52.- Simulación de interferencia en el Nodo F debido al Nodo D

En este caso se obtuvieron valores de 35,6 y 32,8 dB para los sectores mostrados en la Fig. 52, lo cual indica que no hay interferencia en el Nodo F debido al Nodo D.

#### 5.- Interferencia en el Nodo E debido al Nodo B

Analizando ahora el caso de la interferencia producida en el Nodo E debido al Nodo B, en la misma situación que en las Fig. 44 y 45, se obtiene valores que indican que se produce interferencia, por consiguiente sólo se podrá asociar al Nodo E clientes en estos sectores si no hay LOS hacia el Nodo B

No se realizaron los cálculos de la posible interferencia producida en el Nodo D debido al Nodo A y al Nodo F porque el diseño contempla que sólo se asocien al Nodo D clientes ubicados en esta zona si no hay LOS hacia el Nodo A o el Nodo F, respectivamente.

## **Capítulo VI.- Conclusiones**

### **6.1 Conclusiones**

La metodología utilizada en el presente trabajo es aplicable al diseño de redes de acceso inalámbrico de banda ancha en vista de que el procedimiento empleado evalúa los requerimientos que plantea una red en específico. En este caso, se determinaron las exigencias particulares de la red para realizar el diseño de la topología propuesta.

Uno de los factores fundamentales en el diseño de la propuesta fue la identificación de las limitantes para el crecimiento de la red, lo cual permitió definir los requerimientos para el diseño de la red y las pautas que se deben seguir para lograr que el mismo sea escalable. En este sentido, se determinó que la red se encontraba limitada para su crecimiento principalmente por los canales disponibles y las prestaciones de la tecnología utilizada.

En este sentido, la topografía del terreno y la ubicación de edificios y estructuras que puedan obstaculizar la LOS jugaron un rol fundamental, porque este factor limita la

cobertura ofrecida desde cada uno de los nodos. Razón por la cual, se considera necesario realizar una evaluación costo-beneficio para la adquisición de *software* especializado que permita obtener una visión más exacta de la situación real.

Es importante tener en consideración en el desarrollo de este tipo de proyectos la evaluación de los productos existentes en el mercado, porque las especificaciones técnicas de los mismos permiten definir los límites de capacidad y cobertura a tomar en cuenta en el diseño de la red.

Antes de seleccionar una topología definitiva de la red es necesario, además de evaluar los requerimientos de capacidad y cobertura y la ubicación de edificios y estructuras que pueden obstaculizar la LOS, considerar la densidad de clientes, las limitantes de la tecnología y el crecimiento estimado, con el objeto de definir los posibles escenarios que permitan satisfacer las características requeridas y, en función de ellos, elegir el que mejor satisface las necesidades de la red.

La selección de la topología definitiva debe tomar en consideración la factibilidad de implementarse a corto plazo, con el objeto de mejorar las prestaciones ofrecidas por la red lo más rápido posible. En este caso, se seleccionó el primer escenario en el que la mayor inversión que hay que realizar es la instalación del nuevo nodo, lo cual está planteado para realizarse en la última fase del proyecto.

La demanda de servicios de comunicaciones aumenta cada día, por consiguiente es fundamental tomar en cuenta el crecimiento estimado de la red. En esta oportunidad, de acuerdo a las proyecciones de crecimiento estimadas por la empresa, se propone una topología que permite aumentar la capacidad de acceso ofrecida hasta dentro de 5 años. Después de este tiempo es necesario adquirir otros canales de frecuencia para que la red pueda seguir aumentando la capacidad. Tomando en consideración que la adquisición de canales de frecuencia conlleva tiempo, se recomienda iniciar este proceso a mediano plazo con el objeto de que en el tiempo estimado ya se tenga la licencia y no se limite el crecimiento de la empresa.

## 6.2 Recomendaciones

En ciudades como Caracas, en las que hay gran densidad de clientes ubicados alrededor de edificios y estructuras que pueden obstaculizar la LOS, se recomienda aprovechar las herramientas computacionales existentes y evaluar la factibilidad económica de adquirir una licencia de un *software* más especializado que Radio Mobile, el cual permita obtener una simulación de la cobertura más ajustada a la realidad, tomando en cuenta no solo la topografía del terreno sino también la ubicación de los edificios que puedan obstaculizar la LOS.

Antes de la implementación de la propuesta desarrollada en el presente trabajo, es recomendable realizar pruebas de campo que garanticen la cobertura y la relación de  $S_D/S_I$  obtenidas en las simulaciones realizadas.

Tomando en cuenta que en la topología propuesta hay diversos nodos en los que hay varios sectores colocados de forma adyacente, se recomienda instalar las antenas de cada uno de los sectores en aristas diferentes de una torre o en distintos mástiles, con el objeto de evitar posibles interferencias entre dichos sectores, ocasionadas por la ubicación de las antenas.

Con el objeto de optimizar los recursos necesarios y aumentar la capacidad de la red a corto plazo, se recomienda migrar, en primer lugar, enlaces PMP de acuerdo a su ancho de banda dándole prioridad a los enlaces con capacidad menor o igual a 1 Mbps, porque esto permitirá asociar un mayor número de clientes/modem y, posteriormente, los enlaces con capacidad superior a 1 Mbps.

## Bibliografía

- [1] Forouzan, B. (2002). Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones.
- [2] Cisco Inc. (2006). Guía del primer año CCNA 1 y 2. (Tercera Edición).
- [3] Horak, R. (2002). Communication Systems and Networks. USA: Wiley
- [4] V.35 connector. (sf). Disponible: <http://homepage.tinet.ie/~team289t/data/v35.html>.  
[Consulta: 2008, Enero]
- [5] Lejed, M. (2007). Apuntes de Tecnología de Acceso de Última Milla. Caracas: U.C.V
- [6] UIT-T. (1993). Velocidades binarias de la jerarquía digital. Recomendación UIT-T G.702 (Extracto del Libro Azul). Caracas: Autor.
- [7] La ley orgánica de las Telecomunicaciones (Artículo 69 y 70). Gaceta oficial N° 36.970 del 12 de Junio del 2000.
- [8] Anderson, H. (2003). Fixed Broadband Wireless System Design. USA: Wiley.
- [9] Goldhamer, M. (sf). ETSI BRAN Technical Committee. Disponible: [http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/documents/Busan/Session3\\_ETSIبران.pdf](http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/documents/Busan/Session3_ETSIبران.pdf) [Consulta: 2008, Enero]
- [10] Intel (2003). IEEE 802.16 and WiMAX.
- [11] Andrews, J., Ghosh, A., Muhamed, R. (2007). Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking. USA: Prentice Hall.

- [12] Alvarion. (2003). Broadband Wireless Access. WISP Cookbook.
- [13] Clark, M. (2000). Wireless Access Networks: Fixed Wireless Access and WLL Networks – Design and Operation. USA: John Wiley and Sons.
- [14] Interferencias radioeléctricas. (sf). Disponible: <http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/jruiz/jairocd/texto/usm/ci/1515ire.pdf>. [Consulta: 2008, Febrero]
- [15] Diccionario de la lengua española. (sf). Disponible: [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=densidad](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=densidad). [Consulta: 2008, Febrero]
- [16] Walkair 1000 Striding the Last Mile. (2001). Disponible: [http://www.rct.bg/files/DOWNLOAD/DOWNLOAD\\_18\\_sm.pdf](http://www.rct.bg/files/DOWNLOAD/DOWNLOAD_18_sm.pdf). [Consulta: 2008, Marzo]
- [17] AirStar Product Overview. (2002). Disponible: [www.gestocomm.cz/gedl.php?prdatasheet=NetroAirStar.pdf](http://www.gestocomm.cz/gedl.php?prdatasheet=NetroAirStar.pdf). [Consulta: 2008, Marzo]
- [18] Canada's SR Telecom to acquire Netro. (2003). Disponible: <http://www.internetnews.com/bus-news/article.php/2171221>. [Consulta: 2008, Marzo]
- [19] Alvarion. (2007). China Netcom, Tibet Broadband Wireless at the Top of the world. Disponible: [http://www.alvarion.com/upload/contents/291/CS\\_China\\_Netcom\\_Tibet.pdf](http://www.alvarion.com/upload/contents/291/CS_China_Netcom_Tibet.pdf). [Consulta: 2008, Marzo]
- [20] Infraestructura de Telecomunicaciones. (sf). Disponible: <http://www.scribd.com/doc/208468/Infraestructura-de-Telecomunicaciones>. [Consulta: 2008, Febrero]
- [21] UIT-T. (1999). Velocidades binarias de la jerarquía digital. Recomendación UIT-T G.703 (Extracto del Libro Azul). Caracas: Autor.