

**IMPLEMENTACION DE UNA RED DE BANDA ANCHA INALAMBRICA A NIVEL  
DE ACCESO EN LA CIUDAD DE CALI**

**YESID FERNANDO SOSSA MENDOZA**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESPECIALIZACION EN REDES Y COMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2006**



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA A NIVEL  
DE ACCESO EN LA CIUDAD DE CALI**

**Yesid Fernando Sossa Mendoza**



**UNIVERSIDAD ICESI  
ESPECIALIZACIÓN EN REDES Y COMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2006**



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA A NIVEL  
DE ACCESO EN LA CIUDAD DE CALI**

**Yesid Fernando Sossa Mendoza**

**Trabajo presentado para optar al título de Especialista en Redes y  
Comunicaciones**

**UNIVERSIDAD ICESI  
ESPECIALIZACIÓN EN REDES Y COMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

**Aprobado por el comité de trabajo en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad ICESI para optar al título de Especialista en Redes y Comunicaciones**

**Director de la Especialización**  
**Ing. Alvaro Pachón de la Cruz**

**Jurado**

**Jurado**

**SANTIAGO DE CALI, DICIEMBRE DE 2006**

A mi familia...

Ver un mundo en un grano de arena  
Y un cielo en una flor silvestre  
Sostener el infinito en la palma de tu mano  
Y la eternidad en una hora

William Blake (Augurios de Inocencia, S.XVIX)

Si lloras por haber perdido el sol, las lágrimas no te dejarán ver las estrellas.

Rabindranath Tagore

## **TABLA DE CONTENIDO**

	<b>PAG</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>OBJETIVO</b>	<b>7</b>
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
<b>ALCANCE</b>	<b>8</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
1.1 Penetración del servicio de banda ancha en Cali	9
<b>2. SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO</b>	<b>15</b>
<b>2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA INALÁMBRICO</b>	<b>17</b>
2.1.1 Usuario	18
2.1.2 Medio Físico	19
2.1.3 Estación Base	19
<b>2.2 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA</b>	<b>20</b>
2.2.1 Factores de Diseño	21
2.2.2 Validación y Selección	23
2.2.3 Análisis	27
2.2.4 Selección	27
<b>2.3 TECNOLOGÍA SELECCIONADA</b>	<b>28</b>
2.3.1 Firmware	31
2.3.2 Elementos de la Tecnología	31
2.3.3 Método de Conexión de Aire	33
2.3.4 Sistemas de Gestión	34
2.3.5 Calidad de Enlace	35
2.3.6 Servicios Ofrecidos	35
2.3.7 Descripción de la Operación de los Servicios	37
<b>3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>38</b>
<b>3.1 IMPLEMENTACIÓN INICIAL</b>	<b>38</b>
3.1.1 Radiobase	38
3.1.2 Cliente	40
3.1.3 Inconvenientes asociados con la ejecución	41
3.1.4 Crecimiento de la red de Acceso	44
3.1.5 Inconvenientes asociados a la ejecución	50
3.1.6 Consideraciones de Capacidad WipLL según la Modulación	55
3.1.7. Evaluación Crítica del Proyecto	58

## **4. CONCLUSIONES**

**60**

### **BIBLIOGRAFIA**

#### **ANEXO 1**

**Redes basadas en IP Wireless Local Loop'**

#### **ANEXO 2**

**BER Y RATE DE LAS SPRs SOBRE LA BSR**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribución Suscriptores Dedicados vía fibra óptica, cobre o radio a diciembre de 2003	9
Figura 2 Distribución de los Clientes Conmutados de Internet en Colombia - diciembre 2003	10
Figura 3 Acceso Conmutado por Demanda a diciembre de 2003	11
Figura 4. Suscriptores dedicados por BW vía FO, cobre o radio. Dic 2003	12
Figura 5. Suscriptores con acceso xDSL – Diciembre 2003	13
Figura 6. Medio de Acceso a Internet Grandes Empresas.	14
Figura 7. Elementos de un sistema de acceso inalámbrico fijo	18
Figura 8. Arquitectura de una red Wireless IP	30
Figura 9. Ganancia y ángulo de apertura de una SPR	32
Figura 10. Esquema de la solución en el lado del cliente	36
Figura 11 Instalación recomendada en clientes	40
Figura 12 Análisis de Interferencia en 5.7 para la radiobase Centro	46
Figura 13 Análisis de Interferencias en 5.7 para la radiobase "Torre de Comunicaciones"	47
Figura 14 Análisis de Interferencia en 2.4 para la radiobase Sur	48
Figura 15 Análisis de Interferencia en 5.7 para la radiobase Sur	49
Figura 16 Estado inicial BSRs	51
Figura 17 Estado Final BSRs	52
Figura 18 Análisis Interferencia Celda Centro	53
Figura 19 Análisis Interferencia 2.4 Ghz en Torre de Comunicaciones hacia Acopi	54
Figura 20 BER por SPRs en una misma BSR	56
Figura 21 Rate por SPRs en una misma BSR	57

## **LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA 1 Diferencias entre las Arquitecturas de Red</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 2 Tipo de Arquitectura por Proveedor</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 3. Descripción de VLANs asociadas a los servicios</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 4. Esquema de Saltos de Frecuencia</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 5 Saltos de Frecuencia para la celda Centro</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 6 Saltos de Frecuencia para la celda Torre de Comunicaciones</b>	<b>54</b>
<b>TABLA 7. Resultados del Throughput</b>	<b>57</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1 Descripción Plataformas Conmutadas, Paquetes y Mixtas**  
**Anexo 2. Graficas de BER y Rate de las SPRs**

## **INTRODUCCIÓN**

Cada día se ven nuevas empresas ingresando al mercado de banda ancha. La creciente demanda está determinada por el aumento en el volumen de datos transmitidos sobre Internet, el creciente número de procesos y aplicaciones destinadas a realizarse en línea y en como las empresas van integrando las redes con la operación central de su negocio. Es un hecho, como lo vemos en la actualidad, que la demanda ha venido de las PYMES, de las SOHO, de los conjuntos y edificios residenciales y de las universidades [3].

Toda empresa que decide ofrecer banda ancha debe regirse por un esquema común para prestar sus servicios, y así estar a tono con los nuevos esquemas de comunicaciones que permiten maximizar la operación de los recursos y la rápida identificación de fallas. Un ejemplo claro de esto es el esquema Acceso – Backbone – Servicios.

De igual forma todas tienen un cuello de botella: ¿Cómo llegar al usuario final de una forma rápida, económica y estable? La respuesta determinará en gran medida la satisfacción del usuario final, dado que en la etapa de acceso se presenta la mayoría de los problemas asociados a un canal de comunicaciones.

Los sistemas inalámbricos se presentan como una idea atractiva ya que contribuyen en la disminución de los costos de implementación, ejecución, operación y mantenimiento de nuevas infraestructuras de red.

Basándose en estadísticas y en estudios de mercado se determinó una baja cobertura en conexiones por banda ancha en la ciudad de Cali, lo cual fue verificado cuando el sistema previsto inicialmente por la empresa para ofrecer el servicio fue completamente copado.

El trabajo presentado procura describir el desarrollo e implementación de una red de acceso inalámbrico de Internet en la ciudad de Cali describiendo el proceso seguido para su montaje, detallando la ejecución, los problemas sobre la marcha y la estabilización del producto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Describir el proceso de implementación y mejoramiento de una red de acceso inalámbrico de alcance metropolitano, que permita prestar servicios de Internet banda ancha, dedicado, canales de voz y redes privadas virtuales

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Informar el estado de la prestación de servicios de banda ancha a la fecha de ejecución del proyecto.
- Detallar los componentes básicos de una red de acceso inalámbrico para establecer los pasos requeridos para el levantamiento de la red.
- Justificar el tipo de tecnología implementada a través de la descripción del esquema de radiofrecuencia, las funciones de red que soporta, la gestión de equipos y los tipos de servicios que se pueden ofrecer por medio de esta.
- Describir las pruebas realizadas para establecer los problemas reportados y la solución efectuada.
- Documentar el esquema de red de acceso construido.

## **ALCANCE**

A Diciembre de 2003, el número de usuarios por enlaces dedicados o de banda ancha es relativamente bajo para la ciudad de Cali. El informe semestral de Internet de 2003<sup>1</sup>[2] menciona que el número de conexiones de banda ancha está en 668 usuarios. Según el mismo informe, los usuarios por cable son casi inexistentes y una de las razones es el alto costo que implica el tendido de redes para ofrecer el servicio. Dada la poca oferta de banda ancha en la ciudad de Cali y el deseo de la empresa de ingresar a ofrecer servicios de Internet y redes privadas virtuales, se implementó un esquema de acceso inalámbrico para no cargar los costos de infraestructura técnica al usuario y para salir a competir rápidamente.

Este tipo de proyectos contemplan esquemas de Acceso, Backbone y Servicios. Para este trabajo se detallará el nivel de acceso, en particular, se centrará en la información detallada por el informe presentado por la CRT en el 2003 en la sección concerniente a redes TMC<sup>2</sup>.

Se desea describir las características de cada uno de las secciones en las cuales se apoyó el proyecto, detallando la implementación, los problemas sobre la marcha y la estabilización del producto.

---

<sup>1</sup> Reporte de Internet en Colombia. Sección 2.2 "Suscriptores dedicados". Se tienen en cuenta 3 tipos: 1. Enlaces permanentes sobre medio óptico, par de cobre o enlace de radio; 2. Acceso a través de xDSL sobre pares telefónicos convencionales y 3. Acceso vía cable por medio de redes de cable coaxial o híbridas fibra óptica - cable coaxial.

<sup>2</sup> [6] Tabla 11. Elementos de red e instalaciones esenciales críticas para servicios inalámbricos. identificadas por tipos de estructuras de red

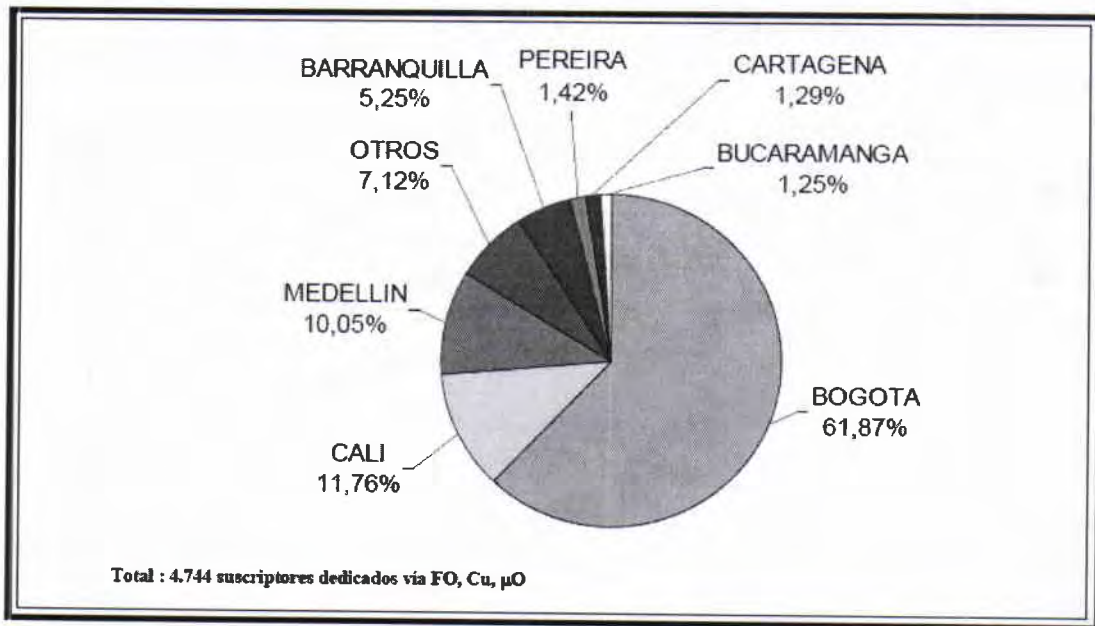


## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 PENETRACIÓN DEL SERVICIO DE BANDA ANCHA EN CALI

A Diciembre de 2003, el número de usuarios de banda ancha es relativamente bajo para la ciudad de Cali. El informe semestral de Internet de 2003[1] menciona que el número de conexiones de banda ancha está en 668 usuarios<sup>3</sup>.

**Figura 1.** Distribución Suscriptores Dedicados vía fibra óptica, cobre o radio a diciembre de 2003



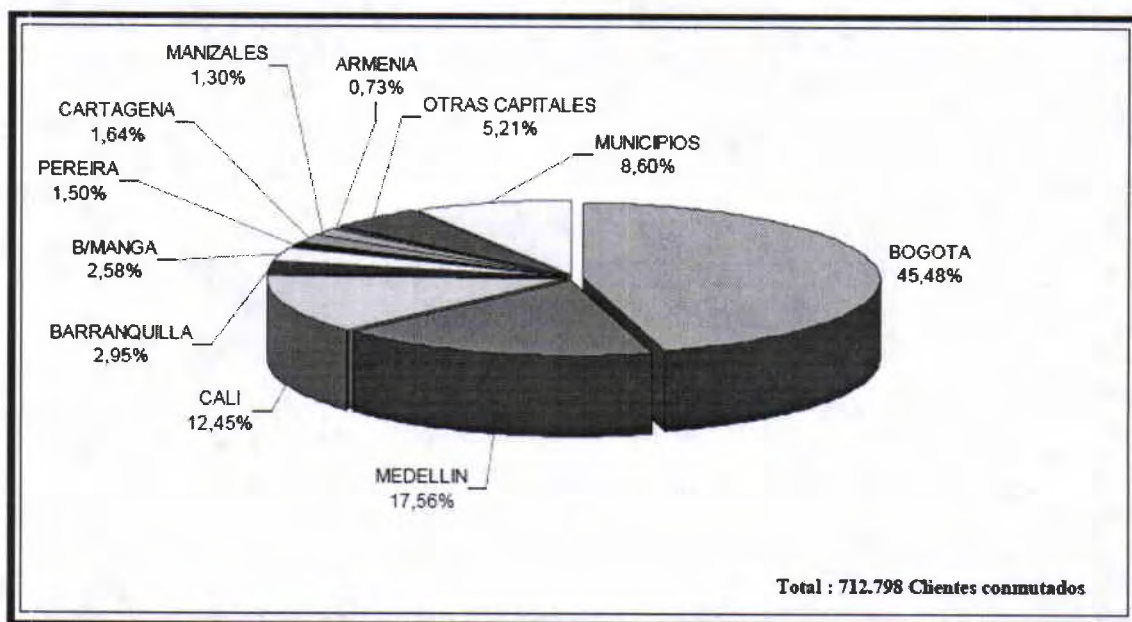
<sup>3</sup> Se diferencian 3 tipos de suscriptores dedicado:

- Aquellos que cuentan con acceso a la red a través de enlaces permanente sobre medios como fibra óptica, pares de cobre o enlaces de radio
- Los accesos a través de tecnologías xDSL sobre pares telefónicos convencionales
- Los accesos vía cable por medio de redes de cable coaxial o híbridas fibra óptica - cable coaxial

Esto contrasta con las cifras presentadas por el mismo informe con relación a los accesos por medio conmutado o por demanda; no es gratuito que Cali sea la tercera ciudad en acceso por medio conmutado y la segunda por acceso bajo demanda, dada la poca penetración de ofertas de banda ancha<sup>4</sup>

Aunque no todos los usuarios conmutados están dispuestos a pagar un acceso permanente a Internet, básicamente por el costo [3], llama la atención la diferencia entre el número de clientes por acceso conmutado o por demanda contra el número de clientes por banda ancha (Figuras 2 y 3).

**Figura 2.** Distribución de los Clientes Conmutados de Internet en Colombia - diciembre 2003 [2]



Esto tiene sustento en el tipo de usuario del servicio (Residencial y PYMES) [3]. Los usuarios con un mayor interés en usar la banda ancha son aquellos que tienen un contacto de tiempo atrás con Internet, saben de su potencial, les es útil

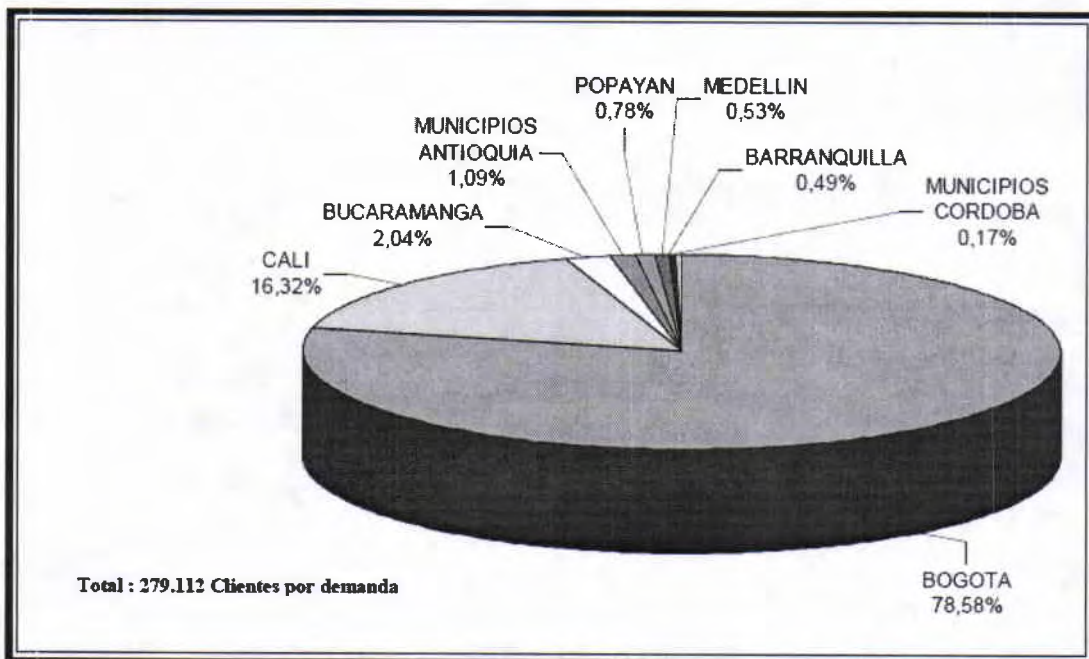
<sup>4</sup> "El acceso conmutado por demanda es una opción interesante para aquellos usuarios que por su necesidad de desplazamiento o por sus requerimientos puntuales necesitan conectarse a Internet esporádicamente y por períodos de tiempo cortos." [2]

para desarrollar sus tareas, y no migran a conexiones de banda ancha, entre otras razones, por los altos costos suministrados por aquellos proveedores que tienen gran cobertura en la ciudad<sup>5</sup>.

Asociado a la barrera de precio, se encuentra el costo de desarrollo de la red y el canal internacional. [3]; el factor precio hace que las ofertas de acceso banda ancha se estén dirigiendo inicialmente a los mercados de Pymes, donde se cuenta con mayores recursos.

Siendo el precio un factor muy influyente, existen otros factores que son simbióticos con la baja penetración del servicio: La falta de educación en el ámbito tecnológico; el uso que se da hoy en día al servicio de Internet, sumado en algunos casos al desconocimiento y falta de aplicaciones robustas cuya utilización requiere banda ancha (intercambio de archivos, videoconferencia, VoIP).

**Figura 3.** Acceso Conmutado por Demanda a diciembre de 2003 [2]

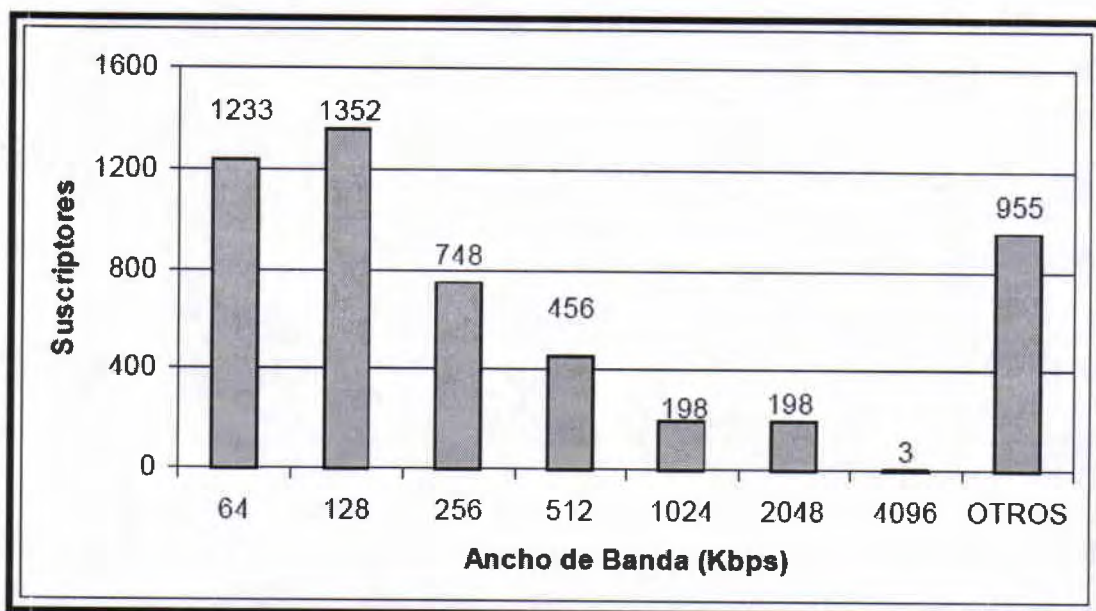


<sup>5</sup> Los proveedores con gran cobertura son aquellos que brindan Internet con tecnologías inalámbricas, punto a punto y satelital. Los proveedores con anillos de fibra y cable que suministran el servicio tienen un costo inferior (sin dejar de ser costoso) pero están limitados a áreas específicas.

Visto de esta forma, el grado de satisfacción con el servicio es bueno ya que los usuarios no necesitan de una conexión por banda ancha, en teoría, dado que una navegación básica cumple con sus expectativas. Por ende, los operadores locales no promueven estrategias de mercadeo más agresivas para incrementar la población interesada y de ahí surge su poco interés por migrar clientes de banda angosta a banda ancha.

Como dato adicional, la CRT confirma que las velocidades más solicitadas en un acceso dedicado en el ámbito nacional, en este caso xDSL, son 128 Kbps y 256 Kbps, es decir aquellas que presentan una mejora sustancial frente a las velocidades máximas obtenidas con un acceso conmutado.

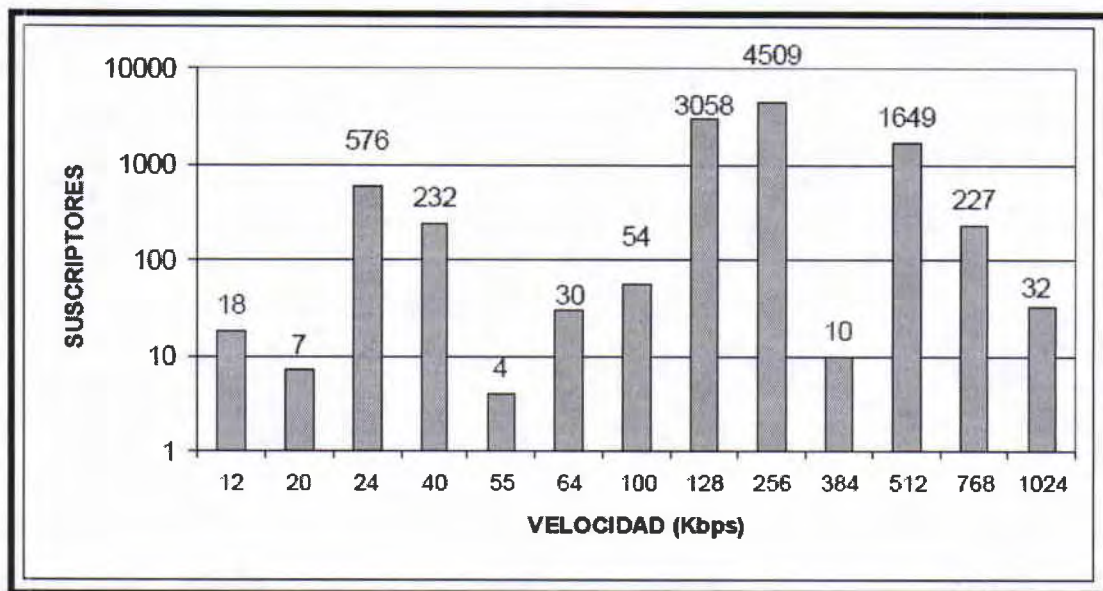
**Figura 4.** Suscriptores dedicados por BW vía FO, cobre o radio. Dic 2003<sup>6</sup> [4]



<sup>6</sup> Fuente CRT; escala logarítmica



**Figura 5.** Suscriptores con acceso xDSL – Diciembre 2003<sup>5</sup> [4]



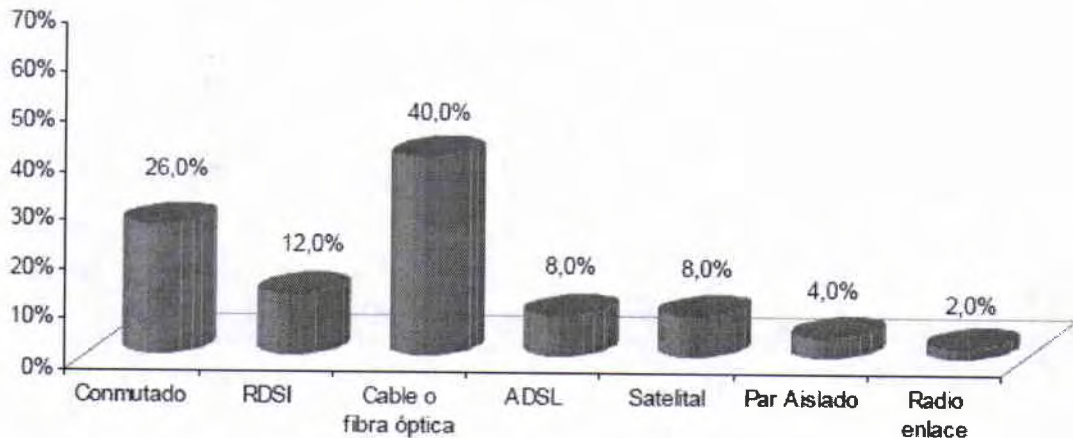
En Cali sólo dos empresas prestan el servicio de xDSL y lo hacen por puntos estratégicos donde corren sus anillos de fibra óptica, redes de cables o sus tendidos independientes de la telefónica local. Estos anillos no cubren toda la ciudad y a fecha del 2003 no presentan niveles de crecimiento para atender la demanda, razón por la cual se presentan los altos consumos de Internet conmutado.

El esquema de acceso por radio es el menos utilizado por razones de mercado y de uso del espectro. Inicialmente los accesos estaban dedicados a la transmisión en el nivel de Backbone (operadores principalmente y VPNs de ciertas empresas) pero con el advenimiento de la era de Internet, los operadores empezaron a ofrecer accesos cuya implementación implicaba uso exclusivo del espectro electromagnético (licencias otorgadas por el Ministerio) y por tanto un elevado costo que es transferido por el proveedor del servicio al cliente.

Con el advenimiento de la tecnología de Spread Spectrum esto cambió un poco, y ahora hay presencia de accesos de 128Kbps y 256 Kbps. No obstante, a fecha de

2003, su uso no tiene la masificación de las tecnologías de cable, y sólo se presenta en grandes empresas como se constata en la siguiente gráfica.

**Figura 6.** Medio de Acceso a Internet Grandes Empresas [3]



Cabe aclarar que todo el tiempo se está hablando de esquemas punto a punto. Existe otra tecnología denominada LMDS la cual trabaja en esquema punto a multipunto, sin embargo, el costo asociado de sus equipos y la frecuencia asignada sumado a la restricción por distancia máxima desde la radiobase, coaccionan su expansión. Este es un servicio que sólo se ofrece a empresas.

Los sistemas satelitales pueden considerarse como esquemas punto a multipunto y cuentan con las ventajas de la ubicuidad y la fácil instalación, pero el costo asociado al ancho de banda, sumado al retardo de propagación intrínseco lo limita a grandes empresas[3].



## 2. SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO

Colombia ha estado presentando un crecimiento sostenido en la prestación de servicios de Internet por banda ancha. Las empresas que ofrecen este tipo de conexiones se basan en modelos con tres secciones: Acceso, Backbone y Servicios [8].

El Acceso provee la conectividad a los equipos directamente involucrados en la prestación del servicio a la red (centrales telefónicas, módems ADSL, nodos inalámbricos y demás). En el contexto de las redes de conmutación de paquetes los nodos de acceso proveen también funcionalidades de agregación de tráfico, sumarización de tablas de enrutamiento y de aplicación de políticas de calidad de servicio.

El Backbone o Core de la red debe, entre otras tareas, cursar grandes volúmenes de tráfico entre los puntos de presencia (POPs) de la red de acceso con un muy elevado grado de confiabilidad. Aquí hacen presencia los routers y switches de tráfico pesado en tecnologías como ATM y MPLS.

Los Servicios son todas las aplicaciones que se pueden prestar sobre la red: Entre muchos tenemos: Servicios de Presentación, como los servidores Web; Servicios de Aplicación, las aplicaciones y programas de software de los usuarios; Servicios de Información, las bases de datos son su paradigma; y Servicios de Gestión y Seguridad, como firewalls, servidores de autenticación y VPNs.

La parte más costosa y más susceptible a fallas es el área de Acceso (incluye el usuario final, el CPE<sup>7</sup> y el último kilómetro) y por tanto es el punto donde los operadores de servicios buscan la mejor relación costo beneficio.

Dada la naturaleza de su operación, estas redes no son consideradas WAN, su área de operación esta restringida a máximo 20 Km. y por eso pertenecen a la categoría MAN.

---

<sup>7</sup> Customer Premise Equipment, es el equipo por el cual el operador puede ofrecer el servicio e interconectar la red del cliente con su esquema de distribución.

Una manera rápida de implementar este tipo de servicios es usando un medio como el aire, el cual, dependiendo del tipo de tecnología utilizada, posee requerimientos técnicos específicos; por ejemplo: Cobertura deseada, frecuencias asignadas, licencia por uso del espectro y demás. Sin embargo, este tipo de canales de comunicación tienen como característica común la necesidad de línea de vista.<sup>8</sup>

A continuación se mencionan algunas características de un sistema inalámbrico:

**Nomadicidad.** Contando con cobertura y línea de vista, cambiar de ubicación carece de complejidad.

**Facilidad.** La instalación de equipos depende del tipo de tecnología. Pero en general, al no ser necesario disponer de líneas de postes o cavar zanjas, se reduce el tiempo de instalación y las molestias a la comunidad

**Flexibilidad.** Permite llegar donde el cable no puede.

**Reducción de costes.** Cuando se dan cambios frecuentes o el entorno es muy dinámico el costo inicial de la red es significativamente más bajo en comparación a redes cableadas, además de tener mayor tiempo de vida y menor gasto de instalación.

**Escalabilidad.** Las instalaciones se van realizando conforme a las necesidades del sistema sin necesidad de inversiones iniciales elevadas. En sistema punto a multipunto con varios puntos de concentración este es un factor que permite cambios de topología de manera sencilla.

**Integridad.** Existe mayor protección frente a posibles intromisiones para “escuchar” el tráfico que cursa sobre el sistema. También existe una mayor facilidad para proteger los sistemas de radio ante actos vandálicos o robos

---

<sup>8</sup> El concepto de línea de vista viene de las leyes de Fresnel. Es necesario que la primera zona de Fresnel este libre de obstáculos para garantizar que el enlace no presentará perturbaciones en la señal radioeléctrica.

La clave para lograr una penetración a gran escala de los sistemas de banda ancha en medios inalámbricos consta de dos partes:

- 1 Disponer de un esquema de distribución punto a multipunto con capacidad de procesamiento suficiente para atender a sus usuarios.
2. Contar con cobertura amplia por radiobase disponiendo del número necesario para obtener ubicuidad

Estas características hacen que las soluciones sin hilos sean, en principio, las más adecuadas para operadores entrantes, que tienen una base de clientes reducida, y para lugares donde no hay una infraestructura previa y donde es preciso realizar instalaciones muy rápidamente.[5]

## **2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA INALÁMBRICO**

Los esquemas de distribución por medios inalámbricos tienen un diseño muy similar al de las comunicaciones celulares, con la diferencia que el equipo terminal del usuario no es un dispositivo móvil, es una antena de ubicación fija (por lo general en la parte superior de los edificios). El diseño maneja un esquema de estaciones bases comúnmente llamadas radiobases<sup>9</sup> interconectadas por radio o fibra óptica (backhauling).<sup>10</sup>

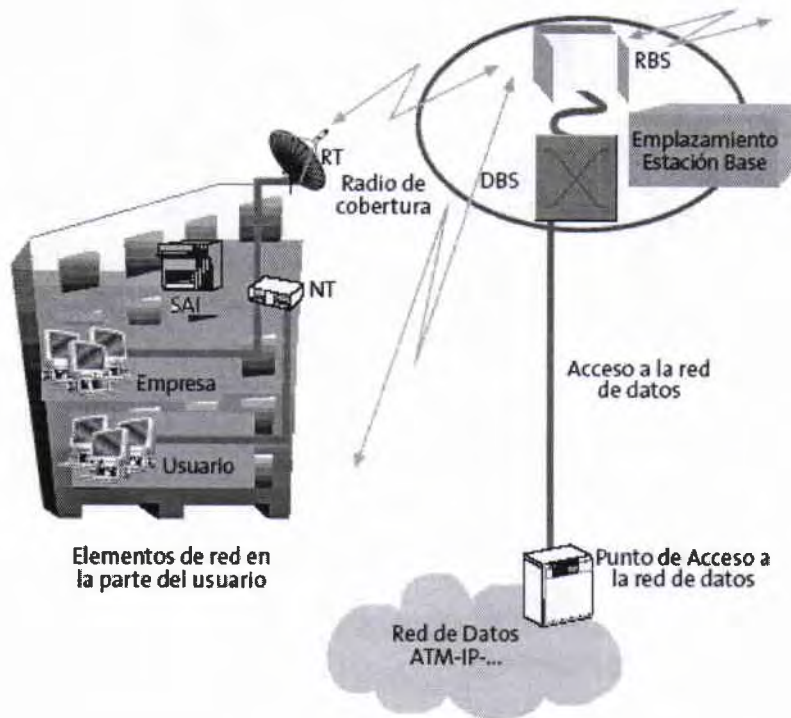
La figura siete representa como trabaja un sistema inalámbrico.

---

<sup>9</sup> En el argot técnico se usa indistintamente el término radiobase como sinónimo de estación base; sólo se hará diferencia para mencionar los componentes de una estación base.

<sup>10</sup> Conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación. Un Backhaul es usado para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.

**Figura 7.** Elementos de un sistema de acceso inalámbrico fijo [5]



El recorrido dado por la interconexión es el siguiente:

Usuario – Radiobase - Enlaces de Backbone - Punto de conexión al Backbone

Situándose en el área de acceso, se observa como se incrementa la complejidad y la importancia de las radiobases como elemento central de distribución del servicio. Para este trabajo, el acceso estaría representado por el usuario, el medio físico aire y por las radiobases de concentración.

**2.1.1 Usuario.** El usuario es visto como el ente que interactúa con el servicio y cuya comunicación se establece a través del CPE. Básicamente se tiene una antena que capta la señal emitida por la estación base, la recoge un equipo que la entrega al cliente. Esta entrega comprende las diferentes interfaces para lograr la conexión con los equipos del usuario.

**2.1.2 Medio Físico.** El aire considera el radio de cobertura, el ancho de banda y las interferencias por obstáculos o radiofrecuencia.

**2.1.3 Estación Base.** La estación base maneja dos elementos:

**Radio Base Station (RBS):** Hace referencia al tipo de antena (omnidireccional o sectorial), el número de estas y el tipo de dispositivos que se instalan. Se ponen sobre estructuras o edificios ya existentes, o sobre torres de transmisión cuya altura permita la máxima reducción de sombras y el mayor éxito de factibilidades por línea de vista.

**Digital Base Station (DBS):** Son los equipos que concentran la información proveniente de los clientes en los distintos sectores y además sincronizan las celdas. La función principal es adaptar la interfaz radio a un medio guiado (modulación y desmodulación de las señales de radiofrecuencia), además de procesar los protocolos de acceso al medio. [5]

La estación base está conformada no sólo por los equipos que recogen la señal, también comprende los medios que le dan soporte a ella.

En este trabajo se consideró la descripción suministrada por la CRT para el caso de un operador celular dadas las similitudes entre el esquema de trabajo de una BTS y el de una radiobase para un sistema de banda ancha inalámbrica.

Los puntos que se deben considerar para saber si un sitio se puede considerar como apto para establecer una radiobase son:

- La parte del espectro electromagnético asignada para la operación central y otros servicios.
- Torres, mástiles y antenas ubicadas en estaciones bases.
- Enlaces radioeléctricos o enlaces de fibra (Backhauling).

- Terrazas de edificios, terrenos y cerros de propiedad de este tipo de operadores.
- Terrazas de edificios, terrenos y cerros de propiedad de este tipo de operadores.
- Cuartos de equipos en estaciones base.
- Acceso a servicios de energía y suministro de energía rectificada y aire acondicionado.
- Acceso y uso de infraestructura civil, vías, caminos y puentes de propiedad del operador. [3]

A esta lista se pueden agregar dos factores

- Estudio de interferencias para ratificar la disponibilidad del espectro.
- Estudio de mercadeo para justificar el montaje de una radiobase y obtener un mínimo de clientes potenciales.

## **2.2 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.**

Una vez se ha establecido los pasos previos, la selección de la tecnología debe regirse por los mismos. Adicionalmente, al inicio del proyecto se decidieron los siguientes puntos generales para seleccionar el tipo de tecnología:

**La tecnología debía ser punto a multipunto:** como se mencionó anteriormente, de esta forma se puede capturar muchos más usuarios.



**Espectro libre:** para reducir el costo de implementación y el precio al usuario final, el sistema debía trabajar en frecuencias pertenecientes al espectro libre<sup>11</sup> (2.4 Ghz y 5.8 Ghz)<sup>12</sup>.

**Integración:** se buscaba una integración con las nuevas redes de telecomunicaciones y con la plataforma implementada al nivel de Backbone la cual es MPLS. Es crucial poder trabajar en el estándar IP y tener QoS para ofrecer servicios diferenciados.

**2.2.1 Factores de diseño:** Teniendo en cuenta estos puntos se pasó a considerar los factores de diseño.

**Cobertura.** La distancia que pueden alcanzar las ondas de Radiofrecuencia (RF) es función del diseño del producto, del camino de propagación y de la ubicación de las radiobases.

**Método de acceso y su implementación.** El funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones se basa en permitir a los usuarios un acceso ordenado a los recursos optimizando los parámetros básicos de la comunicación; dependiendo del método y su implementación se resuelve la relación ancho de banda-usuario.

**Rendimiento.** Depende de la puesta a punto de los productos así como del número de usuarios, de los factores de propagación (cobertura, diversos caminos de propagación), y del tipo de sistema inalámbrico. Igualmente depende del retardo y de los cuellos de botella de la parte cableada de la red.

---

<sup>11</sup> De acuerdo con la Resolución 000689 de 21 de abril de 2004, se atribuyen en las bandas de frecuencias comprendidas entre 902 – 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz, 5 150 – 5 250 MHz, 5 250 – 5 350 MHz, 5 470 – 5 725 MHz y 5 725 – 5 850 MHz; para ser utilizadas libremente por parte del público en general a título secundario, en la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen en su operación sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, en las condiciones de operación descritos en el artículo 6° y 7° de la citada Resolución.

<sup>12</sup> Existen diseños de alta frecuencia pero las bajas frecuencias tienen un alcance superior de 15 – 20 Km., y las frecuencias superiores presentan una distancia máxima de 2 a 5 km. En contraprestación los sistemas de alta frecuencia cuentan con mayores anchos de banda y por tanto pueden ofrecer mayores velocidades[5]

**Compatibilidad con las redes existentes.** En general los dispositivos inalámbricos proporcionan interconexión con redes cableadas en normas como Ethernet o Token Ring. Los nodos de la red inalámbrica deben ser soportados por los sistemas de red como un elemento más en la red.

**Interoperatividad de los dispositivos.** Diferentes tecnologías no interoperarán. Por ejemplo, un sistema basado en la tecnología de Frecuencia esperada (FHSS), no comunicará con otro basado en la tecnología de Secuencia directa (DSSS). Sistemas que utilizan distinta banda de frecuencias no podrán comunicar aunque utilicen la misma tecnología.

**Interferencia y coexistencia.** Dada la naturaleza de las redes inalámbricas todo dispositivo que transmita en la misma frecuencia puede potencialmente dar cierto grado de interferencia. La mayor parte de fabricantes diseñan sus productos teniendo en cuenta las interferencias por radiofrecuencia. Sin embargo, la coexistencia de varias redes inalámbricas en lugares próximos, puede generar inconvenientes. Mientras unas redes inalámbricas de unos fabricantes interfieren con otras redes inalámbricas, hay otras redes que coexisten sin interferencia.

**Escalabilidad.** Las redes inalámbricas pueden ser diseñadas para ser extremadamente simples o bastante complejas. Se soportan un amplio número de nodos o extensas áreas físicas añadiendo puntos de acceso (radiobases).

**Seguridad.** Es sumamente complejo que los receptores no sintonizados escuchen el tráfico que se transmite en la red. Los sistemas deben contar con complejas técnicas de encriptado para dificultar el acceso de forma no autorizada. En general los esquemas de encriptación están habilitados per se antes de poder participar en el tráfico de la red.

**Costo.** Se tienen dos costos importantes: infraestructura de puntos de concentración y equipos en la premisa del usuario. El costo de los puntos de concentración depende de las frecuencias de operación seleccionadas, del número de radiobases que se deseen implementar, de la cobertura requerida, del número de usuarios y del tipo de usuarios. Los equipos en la premisa del usuario hacen referencia a que tan costosa es la instalación para el usuario, dado que este factor se tiene en cuenta para realizar los cálculos de valor del servicio.

**2.2.2 Validación y selección:** Varias empresas respondieron a la RFI para instalar una tecnología de acceso inalámbrico. En las consideraciones iniciales, todos los oferentes brindaban esquemas de modulación punto a multipunto y operación en el espectro libre. A su vez, las tecnologías implementaban plataformas de LOS, NLOS<sup>13</sup> y arquitecturas de Paquetes y Mixtas<sup>14</sup>.

**TABLA 1. Diferencias entre las Arquitecturas de Red<sup>15</sup>**

<b>PAQUETES</b>	<b>MIXTAS</b>
Tráfico de Voz y datos sobre Paquetes	Tráfico de Voz sobre Circuitos y Datos sobre paquetes
Voz tipo VoIP	Voz Tipo Toll Quality
Puertos POTS con RG adicional	Puertos POTS incluidos en CPE
Para control por medio de Softswitch no se requiere Gateway adicional	Para control por medio de Softswitch se requiere Gateway adicional V5.2 a IP generando incompatibilidad.
Uso más eficiente del espectro	Uso ineficiente del espectro
QoS de Voz en toda la Red	Qos de Voz en la plataforma
Transporte de Backbone en IP	Transporte de Backbone en E1 TDM
Mayor dinamismo en protocolos de señalización	Protocolos más estáticos en desarrollo
Plataformas más simples y económicas	Plataformas más robustas y costosas
Posibilidad de operación en condiciones de No Línea de Vista	Operación requiere Línea de Vista

<sup>13</sup> LOS Línea de vista. NLOS sin línea de vista

<sup>14</sup> Refiérase al Anexo 1. Las redes Mixtas combinan redes de Conmutación y de Paquetes.

<sup>15</sup> La información presentada en esta tabla fue recopilada con información suministrada por los distintos proveedores

La siguiente tabla concentra los diferentes fabricantes y sus productos

**TABLA 2.** Tipo de Arquitectura por Proveedor

<b>FABRICANTE</b>	<b>PLATAFORMA</b>	<b>TIPO</b>
WILAN	LIBRA 3000	PAQUETES NLOS
ALCATEL	RIPWAVE	PAQUETES NLOS
Nexnet wireless	EXPEDIENCE	PAQUETES NLOS
L3 Primewave	PRIMEWAVE3000	PAQUETES NLOS
MOTOROLA	CANOPY	PAQUETES LOS
NERA	NETLINK	PAQUETES LOS
Aperto Networks	PACKETWAVE	PAQUETES LOS
PointRed	MICRORED	PAQUETES LOS
Airspan	WIPLL	PAQUETES LOS
L3 Primewave	PRIMEWAVE2000	MIXTA
Marconi	MARCONI MMDS	MIXTA
Airspan	AS4020	MIXTA
SR Telecom	ANGEL	MIXTA

Con base en la información suministrada por los proveedores se clasificaron las propuestas de acuerdo al tipo de producto. A continuación se recopilaron las siguientes consideraciones:

## **Plataformas basadas en paquetes y LOS.**

- Simples en su topología: Un equipo central, distribución por sectores y unidades para los suscriptores. En general no son muy costosas:
  - Canopy-Motorola es la más económica en precio de Radiobase.
  - PacketWave-Aperto es la más costosa en Radiobase y Suscriptor.
  
- El manejo del ancho es por sector, no por celda
  - PacketWave-Aperto es la de mayor ancho de banda x sector.
  - Netlink-Nera es la de menor ancho de Banda x Sector
  - WipLL-Airspan, PacketWave-Aperto y WNI-Pointred presentan características avanzadas en las capas 2 y 3 del modelo OSI y esquemas más avanzados de QoS.
  - WNI-PointRed posee un esquema de Relay IP en los suscriptores para mejorar operación bajo NLOS
  
- En general, todos muestran reducción en la capacidad con tráfico de voz con excepción de Canopy-Motorola.
  - Netlink-Nera es la más simple en cuanto a capacidad y características.
  - Todos ofrecen sistemas de gestión no muy robustos.
  - PacketWave-Aperto habla de experiencia en proyectos con SoftSwiches y gatekeepers, además propone una evolución hacia WiMAX.

## **Plataformas basadas en paquetes y NLOS**

- Son más robustas en su topología en las radiobases principalmente Alcatel-RipWave y L3 Primewave 3000 utilizando chasis y tarjetas.

- Son basadas en nuevos protocolos que optimizan el fenómeno de multipath para operar en condiciones de NLOS y poseen mayor cubrimiento.
- Operación en Nivel 2 con pocas características avanzadas.
- En general poseen mayor capacidad de BW por Sector.
- Equipos de radiobase más costosos.
- Algunos poseen equipos suscriptores de uso interno y bajo costo.
- No presentan esquemas de QoS muy robustos a excepción de Alcatel-Ripwave.
- Alcatel-Ripwave es quien presenta mejores características pero es el más costoso en los equipos de radiobase.
- Wilan-Libra 3000 y L3 Primewave 3000 ofrecen el mayor ancho de banda x sector, tienen los suscriptores más costosos pero con mayores funcionalidades adicionales.
- En general poseen sistemas de gestión más robustos

### **Plataformas Mixtas**

- Son las más robustas de todas las anteriores tanto en las radiobases como en los suscriptores.
- En general son las más costosas.
- Manejan mayores capacidades de BW por sector.
- En general los suscriptores ofrecen mayores opciones en las interfaces de usuario.
- Algunas operan en nivel 2 y otras en nivel 3.
- SRTelecom-Angel presenta condiciones de operación bajo NLOS y mayores características avanzadas.
- En términos generales Airspan-AS4020 es la más económica, mientras Marconi-MMDS es la más costosa.



- En General poseen sistemas de Gestión robustos.
- Son las únicas que presentan proyectos similares ya implementados para servicios masivos de voz y Datos

**2.2.3 Análisis:** Las plataformas basadas en paquetes y que operan con NLOS serían las más indicadas para el proyecto pues facilitarían los procesos de instalación de lado cliente y ofrecen mayores áreas de cobertura, son muy costosas en las radiobases y en general están en etapa de maduración para ofrecer características avanzadas en configuración y manejo de QoS.

Las plataformas mixtas ofrecen ventajas en lo que a calidad de voz se refiere pero su modo de conexión al Backbone a través de interfaces V.52 y sus características avanzadas reducidas al nivel de datos hacen más compleja su integración a redes de nueva generación, además son en general muy costosas.

Las plataformas basadas en paquetes y que operan con LOS aunque poseen algunas desventajas por áreas de cubrimiento y simplicidad en sus componentes son las que presentan mayores características avanzadas y mejores esquemas de QoS además son las menos costosas. Sin embargo no se tienen antecedentes de proyectos para prestación de servicios masivos de voz e Internet a través de estas plataformas.

**2.2.4 Selección:** El análisis anterior concentró la selección en un esquema por paquetes con LOS o NLOS y con características avanzadas en las capas 2 y 3 del modelo OSI. El último punto fue el factor económico y quedaron los productos de WipLL-Airspan, PacketWave-Aperto y WNI-Pointred. El de mejor relación costo-beneficio fue WipLL-Airspan.

## 2.3 TECNOLOGÍA SELECCIONADA

La tecnología implementada fue el producto WIPLL (Wireless IP Local Loop) de la empresa Airspan.

WIPLL es un producto basado en la tecnología Wireless IP el cual a su vez es una variante de una técnica denominada MMDS<sup>16</sup>. Trabaja en la banda que va desde 2.4 Ghz a 5.7 Ghz y por tanto la distancia máxima alcanza los 15 Km.

El método de acceso usado es CDMA<sup>17</sup> específicamente FH-CDMA y es la clave del funcionamiento del producto. En FH-CDMA la frecuencia portadora de la información cambia en el tiempo, en función del código definiendo así un salto en frecuencias. La implementación FH-CDMA proporciona las siguientes ventajas:

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) contrarresta los efectos causados por la interferencia ya sea por múltiples usuarios o por señales externas; este fenómeno que se vuelve crítico en las bandas de frecuencias libres.
- Evita la intervención de las transmisiones debido a que las señales suenan como un pico de ruido momentáneo o simplemente un incremento en el ruido de fondo para los receptores de banda estrecha; excepto para un receptor spread spectrum en frequency hopping que use exactamente la misma secuencia de canal que es usada por el transmisor
- Las transmisiones en FHSS pueden coexistir en una misma banda de frecuencias con muchos otros tipos de transmisiones dado que las señales de spread-spectrum añaden mínimo ruido en comunicaciones de frecuencia

---

<sup>16</sup> MMDS Servicios de Distribución Multipunto Multicanal. También conocida como Wireless DSL, funciona en la banda de 2 a 4 Ghz, ofreciendo acceso punto a multipunto. Tiene muchas similitudes con LMDS con un alcance mayor pero con velocidades de transmisión menores. Es afectado por atenuación debido a estructuras grandes requiriendo línea de vista. Dada la falta de regulación y estandarización se dificulta su interoperabilidad.[5]

<sup>17</sup> CDMA permite utilizar en un área determinada, todo el espectro durante todo el tiempo sin que exista interferencia con otros usuarios del sistema. Esto se consigue combinando la información de los usuarios con un código unívoco que los identifica y diferencia del resto. [7]

estrecha y viceversa. Como resultado, se puede usar el ancho de banda más eficientemente.

Se tienen dos tipos de antena en la radiobase sectorial y omnidireccional. El esquema sectorial usa antenas directivas cuyo ángulo de apertura es 60°. La antena omnidireccional recibe señal desde cualquier punto y su área de cobertura es limitada.

Según el fabricante, el sistema proporciona velocidades de conexión de hasta 4 Mbps y soporta topologías de red punto a punto, punto a multipunto, multipunto a multipunto, y usuarios únicos. Permite configuraciones en modo router y bridge, ya sea por el software propietario o por un router externo. Las funciones de capa de red le permiten enrutamiento en la radiobase o en el cliente con lo que se obtiene una reducción de costo.

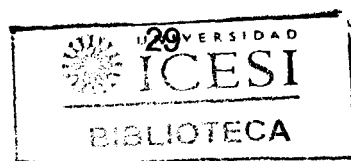
Son sistemas diseñados para aplicaciones de bucle inalámbrico (WLL). Su funcionamiento consiste en compartir un ancho de banda mediante tecnología de radio, en configuración punto a multipunto empleando IP. El manejo IP le permite ofrecer servicios integrados en una sola plataforma y con un único protocolo.

WipLL soporta VLANs/VPNs basados en IEEE; ideal cuando se habla de aplicaciones que aprovechan las redes de nueva generación. Dos ejemplos son la gestión del ancho de banda y la calidad de servicio.

La calidad de servicio de extremo a extremo, (QoS por sus siglas en inglés) permite establecer funciones como prioridad en el envío, calidad de voz y empaquetamiento de datos.

Las reducciones o ampliaciones de velocidad son fáciles, gracias a que el fabricante proporciona gestión de ancho de banda al soportar la Velocidad de Información Comprometida (CIR, por sus siglas en inglés) y la Velocidad de Información Máxima (MIR, por sus siglas en inglés), garantizando así niveles de ancho de banda a los abonados.

WipLL proporciona características de seguridad incorporadas, tales como filtros IP (paquete) basados en direcciones, protocolos y aplicaciones.

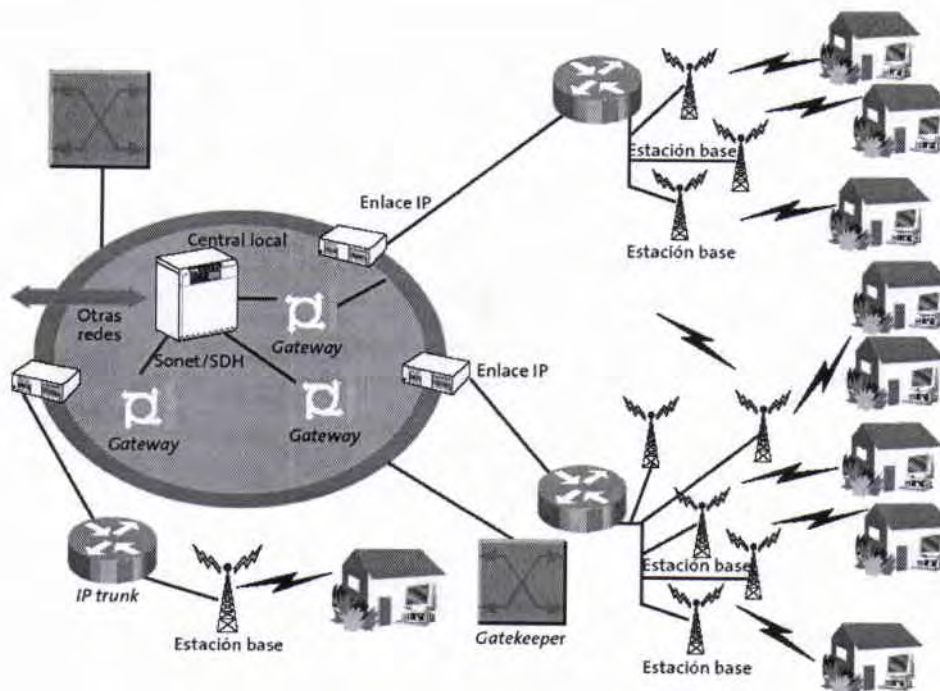


Es modular al soportar archivos de configuración, que permiten aplicar el mismo tipo de configuración a múltiples dispositivos WipLL.

El sistema WipLL proporciona gestión basada en SNMP, permitiendo así la gestión remota y local, la configuración y el monitoreo de los equipos WipLL.

Para los usuarios, la instalación del servicio es más fácil si se compara con un enlace de radio tradicional. Los sistemas tradicionales manejan IF (frecuencia intermedia) lo que exige un tipo de cable que permita atenuar de manera significativa las pérdidas y también lo blinde frente a las interferencias. Este blindaje se obtiene utilizando un mismo punto de tierra en la ODU<sup>18</sup> y la IDU<sup>19</sup> con un cable paralelo al cable que lleva la señal (por lo general RG-8). Este tipo de instalaciones son más complejas y exigen unas condiciones eléctricas excelentes para evitar errores en la recepción y transmisión como en los equipos.

**Figura 8.** Arquitectura de una red Wireless IP [5]



<sup>18</sup> ODU Outdoor Unit: Unidad externa

<sup>19</sup> IDU Indoor Unit: Unidad Interna

**2.3.1 Firmware.** Un punto interesante de esta tecnología es su concepto de firmware. Toda su operación se centra en el software que controla la operación de radiofrecuencia y de interconexión con el cliente. Las tareas de radioemisión e interconexión con la red son controladas por software. Las ventajas que tiene es la poca dependencia del hardware implementado, reducción del costo inicial del producto y posibilidad de agregar nuevas funcionalidades y mejoras. Su mayor desventaja radica en la puesta a punto de ese firmware, como se verá más adelante, se requirieron varias actualizaciones del firmware para estabilizar la solución.

**2.3.2 Elementos de la Tecnología.** En este punto debemos hacer una descripción de los equipos de esta tecnología. Se tienen dos categorías: Estación Base y Cliente

**Estación base:** Se considera la BSR y la BSDU

Base Station Radio (BSR): La BSR es un transceptor de radio que proporciona el enlace inalámbrico entre el abonado y el Backbone del proveedor. La BSR<sup>20</sup> estándar tiene una cobertura de radio de 60 grados, que presta servicio hasta a 252 abonados en dicho sector. El cable de datos y energía es UTP Cat 5

Base Station Distribution Unit (BSDU): Es útil para conectar múltiples BSRs y es usada en la estaciones base. Provee a las BSRs una fuente de alimentación de – 48 VCC, sincronismo para los saltos de frecuencia e interconecta con el Backbone de red del operador. La conexión al Backbone y las BSRs es por UTP Cat 5. Las BSDUs pueden conectarse entre si (máximo 6) para extender el sincronismo de las BSRs

**Cliente:** En el usuario se instalan dos equipos, SPR y SDA

Subscriber Premises Radio (SPR<sup>21</sup>, por sus siglas en inglés): La SPR es un transceptor de radio externo que proporciona un enlace inalámbrico entre la estación base y la red del abonado. La SPR es instalada fuera del local del abonado, típicamente en el techo, y es alimentada por la SDA. La conexión entre

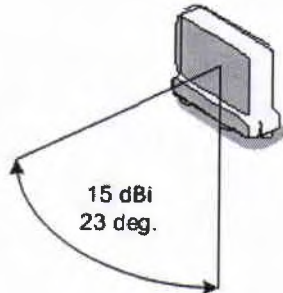
---

<sup>20</sup> La BSR omnidireccional usa una antena externa

<sup>21</sup> Radio en el Local del Abonado

SPR y SDA es proporcionada por un cable UTP Cat 5. La antena tiene una ganancia de 15 dBi con una área de 23°; existen otras referencias, pero bajo el modelo de costos se considero esta referencia

**Figura 9.** Ganancia y ángulo de apertura de una SPR



Subscriber Data Adapter (SDA<sup>22</sup>, por sus siglas en inglés): La SDA es un hub o switch (dependiendo del modelo) proporcionando a la SPR una fuente de alimentación de -48 VCC, protección eléctrica y conexión Ethernet a la red/PC del abonado. La SDA es instalada al interior del local del abonado y es conectado al SPR mediante un cable CAT-5.

Los modelos de la SDA son:

- SDA-1: proporciona una conexión 10BaseT a la computadora o red del abonado.
- SDA-4S: Proporciona una conexión 10/100 BaseT a la computadora o red del abonado. En general son switches LAN integrados, que proporcionan cuatro puertos 10/100BaseT para interactuar con las PCs/red del abonado) Los puertos manejan autonegociación de velocidad y por tanto modos de operación Full Duplex y Half Duplex. Los puertos SDA-4S soportan detección cruzada MDI/MDI-X permitiendo conectar un cable UTP cruzado o derecho Cat 5 en cualquier puerto. Los modelos del SDA-4S son:

---

<sup>22</sup> Adaptador de Datos del Abonado

- **SDA-4S (estándar):** Switch LAN integrado estándar, que proporciona cuatro interfaces 10/100 BaseT a las computadoras del abonado. Este modelo es ideal para la implementación de SOHO.
- **SDA-4S/VL:** Proporciona VLANs entres sus puertos y el SPR, lo que asegura la privacidad entre los usuarios de distintos puertos. Por ejemplo, todos los usuarios conectados al Puerto 1 no "ven" a los usuarios conectados al Puerto 2. Este modelo es ideal para la implementación de múltiples inquilinos.

Para los casos donde sólo se conecta una BSR, no es necesario disponer de una BSDU; sus funciones pueden ser suplidas por una SDA.

**2.3.3 Método de Conexión de Aire.** La SPR se identifica con la BSR por una dirección de aire, así, aunque se tengan varias unidades en un mismo sector o se detecten señales fuertes de otros sistemas, la SPR sólo se conectará con la BSR que tenga su misma dirección. Este proceso es llamado por el fabricante Acceso Múltiple por Interrogación Preventiva (PPMA).

Para recibir servicio del BSR, la SPR debe estar registrada con la BSR. Este registro está basado en el número índice de SPR/IDR y la dirección MAC aérea única de BSR, configurados por la herramienta de gestión de WipLL (WipManage). La autenticación de WipLL opera de la siguiente forma:

1. Cuando una SPR intenta registrarse con la BSR, la SPR envía un mensaje "Solicitud de Envío".
2. Luego, la BSR verifica si la dirección de SPR se encuentra en la lista "SPR Permitidas" de la BSR. Esta lista es mantenida por el sistema de gestión de red de WipLL.
3. Si la SPR se encuentra en la lista, entonces un mensaje "Asociación" es enviado a la SPR. Si la SPR no está incluido en la lista "SPR Permitidos", o si la dirección que proporciona la BSR no es correcta, entonces ningún mensaje es enviado a la SPR, y el proceso de asociación es terminado.

4. Luego, la SPR envía su propia información al BSR, y ahora es considerado "asociado" y puede comenzar a enviar y recibir mensajes.

**2.3.4 Sistemas de Gestión.** La tecnología seleccionada maneja varios programas de gestión y para este proyecto se usaron los dos más representativos WipManage y WipConfig

**WipManage™:** Herramienta del sistema de gestión de red de WipLL.

**WipConfig™:** Herramienta de configuración inicial de WipLL (utilizada durante la instalación del hardware).

Los sistemas de gestión de WipLL tienen las siguientes características principales:

- Accede a todas las unidades de WipLL en la red y puede ver sus estados actuales.
- Una sola estación de gestión de WipLL puede gestionar todas las unidades de WipLL en la red.
- Visualiza múltiples unidades de WipLL de manera concurrente.
- Soporta actualizaciones de software simultáneas para múltiples unidades de WipLL.
- Soporta configuración simultánea de múltiples unidades de WipLL.
- Proporciona reportes y gráficas estadísticas de desempeño de la red en tiempo real, tales como velocidad de error de bits (BER), indicación de intensidad de señal recibida (RSSI) y capacidad de tráfico.
- Suministra control de la potencia de transmisión para todos los transceptores de radio de WipLL.
- Proporciona diversas capacidades de gestión de alarma y eventos.
- Presta seguridad de gestión, tal como passwords, permisos de lectura/escritura de comunidades Get/Set, y derechos de acceso a la estación de gestión para redes específicas.



- Provee archivos de configuración para guardar las configuraciones y luego aplicarlas a múltiples dispositivos de WipLL.
- Administra protocolos de gestión de SNMP y TFTP.

En el anexo correspondiente se hace una descripción más detallada de las funciones de los gestores.

**2.3.5 Calidad de Enlace.** Una vez se ha logrado la conexión entre la BSR y la SPR es necesario verificar la calidad del enlace. Para esto se tienen 3 parámetros: RSSI, BER y Throughput.

**RSSI:** El nivel de intensidad de señal recibida debe medirse en ambos extremos (SPR y BSR) por lo general es más alto en la radiobase que en el extremo remoto. Este valor debe estar por encima de -75 dBm

**BER:** La importancia de la tasa de error de Bit (BER por sus siglas en inglés) está en que asegura la existencia de un canal fiable de alta calidad. BER es el porcentaje de bits con errores dividido por el número total de bits transmitidos satisfactoriamente. Para obtener esta medida es necesario generar una gran cantidad de tráfico para detectar la medida. El valor de BER depende de la relación señal a ruido y de la calidad de la señal.

**Throughput:** Es prácticamente la cantidad de datos que finalmente llegaran al usuario, esta medida se obtiene generalmente realizando una transferencia de archivo y leyendo cual es la tasa de transferencia que reporta el usuario. Las herramientas de gestión también usan una medida que es la tasa por SPR y se mide en la BSR. Si esta medida es de 4 Mbps, el throughput se encuentra en su mejor condición, en caso contrario este valor se sitúa en 1.33 Mbps

**2.3.6 Servicios Ofrecidos.** El modelo de negocio se centró en cuatro servicios:

Internet Banda Ancha con reuso IBAM

Internet Banda Ancha IBA

Canales de Voz sobre IP

Paquetes (VPN + VOZ+ IBA)

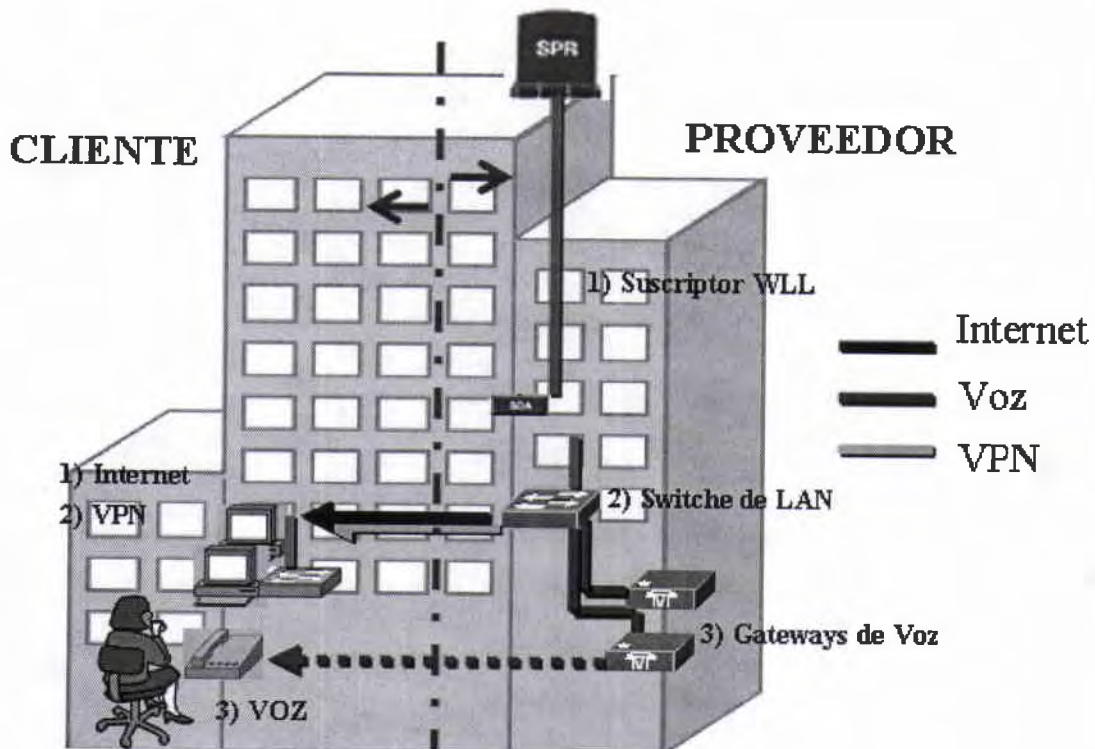
El primer servicio es apto para aquellos usuarios que no requieren altas velocidades de conexión y eventualmente deben transmitir o recibir volúmenes de información superiores a los habitualmente manejados. Se ofrecen 64 Kbps, 128 Kbps, 256 Kbps y 512 Kbps

El servicio sin reuso es para un usuario que necesita todo el tiempo un enlace dedicado dada la naturaleza de su operación-

El servicio de canales de voz está dirigido a clientes que sólo necesitan reducir sus costos de comunicación entre sus oficinas dado que la telefonía IP no le representa un costo adicional al servicio de banda ancha y por tanto puede disfrutar de él las 24 horas del día.

Por último el servicio de paquetes integra la operación de comunicaciones en voz, datos, e Internet de las distintas sedes de una empresa. La siguiente figura ilustra este concepto.

**Figura 10.** Esquema de la solución en el lado del cliente.



**2.3.7 Descripción de la Operación de los Servicios.** Una de las ventajas de la tecnología es su integración directa con MPLS, de esta forma se configura la VLAN asociada al servicio sobre el equipo y dentro de la red se diferencia la información de gestión, datos, voz e Internet. A continuación se da un ejemplo

**TABLA 3.** Descripción de VLANs asociadas a los servicios.

<b>Equipo /Servicio</b>	<b>VLAN Asociada</b>	<b>VLAN Gestión</b>
BSR	1500	1500
BSDU	1500	1500
SPR IBAM	700 – 701 – 702 – 703	700 – 701 – 702 – 703
SPR IBA	1500	1500
SPR Canales de Voz	Desde 100 hasta 200	1500
SPR Paquetes	Desde 2000	1500

El esquema de direccionamiento es distinto de acuerdo al servicio y es la asociación dirección de red (IP) – VLAN la que permite identificar el tipo de paquete que está cursando en la red.

La razón por la cual los dos últimos servicios, pueden tener VLANs distintas sin presentar inconvenientes es el tipo de equipos y configuración que maneja distingue hasta 5 VLANs. Los otros servicios utilizan equipos que sólo pueden distinguir dos tipos de VLANs

Esto permite una rápida implementación del recurso, diferenciación inmediata de servicios y reducción o ampliación de los productos ofrecidos de acuerdo a la solicitud del usuario.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Como se mencionó al inicio de la descripción de los sistemas inalámbricos, la radiobase tiene la importancia como punto neurálgico de la operación. Se describirán dos puntos de la operación: Radiobase y cliente. Muchos de los problemas encontrados fueron la razón por lo cual se creció en celdas, por ejemplo la velocidad ofrecida por el producto no fue la esperada, la distancia y la capacidad.

Dado este precedente se describe la implementación inicial, se continúa con los problemas encontrados, el crecimiento y sus problemas asociados y finalmente el estado actual de la red.

#### 3.1 IMPLEMENTACIÓN INICIAL.

**3.1.1 Radiobase.** Dado que se requería una solución punto a multipunto, una ubicación que permitiera línea de vista para obtener una buena cobertura y ubicada en una zona con potencial de mercado, se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Minimización de los obstáculos en el camino entre la estación base y los radios suscriptores
- Línea de vista con la torre de comunicaciones de la empresa.
- Prever la aparición de futuras obstrucciones (árboles, edificios)
- Fuentes cercanas de interferencias
- Alineación de antenas para máxima recepción de señal
- La distancia máxima entre las antenas y las unidades digitales no debe ser superior a 100 metros
- Sistemas eléctricos confiables

Por tanto se seleccionaron las siguientes ubicaciones como posibles radiobases iniciales:

- Un edificio de 22 pisos con terraza incluida en el centro de la ciudad
- Un edificio de apartamentos de 20 pisos con terraza incluida
- Un hotel de 12 pisos en el sur de la ciudad.
- Un edificio de apartamentos de 14 pisos en el norte de la ciudad
- La torre de comunicaciones en la sede de la empresa.

Por experiencia con las juntas administradoras de los edificios se descartaron los edificios de apartamentos y se optó por arrancar con un punto de prueba para continuar con los otros dos en el siguiente orden: La torre de comunicaciones, el edificio de 22 pisos en el centro y finalmente el hotel en el sur de la ciudad.

La adecuación técnica no tuvo dificultades ya que el cuarto técnico de la empresa contaba con el esquema eléctrico de protección frente a descargas y cortes del fluido. El aire acondicionado ya estaba instalado y el espacio en rack también era disponible. Dado que sólo se instaló un equipo se conectó a un equipo que sólo proveía la transducción de la señal proveniente de la ODU en una señal ethernet y así llevarla a un switch.

El estudio de interferencias arrojó que la mejor solución era trabajar en la banda de 2.4 GHz, sin embargo, esta opción era mejor en términos de cobertura ya que proveía un alcance de hasta 15 Km. El siguiente paso fue configurar el equipo en una tabla de frecuencias que proporcionará la mejor señal a ruido y de esta forma obtener un throughput de al menos 4 Mbps<sup>23</sup>. Durante el montaje realizado se detectó que el sistema podía subir hasta 3 Megas con un solo usuario siempre y cuando se tuviera una tasa de transferencia de 4 Mbps; en caso contrario, sólo se obtenía 1 Mbps. Una vez las pruebas fueron exitosas con un cliente y se ajustaron las plataformas de Backbone, se inició el montaje del edificio del centro.

En este caso se debió gestionar el permiso con la administración, la gestión de acceso, los horarios en que se podía entrar (preferiblemente 7 días x 24 horas), el área requerida, el tipo de torre o mástil, el consumo energético, el sistema de

---

<sup>23</sup> Se manejan dos esquemas de throughput 1.3 Mbps y 4 Mbps. Estos están directamente relacionados con el BER y el umbral de ruido

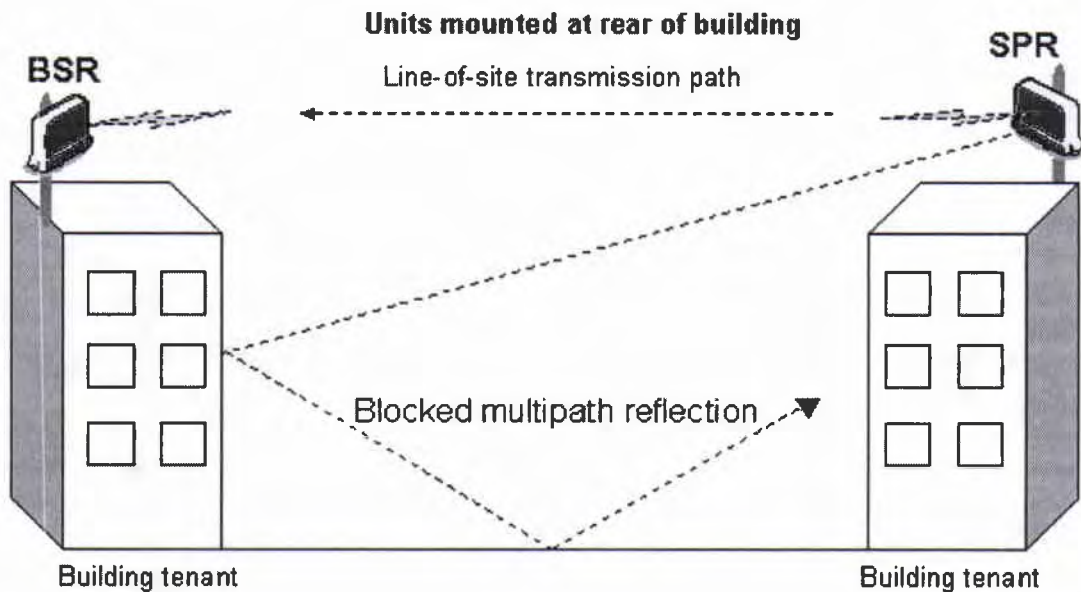
protección eléctrica, los equipos a instalar, las condiciones climáticas del sitio y la seguridad de la zona.

Para la radiobase del edificio del centro se implementó un esquema con 6 BSRs, sin cubrir los 360°. La distribución se realizó con base en las directivas del área comercial, de esta forma 2 BSRs quedaron viendo hacia el sector de Acopi, 2 hacia la Base Aérea, 1 hacia el sur y 1 omnidireccional para “atacar” los clientes del centro.

**3.1.2 Cliente.** Mirando la premisa del cliente, muchas de las consideraciones para instalar la estación base son aplicables a la instalación del usuario. Sólo se debe tener en cuenta un factor, el desvanecimiento multicamino.

Algunas señales transmitidas pueden ser reflejadas por edificaciones cercanas, obstáculos u otros factores. Estas señales pueden ser recibidas y superpuestas sobre la señal principal, de ahí que pueda degradar la potencia de la señal. Para evitar el desvanecimiento multicaminos, se recomienda instalar los radios en la parte posterior del edificio o casa del usuario en vez de la parte anterior. La figura ilustra este fenómeno.

**Figura 11.** Instalación recomendada en clientes



**3.1.3 Inconvenientes asociados con la ejecución.** Durante la ejecución del proyecto se presentaron varios inconvenientes y a medida que el sistema de acceso fue creciendo estos se incrementaron. Casi se puede decir que sin crecimiento de red algunos no habrían aparecido y otros no se habrían resuelto.

**Inconveniente:** Pérdida de Gestión remota

**Descripción:** Este bug fue el más común al iniciar el proyecto. Una vez era un problema de la operación de la red, es decir, al realizarse un cambio en la red MPLS se perdía la VLAN de gestión de los equipos. El problema era detectar si la causa estaba en los equipos de último kilómetro o en la red; si el caso era en la radiobase la solución tenía mayor premura.

**Método de solución:** Para descartarlo se gestionaba directamente el equipo en su sitio de ubicación y si este lo permitía entonces la falla estaba en la red, de lo contrario era necesario reiniciar el dispositivo. La solución definitiva provino de dos vías. La primera fue instalar una actualización suministrada por el fabricante. La segunda implicó una revisión de los caminos que la información de gestión y datos recorrían en la red de Backbone; particularmente se usaban VLANs independientes<sup>24</sup> para cada tipo de servicio. La gestión se manejaba por una misma VLAN. El problema ocurría más frecuentemente en un tipo de servicio (IBAM) y por tanto se decidió unificar las VLANs y con esto cesó el problema.

En el caso de los otros servicios el problema no se presentaba pero cuando las BSRs eran afectadas, los clientes eran perjudicados indirectamente. En este caso, se implementó un direccionamiento de red IP independiente dentro de la misma VLAN para identificar las BSRs y se conservó el configurado inicialmente para cursar el tráfico de información. De esta forma, aunque se seguía usando el mismo canal, internamente recorría caminos distintos.

**Inconveniente:** Transmisión Unidireccional – Bloqueo Upload

**Descripción:** Este tipo de problema era reportado por ciertos usuarios y consistía en que el usuario podía descargar cualquier tipo de información pero no podía enviar archivos adjuntos.

---

<sup>24</sup> A través de Wipconfig se configuraba la VLAN de gestión y la VLAN de tráfico de datos

**Método de solución:** Para determinar la responsabilidad del problema se requería desplazamiento hasta el cliente. Si conectando un computador directamente al equipo de último kilómetro y utilizando servidores FTP o páginas de correo gratuito, el problema no se presentaba, entonces la responsabilidad estaba en el usuario. En caso contrario, se podía deber a dos cosas: Bloqueo en el CPE o problemas en la radiobase. En el primer caso simplemente se reinicia el equipo y el problema se solucionaba, sino se debía llevar la antena a su configuración por defecto y configurar de nuevo la unidad. Si el problema estaba en la radiobase, se tenían dos opciones: Mover la antena a una nueva dirección física en el mismo sector o moverla definitivamente a un nuevo sector. A pesar de ser una solución de emergencia, era altamente efectiva.

La solución definitiva se realizó con una actualización de firmware.

**Inconveniente:** BSR fuera de línea en la capa de aire

**Descripción del problema:** Las BSRs pueden bloquearse de dos formas: En la primera existe conexión con las sedes remotas pero los usuarios no pueden acceder al sistema ni el administrador puede gestionar los equipos remotos (Caso A).

En la segunda hay dos casos: En el primero la BSR no puede accederse (Caso B) y el segundo se puede acceder pero se ve a todos los clientes desconectados (Caso C).

**Método de Solución:**

**Caso A.**

En este caso se debía reiniciar físicamente el equipo, un reinicio lógico no es efectivo. El problema se confirma porque la BSR empieza a descartar paquetes de entrada. Sin embargo, una vez se presentaba el problema continuaba ocurriendo con cierta frecuencia y la única solución era borrar la BSR y volverla configurar. El procedimiento se solucionó con dos actualizaciones de firmware.

**Caso B**

Puede que la BSR haya perdido su conexión de red, se haya desconfigurado o se haya dañado. En estos casos se debe configurar de nuevo el equipo y si no es efectivo se debe cambiar el equipo.



### Caso C

Este caso es típico de bloqueo por interferencia. Por lo general es suficiente con reiniciar la BSR y realizar un cambio de tabla de frecuencias, esta es la solución inmediata pero no soluciona el problema a largo plazo; para evitar el problema a futuro se debe hacer el estudio de interferencias. Este caso es bastante grave porque al ser espectro libre se debe buscar nuevas tablas de frecuencias y se debe realizar un estudio de interferencia que es bastante complejo. La complejidad no está en el estudio; para obtener éxito se debe apagar las radiobases eludiendo una contaminación de los resultados con las frecuencias de operación actual, y además se debe hacerse en un horario en el cual se haya presentado el problema (por lo general horario hábil). El procedimiento es sencillo, se utiliza una SPR o una BSR y a través de la herramienta WipConfig se hace un barrido de las frecuencias por al menos media hora; la herramienta entrega un consolidado de las frecuencias detectadas y la intensidad de señal recibida.

Con respecto a este caso se tuvo una particularidad, el análisis de interferencia si corrigió la frecuencia del problema pero los bloqueos continuaron. El caso fue escalado al fabricante y se solucionó con una actualización del firmware.

**Inconveniente:** Clientes de IBAM sin servicio o con velocidad inferior al contratado.

**Descripción del problema:** Los clientes llamaban reportando que las páginas de Internet no cargaban o la velocidad era muy lenta. El centro de gestión realizaba los descartes de configuración o ya descritos y escalaba a los encargados de acceso

**Método de solución.** Dado que la desconexión por interferencia ya se había descartado puesto que el proveedor había solucionado el bug con una actualización previa, se revisa la BSR. Una desconexión masiva o una saturación por capacidad se descarta al no recibir queja de clientes sin reuso, es decir que la BSR estuviera a su máxima capacidad de transferencia, saturación del canal tampoco porque ya se sabía el throughput máximo y se controlaba el ancho de banda asignado. Persistiendo el problema se modificaron los parámetros que regulaban el ancho de banda en estos clientes y se obtenía solución al problema.

El procedimiento soluciona el problema porque la BSR tenía los clientes con servicio IBAM configurados con CIR=0 y MIR= Velocidad Contratada y el sistema empezaba a descartar el tráfico de los clientes de menor prioridad (CIR=0) a favor de los clientes de mayor velocidad (CIR=MIR=Velocidad Contratada). Realmente este era un doble inconveniente, ya que este tipo de servicio implica reuso en el Backbone (de ahí la tarifa diferencial) y los clientes debían competir por el acceso al medio (Internet) en dos puntos: El acceso y el Backbone. En conclusión, para

que la radiobase no descartara en un futuro los paquetes que provienen de un cliente con servicio IBAM, se decidió poner un mínimo de CIR (64 Kbps) y dejar que la ocupación en la BSR determinara la velocidad que el cliente pudiera alcanzar en un momento dado.

**Inconveniente:** Clientes de Paquetes experimentan lentitud en sus VPNs.

**Descripción del Problema:** Los clientes del servicio de VPN empezaron a experimentar lentitud en sus aplicaciones. Cuando se realizaba un ping estándar (tamaño 100 bytes) se observaban tiempos altos en la resolución del ping; y cuando se realizaba un traza completa del camino (tracert) los tiempos más altos se ubicaban en la radiobase

**Método de Solución:** Dado que las BSRs cursan todo tipo de tráfico, la BSR trata todos los paquetes por igual en el momento de procesarlos. La implementación de las funciones de QoS solucionó el problema. Se le informaba a las BSRs las direcciones de red, el tipo y la prioridad de los paquetes que cursaría por ella y los tiempos presentaron reducción inmediata

**Inconveniente:** Capacidad de BSR insuficiente

**Descripción del problema:** El sistema ofrece una tasa de transferencia entre BSR y SPR de 4 Mbps cuando las condiciones de interferencia se lo permite, de lo contrario se conecta a 1.33 Mbps. De manera general la BSR maneja un throughput de 4 Mbps o 3 Mbps. Sin embargo el máximo pico de tráfico era de 1.5 Mbps, en algunos casos subía a 1.8 pero dependía de las condiciones de interferencia.

**Método de Solución:** Con base en los estudios de interferencias que se habían realizado se modificaron las tablas de frecuencias, se mejoró la relación señal a ruido y se realizaron pruebas saturando las celdas para concluir que el problema continuaba, en algunos casos. El caso se escaló al proveedor para encontrar una solución a mediano plazo y se optó por crecimiento de celdas para compensar los problemas de capacidad como solución a corto plazo.

**3.1.4 Crecimiento de la red de Acceso.** El crecimiento de la red se sustentó en varias premisas

Problemas de capacidad en las celdas.

Acceso a nuevos clientes en el centro de la ciudad

Reorganización de BSRs para utilizar el espectro 5.7 Ghz.

Acceso a nuevos clientes en la zona de cubrimiento de la radiobase "Torre de comunicaciones"

Cubrimiento en el sur de la ciudad por inexistencia de línea de vista con la radiobase "Centro"

Para la celda "centro" se decidió instalar 4 BSRs en el espectro de 2.4 Ghz usando la tabla de frecuencias ya creada para el sistema actual. Para esto se debió instalar una nueva BSDU para concentrar las nuevas unidades y además sincronizarlas en los saltos de frecuencia. De esta forma, cada BSR saltaría en la misma tabla de frecuencia, pero el punto por el cual la BSR arranca estaría controlado por la BSDU. Para ilustrar esto se puede usar la siguiente tabla

**TABLA 4.** Esquema de Saltos de Frecuencia

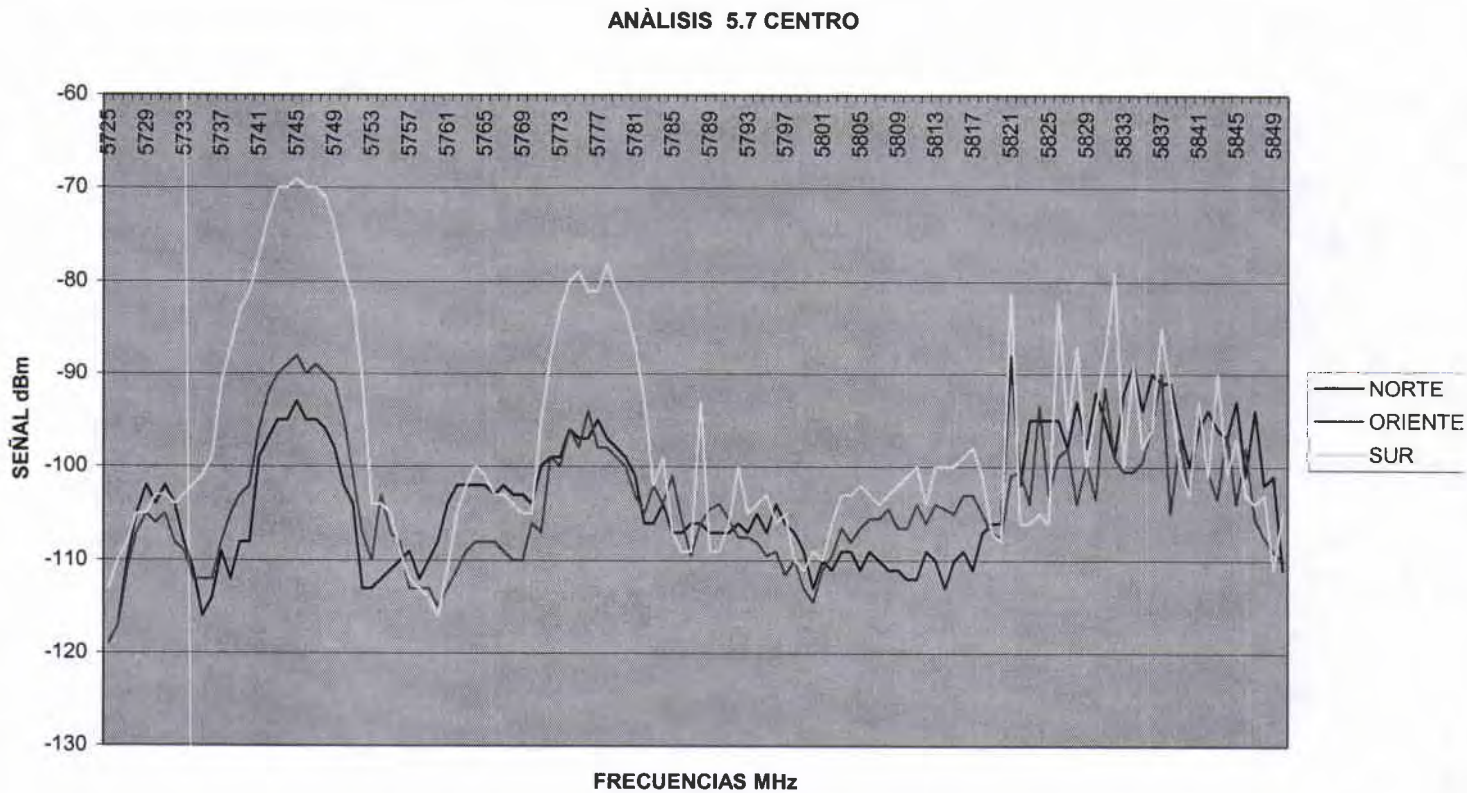
Punto de Inicio	Frecuencia
24	A
25	B
26	C
27	D
28	E
29	F
30	G
31	H

La BSR 24 arranca su ciclo de saltos en la frecuencia A, al siguiente ciclo de reloj la BSR 25 arranca en la frecuencia B, la BSR 26 arranca en la frecuencia C y así sucesivamente. Se debe considerar la separación entre las frecuencias, estas deben estar con suficiente separación para evitar que se presente interferencia cocanal.

El caso de los clientes de Centro se trató con base en los requerimientos del área de mercadeo. Según su base de datos existían varios clientes con necesidad de conexión en el centro y había un creciente interés por parte de clientes actuales de aumentar su ancho de banda. Para solventar esto se decidió instalar BSRs en 5.7 Ghz que tienen un alcance limitado con interferencia reducida, y así instalar los nuevos clientes del centro y migrar clientes actuales para liberar ancho de banda en las congestionadas BSRs de 2.4 Ghz.

A continuación se presenta el análisis de interferencia en 5.7 Ghz para la celda Centro

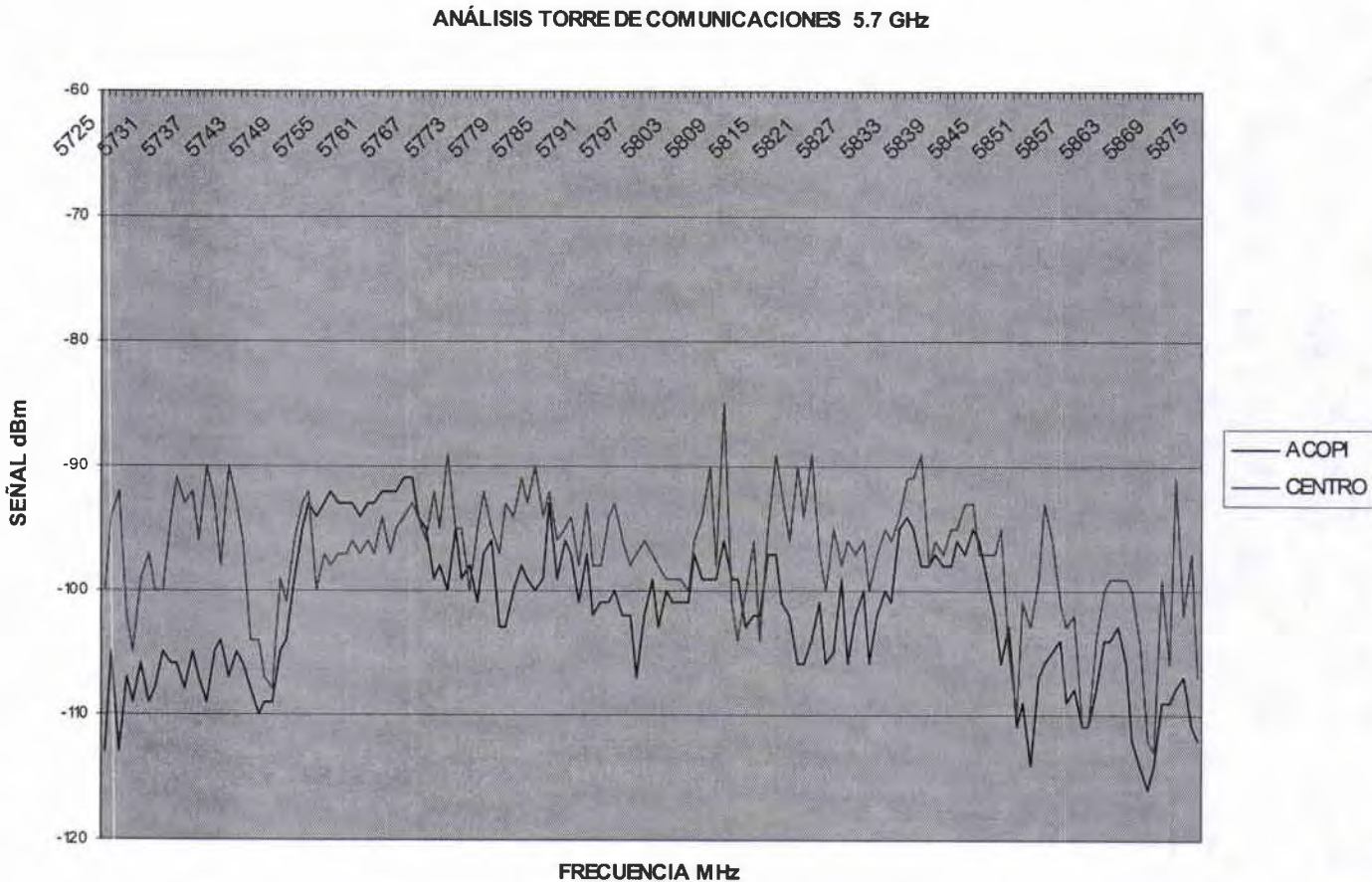
**Figura 12.** Análisis de Interferencia en 5.7 para la radiobase Centro



Se observó una ocupación media en la banda de 5.7 GHz en Centro, más agudizada en dirección SUR, posiblemente ocasionada por algunos enlaces punto a punto instalados en esta frecuencia por otro operador cercano. Había un buen número de saltos con niveles inferiores a -100 dBm que permitían la operación de algunos sectores WipLL adicionales de 5.7 GHz, teniendo en cuenta que se debía utilizar un esquema de saltos con el mismo número de las BSRs de 2.4 GHz para poder compartir la BSDU actual que aún tenía puertos disponibles

Para el caso de Torre de Comunicaciones la interferencia encontrada fue poca y se implementó una nueva BSR en 5.7 Ghz con una tabla proveída por el fabricante.

**Figura 13.** Análisis de Interferencias en 5.7 para la radiobase “Torre de Comunicaciones”



Dado que había muchos clientes en el Sur de la ciudad que tenían línea de vista limitada con la radiobase del centro, la gerencia comercial determinó la instalación de una nueva estación (Estación Base Sur). En este caso se seleccionó un hotel previamente estudiado el cual era cliente de la empresa.

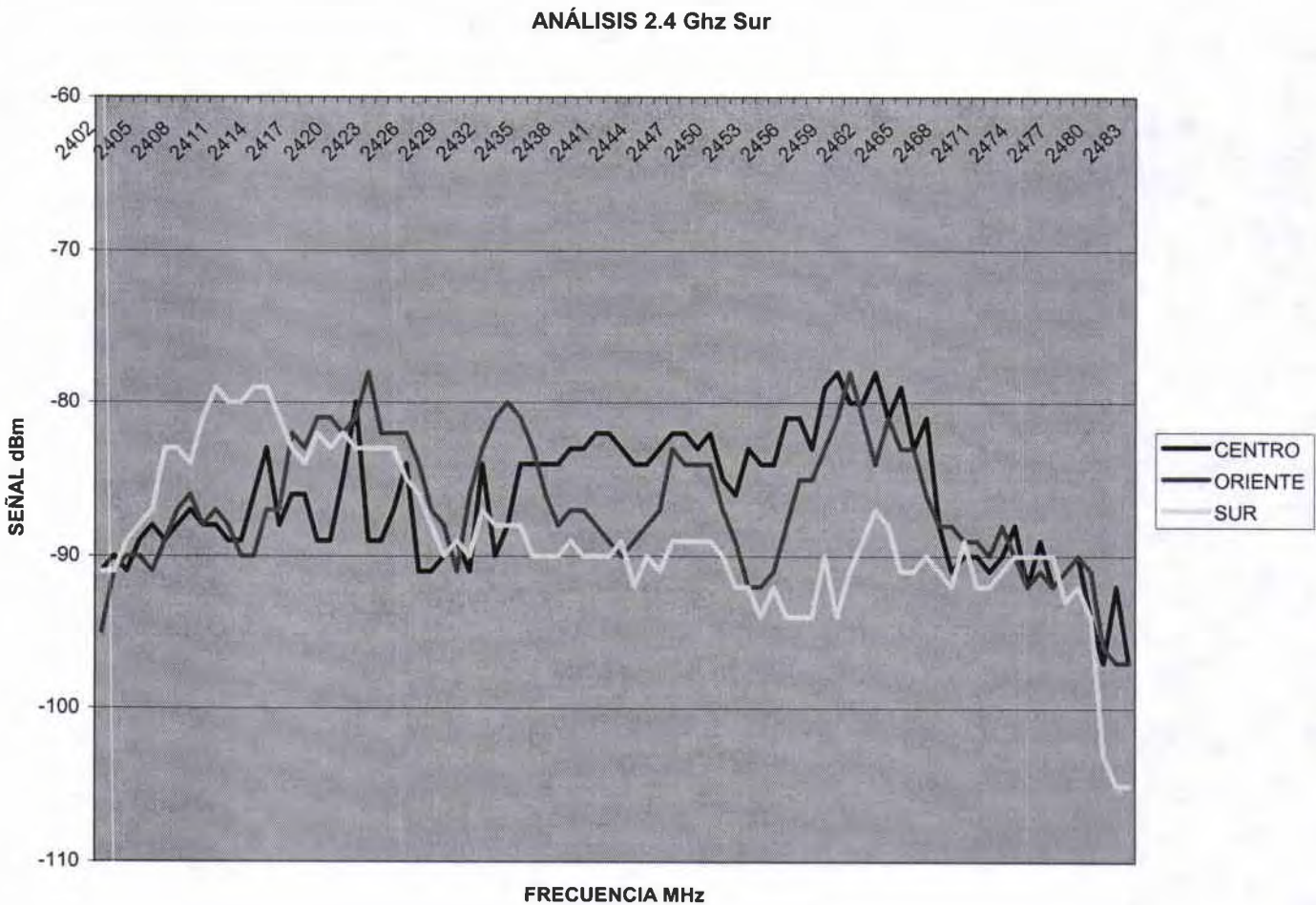
Para realizar la instalación fue necesario instalar un mástil, construir un recorrido en escalerilla metálica, adecuar un cuarto de equipos, gestionar los permisos de acceso, verificar el estado del sistema eléctrico (se compraron UPS') e instalar un sistema de refrigeración.



A diferencia de la radiobase “Torre de Comunicaciones” aquí se instaló una BSDU con el ánimo de crecer en clientes y evitar todo el proceso ya ejecutado en la radiobase Centro. La implementación de la BSDU permite sincronizar las BSRs y hace que la comunicación con el Backbone sea más confiable

El análisis de interferencia en 2.4 realizado en la radiobase Sur arrojó los siguientes resultados:

**Figura 14.** Análisis de Interferencia en 2.4 para la radiobase Sur

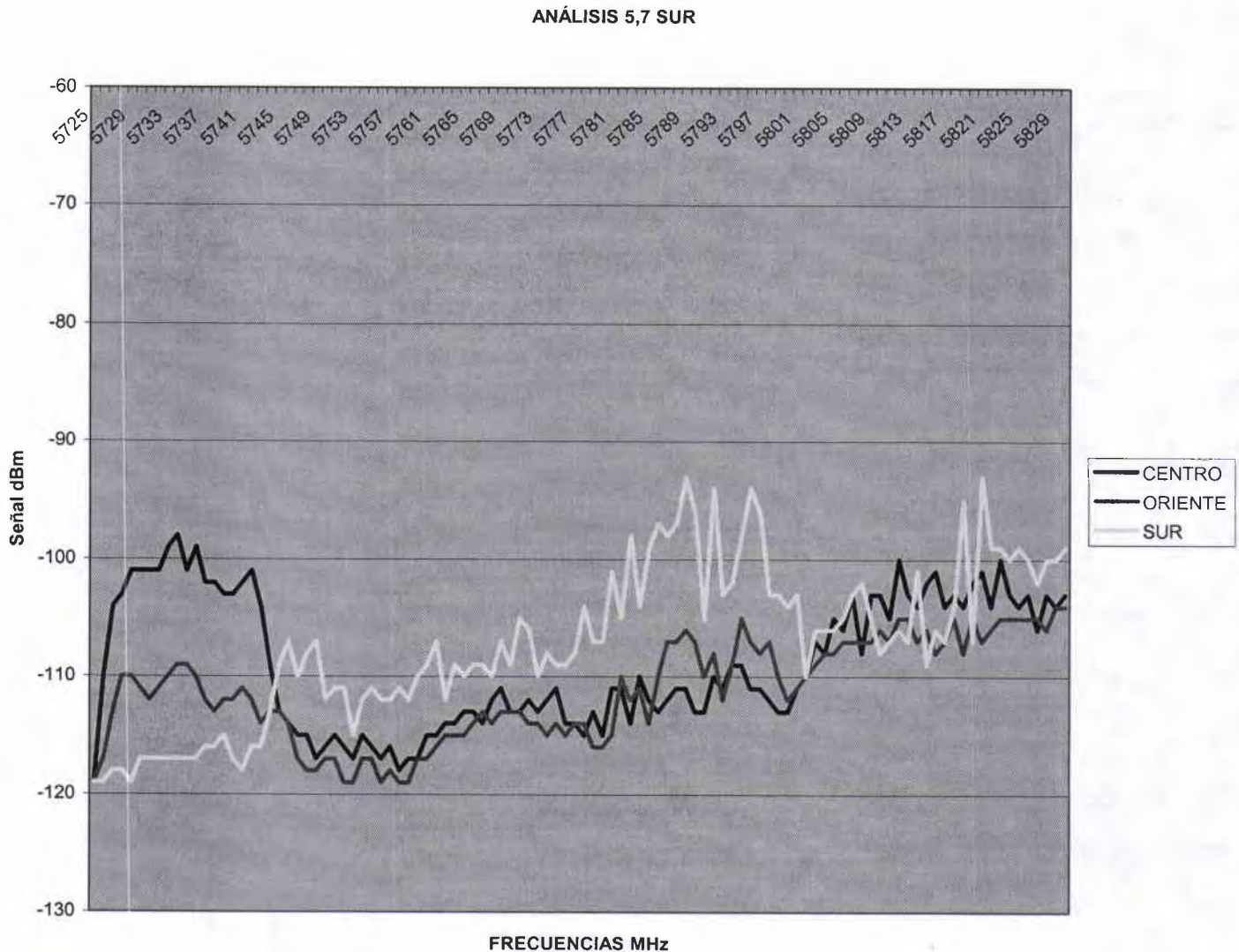


Se observa una amplia ocupación de la banda de 2.4 GHz similar a lo que se detectó en Centro por lo cual es recomendable no utilizar esta banda en este sitio

con el fin de no incurrir en los mismos problemas allí experimentados de bajos throughputs causados por interferencia.

El siguiente es el resultado con una BSR de 5.7 Ghz en la radiobase Sur

**Figura 15.** Análisis de Interferencia en 5.7 para la radiobase Sur



Al igual que en Torre de Comunicaciones, se observa una baja ocupación de la banda de 5.7 GHz hacia todas las direcciones monitoreadas lo cual permitiría la

instalación y crecimiento de la Radiobase WipLL en este sitio y esperando no experimentar problemas generales causados por interferencia en la Radiobase.

**3.1.5 Inconvenientes asociados a la ejecución.** Las instalaciones en la sedes “Torre de Comunicaciones” y “Sur” no tuvieron mayores contratiempos y dado que fueron montadas en el espectro de 5.7 Ghz presentaron un buen rendimiento y estabilidad.

Sin embargo, la operación en la sede centro se complicó con el ingreso de los nuevos sectores. La interferencia entre las BSRs aumentó, la capacidad disponible se redujo porque se debieron migrar clientes entre las radiobases para contrarrestar el bajo throughput experimentado por los clientes y garantizar medianamente la operación. Llegado a este caso, se solicitó asesoría del fabricante y se realizó el seguimiento respectivo.

**Inconveniente:** Bajo Throughput, bloqueo BSRs, Interferencia constante.

Diagnóstico: Desde meses anteriores se había venido revisando los problemas de Capacidad en las BSRs de WipLL, con la asesoría remota por parte de Airspan. De este modo se detectaron algunos elementos que podían contribuir a tal disminución de capacidad.

- Tamaño promedio de Paquetes: WipLL maneja un valor de Throughput neto por BSR del 80% del Rate al que esté configurado (3.2 Mbps ó 2.4 Mbps). Este valor considera un tamaño promedio de paquete alrededor de 900 Bytes. Se realizaron mediciones en varias BSRs encontrando que el tamaño promedio es del orden de solo 300 bytes lo cual disminuye la eficiencia al 55% aproximadamente.
- Separación de las BSRs: Se sugirió por parte de Airspan tener una separación de BSRs adyacentes de mínimo 1 m.
- Interferencia: En los últimos diagnósticos con personal de Airspan se observó que el principal causante del bajo Throughput es el alto nivel de interferencia en el entorno el cual se muestra en los link de conexión de los SPRs que a pesar de tener buenos niveles de RSSI no logran alcanzar el nivel de modulación mayor (8-FSK) por la baja relación Señal/Ruido existente. Al mismo tiempo este ahora se hacía más crítico por el mayor número de BSRs instaladas las cuales debían compartir el mismo espectro de RF. En algunas ocasiones se habían realizado cambios en las tablas de frecuencia estándar pero sin mucha mejoría. Finalmente se habían dejado



las BSRs operando en la tabla 27 que cubre el rango de 2442 a 2478 MHz pues allí era donde mejor desempeño se tenía.

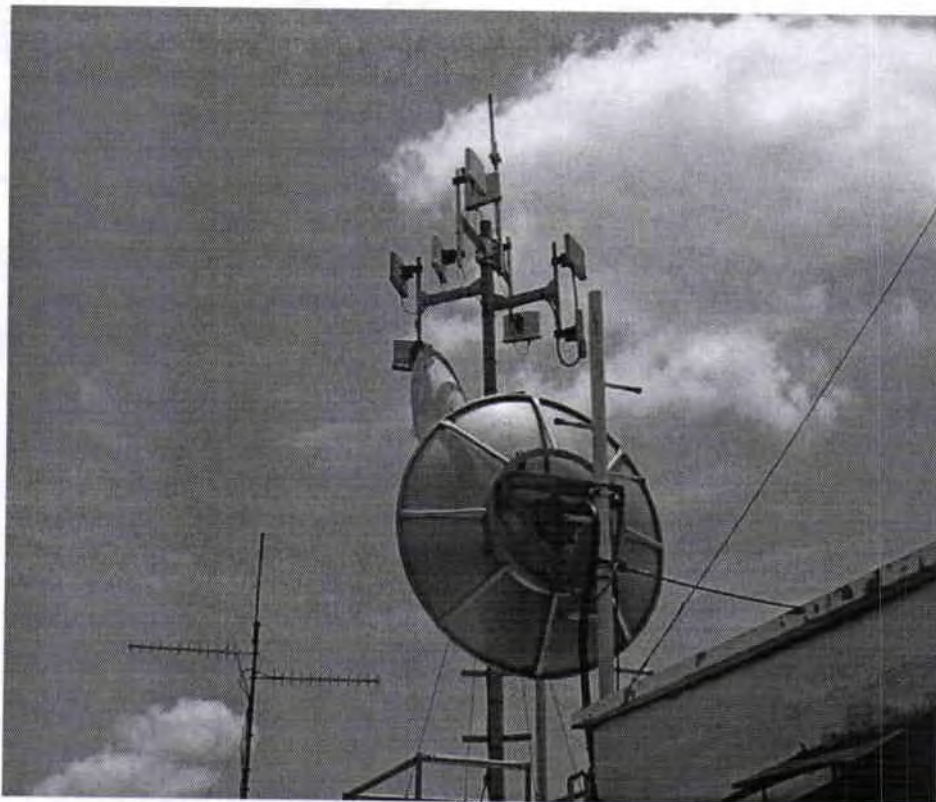
**Método de Solución:** Se realizó un plan de trabajo para atacar los problemas detectados y al menos minimizarlos.

- **Tamaño promedio de Paquetes:** Para este elemento no hay solución posible pues no depende de la Red sino de las características de tráfico y aplicaciones de los clientes.
- **Separación de las BSRs:** Se realizaron algunas modificaciones en los soportes de las BSRs para aumentar su separación hasta el límite sugerido principalmente en las que están ubicadas en un mismo soporte y están orientadas hacia el mismo sector.[9]

#### Implementación de la solución

Primero se modificó la separación de las BSRs. Como puede observarse en la foto, se tenían varias BSRs con la misma orientación; la razón es la concentración de clientes a los cuales se le ha ofrecido el servicio y los potenciales clientes.

**Figura 16.** Estado inicial BSRs antes del movimiento



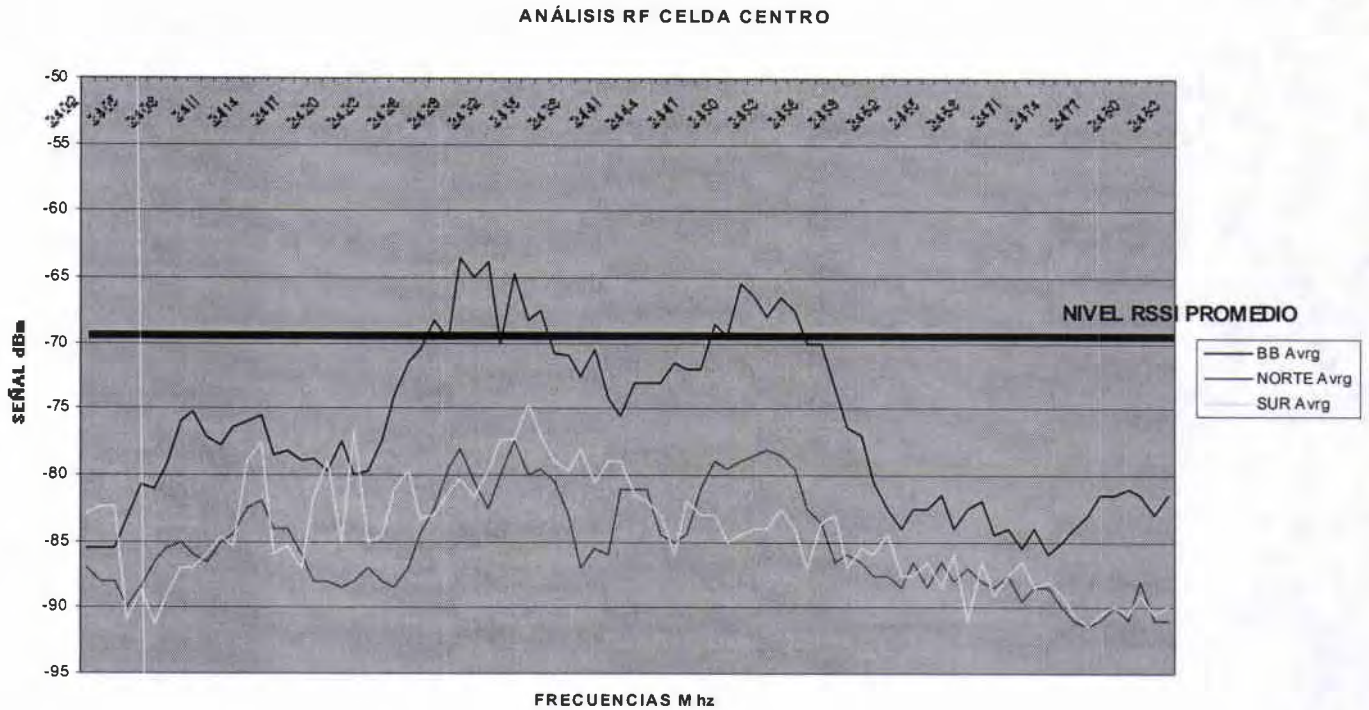
**Figura 17.** Estado Final BSRs después de la reubicación



Interferencia: Para evaluar este problema se realizó un plan de trabajo en el cual inicialmente se configuraron las BSRs para operar provisionalmente cada una en una sola frecuencia perteneciente al rango de 2484 a 2499 MHz de modo que se pudiera hacer un análisis de espectro sobre las frecuencias del rango 2402 a 2483 MHz y así determinar los valores reales de interferencia obtenidos sin registrar la interferencia causada por las BSRs en sus frecuencias normales de operación. El análisis se resume en la Figura 18.

En la Figura 18 se observa que los valores de señal de interferencia son bastante altos, tal y como se esperaba llegando inclusive a superar en algunos rangos de frecuencias el nivel de señal promedio de los SPRs. A partir de este análisis se eligieron las frecuencias con menores niveles de ruido para con ellas diseñar una tabla de frecuencias con el número y la separación entre saltos necesaria para la operación de las BSRs. La tabla 5 contiene las frecuencias seleccionadas.

**Figura 18. Análisis Interferencia Celda Centro**



**TABLA 5. Saltos de Frecuencia para la celda Centro**

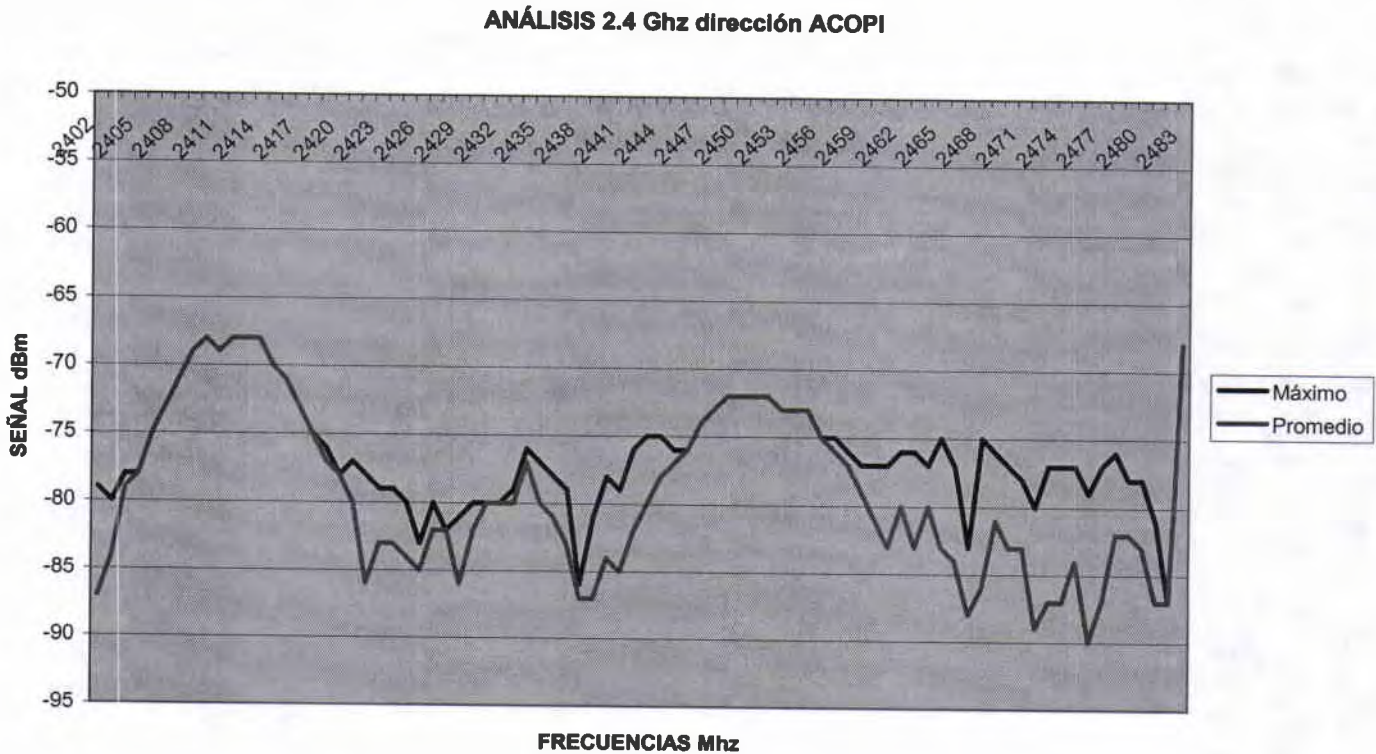
2403	2467
2492	2405
2484	2423
2479	2402
2481	2483
2478	2480
2475	2477
2470	2474
2472	2471
2469	2468
2466	2465
2463	2462

Esta tabla de Frecuencias se utiliza en todas la BSRs de la radiobase "Centro". Para la BSR de Torre de Comunicaciones" se diseñó una tabla conformada por



saltos no utilizados en Centro y que se detectaron relativamente con más baja interferencia a partir de una medición de espectro allí realizada.

**Figura 19.** Análisis Interferencia 2.4 Ghz en Torre de Comunicaciones hacia Acopi



La razón para requerir una tabla de frecuencias teniendo en cuenta a Centro si en Torre de Comunicaciones no se presentan inconvenientes de interferencias es por la superposición de áreas de cobertura entre Centro y Torre de Comunicaciones y por tanto las SPRs que se tengan línea de vista con las dos podrían presentar problemas de interferencia. La tabla implementada utiliza 4 frecuencias que se repiten cíclicamente hasta completar 16 saltos.

**TABLA 6** Saltos de Frecuencia para la celda Torre de Comunicaciones

2403
2473
2404
2482

El riesgo que se mantiene es que estas frecuencias permanezcan al menos en los niveles de interferencia obtenidos para asegurar un desempeño aceptable y poder estimar en forma más segura el Throughput máximo real alcanzado por las BSRs.

Para solucionar el riesgo constante es necesario realizar periódicamente estudios de interferencia para corregir problemas que surjan sobre la operación normal de la red

**3.1.6 Consideraciones de capacidad WipLL según la modulación.** WipLL emplea un esquema de modulación adaptativo dependiendo del nivel de señal y el BER [9]. Además existen 2 valores posibles para el Rate de la BSR, 4 Mbps y 3 Mbps. Se tienen 3 posibles estados:

8 FSK	Con Bit Rate en 3 o 4 Mbps
4 FSK	( No válido en el Rate de 4 Mbps ).
2 FSK	Con Bit Rate en 1.33 Mbps

De acuerdo a lo anterior se tienen valores para el link de las SPRs así:

Rate 4 Mbps: 4 Mbps y 1.33 Mbps

Rate 3 Mbps: 3 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps

El throughput real de la BSR depende de los siguientes factores:

Condiciones de RF que afectan la modulación y las retransmisiones

El modo o Rate de operación

Los valores de CIR y MIR

El tamaño promedio de los paquetes

Las aplicaciones usadas ( TCP ó UDP )

Demanda y simultaneidad de Tráfico de los SPRs activos

A continuación se presenta la fórmula para calcular el throughput [9]:

$$\text{Throughput} = \frac{(N1+N2+N3)}{(N1+2*N2+3*N3)} * [\text{Tasa\_de\_Conexión}]$$

N1: # SPRs conectados en 8 FSK es decir en modo 4 Mbps

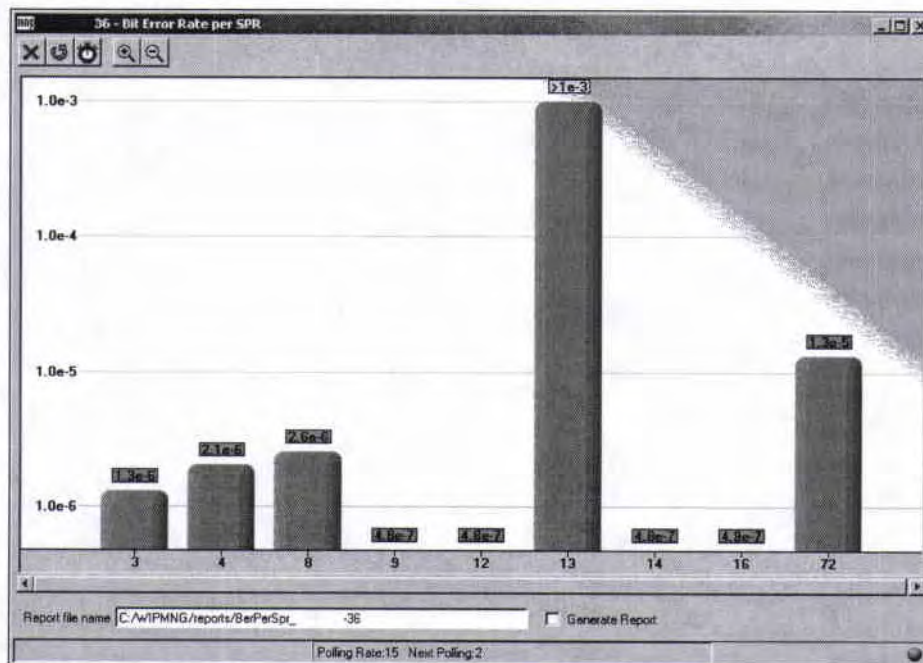
N2: # SPRs conectados en 4 FSK es decir en modo 2 Mbps

N3: # SPRs conectados en 2 FSK es decir en modo 1.33 Mbps

La tasa de conexión es 4 o 3; para el caso de la empresa siempre se maneja una tasa de 4 Mbps.

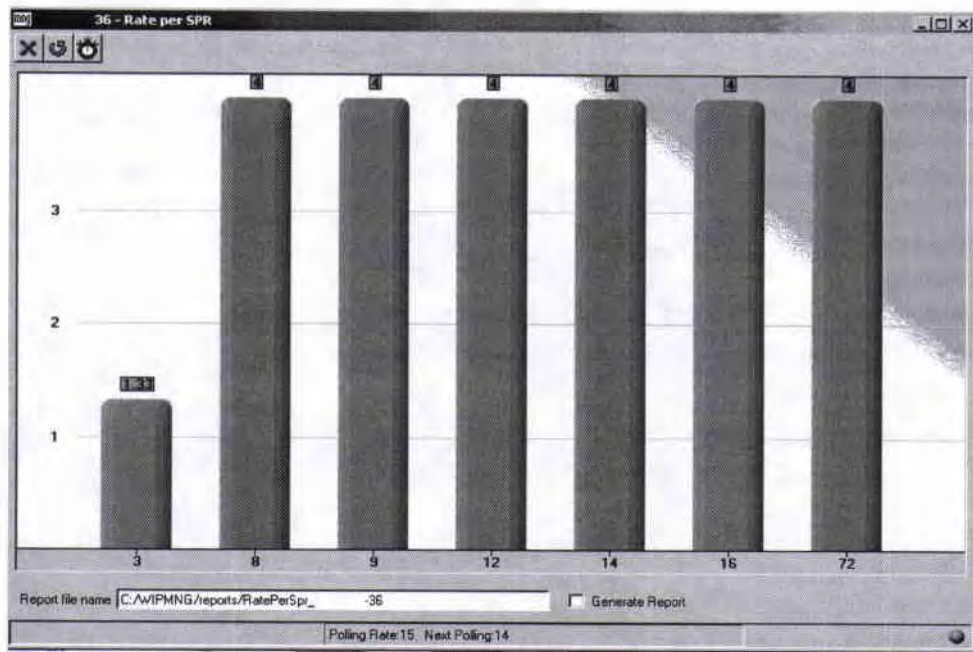
A partir de esta fórmula se tomaron muestras por medio de gráficas del estado actual de las BSRs (ver Anexo 2) en cuanto a niveles de BER ( se consideran aceptables BER menores a 1E-6 ) y Rate por SPR. A partir de esta información se calcula el throughput máximo real teórico (se considera la eficiencia por tamaño de paquetes del 55% correspondiente a 300 bytes).

**Figura 20.** BER por SPRs en una misma BSR





**Figura 21. Rate por SPRs en una misma BSR**



Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

**TABLA 7. Resultados del Throughput**

Radiobase	BSR	Frecuencia	N1	N3	Throughput	55%
Torre	36	2.4	6	1	3,11	1,711
Sur	37	5.7	5	2	2,55	1,4
Sur	38	5.7	3	0	4	2,2
Torre	50	5.7	5	4	2,18	1,165
Centro	51	5.7	1	8	1,44	0,792
Centro	52	2.4	3	5	1,78	0,98
Centro	53	5.7	5	2	2,55	1,4
Centro	54	2.4	10	4	2,55	1,4
Centro	55	2.4	2	8	1,54	0,847
Centro	56	2.4	4	5	1,895	1,042
Centro	57	2.4	5	5	2	1,1
Centro	58	2.4	7	5	2,182	1,2
Centro	59	2.4	11	5	2,462	1,354
Centro	60	2.4	5	1	3	1,65
Centro	61	5.7	4	0	4	2,2
Centro	62	2.4	4	5	1,895	1,042

**3.1.7. Evaluación Crítica del Proyecto.** Debido a los actuales altos niveles de interferencia en el sector del Centro de Cali donde está ubicada la radiobase "Centro" y a la poca disponibilidad de frecuencias "más limpias" que permitan la conexión de un número mayor de clientes en esta radiobase se recomienda no crecer más en el número de BSRs allí instaladas. Es decir, crecer en clientes hasta ocupar la capacidad instalada en las BSRs actuales.

En todo caso existe un riesgo pues no se puede controlar que las frecuencias actuales que se eligieron para operar, debido a que ofrecen menores niveles de interferencia, se mantengan en estas condiciones.

Con la situación actual se observa que los valores máximos teóricos de Throughput para las BSRs en "Centro" están entre 0.9 y 1.3 Mbps que por efectos de simultaneidad de usuarios permitiría manejar valores de capacidad vendida entre 1.2 y 1.5 Mbps aprox. por BSR. En la actualidad las BSRs, en general, están dentro de los límites anteriores, y según lo observado desde el momento de los cambios, sin problemas de desempeño para los clientes.

Se planteó la necesidad de realizar algunos casos puntuales de traslados de SPRs para los casos en los cuales los niveles de BER o Rate no eran óptimos y así mejorar la eficiencia de las celdas.

Se debe mantener un monitoreo permanente sobre la capacidad de las BSRs con el fin de verificar que las condiciones actualmente planteadas se mantengan y en caso contrario tomar las medidas del caso y al mismo tiempo controlando que la capacidad instalada en cada una no supere los límites preestablecidos.

Es imperativo limitar más el alcance en distancia de las SPRs (4 Km máximo) para las nuevas factibilidades con el fin de tratar de garantizar que estas logren conectarse en el Rate de 4 Mbps y así no causen disminución en el throughput de la BSR

No es recomendable instalar una nueva BSR en "Torre de Comunicaciones" orientada hacia la zona Centro de Cali pues allí los niveles de interferencia detectados son en general similarmente altos a los de "Centro" y además se requeriría instalar una BSDU adicional para sincronizar las frecuencias con la BSR que está orientada hacia la zona de Acopi.



Las BSRs en 5.7 presentan un mejor throughput si se compara con el comportamiento de las BSRs en 2.4. Esto puede deberse a dos factores: Poca interferencia por parte de otras empresas y menor contaminación propia dado su reducido número, nuevamente, comparado con las BSRs en 2.4. Sin embargo, es necesario revisar el caso de la BSR 51 Centro dado que su comportamiento es muy inferior al comportamiento de las otras BSRs en la misma frecuencia.

El fabricante debió entregar muchas veces parches del Firmware para solucionar inconvenientes los cuales se supone debió prever en el desarrollo del producto. En más de una ocasión se debió presentar casos completos de prueba y salidas de urgencia para responder a los usuarios finales, para con base en ellos imponer una solución eficaz por parte del proveedor. En este particular sólo una vez se implementó masivamente un parche sin realizar pruebas y el problema fue un conflicto masivo. El ingreso de este tipo de soluciones debes hacerse en forma gradual dado que no todos los equipos responden igual; y en esquemas punto a multipunto, primero los usuarios remotos y por último las radiobases.

Trabajar de la mano de las áreas comerciales es muy importante para determinar las áreas de cobertura y evitar estaciones que no reporten factibilidades positivas que justifiquen su instalación



#### **4. CONCLUSIONES**

La masificación de la banda ancha implica tecnologías que permitan reducir el costo del servicio al usuario final. El uso de características que promuevan productos a costos accesibles pero también estables es clave para lograr éxito en la prestación de un servicio. No obstante esto es sólo una parte del espectro a tener en cuenta, la instalación, la ubicación de los nodos de operación y la rapidez en prestar un servicio confiable aseguran el logro de nuevos clientes.

Hay un nicho de crecimiento bastante amplio para la prestación de servicios de banda ancha en la ciudad de Cali, dada la velocidad con la que fue copada la capacidad de las estaciones base y la cantidad de nuevas solicitudes que continuaron llegando y que impulsaron el ingreso de nuevos equipos para atender la demanda.

La labor del área de acceso es fundamental no sólo en la caracterización de los problemas asociados a la operación, también en proporcionar la información necesaria para desarrollar la solución de los mismos. En los entornos con clara separación entre el Backbone y el acceso se observa como este tipo de modelos realmente permiten identificar y focalizar las fallas.

La incorporación de redes de nueva generación permite optimizar la ejecución de soluciones en el nivel de acceso lo cual redundará en la velocidad para realizar cambios en los cuales los clientes siempre desean celeridad: Cambios de ancho de banda, traslados, implementación de VPNs.

La importancia de una selección de tecnología adecuada es crucial en el desarrollo del proyecto. A pesar de contar con muchos criterios de selección y ser el factor económico uno de gran trascendencia, la experiencia de implementaciones masivas de sistemas es un factor que ejerce peso, so pena de experimentar una fase de estabilización muy larga.

En entornos inalámbricos la interferencia, ya sea cocanal o por medios externos, es un suceso con el cual se debe vivir y por tanto requiere un trabajo constante. En el caso del espectro libre este fenómeno se maximiza, por ende, esta situación se debe prever desde el principio para evitar contratiempos y soluciones que en principio afectan a los usuarios finales.

El desarrollo del proyecto permitió a la empresa conocer en detalle el esquema general de prestación de servicios (Acceso – Backbone – Servicios). El grupo de acceso adquirió un valioso conocimiento de la estructura y operación de las redes inalámbricas; la transmisión de datos; las funciones QoS; la evolución en las necesidades de los usuarios; la orientación hacia el cliente, la identificación, caracterización y resolución de fallas y por último, un método para prever el comportamiento de la red y así proactivamente corregir eventuales inconvenientes.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Carlos Alberto Silva, CRT, junio de 2004. Reporte de Internet en Colombia. Sección 2.2 "Suscriptores dedicados. [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co)
- [2] Carlos Alberto Silva, CRT, junio de 2004. Reporte de Internet en Colombia. [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co)
- [3] CINTEL INFORME FINAL PROYECTO PNUD/COL/96/020 "Análisis del mercado servicios de banda ancha en Colombia" Pag 92. [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co)
- [4] CRT Informe Internet Colombia 2003. [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co)
- [5] Telefonica. Las telecomunicaciones de nueva generación. <http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/index/home.html>
- [6] CINTEL. INFORME FINAL "DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS DE REDES INALÁMBRICAS CONSIDERADAS COMO INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES" Julio de 2003. BOGOTÁ Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL Pagina 76. [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co)
- [7] Ángel María Andueza Unanua y David Benito Pertusa. Universidad Pública de Navarra. Fundamentos y prospectiva de técnicas y tecnologías CDMA para su aplicación en redes de fibra óptica. [http://w3.iec.csic.es/URSI/articulos\\_gandia\\_2005/articulos/DF1/198.pdf3](http://w3.iec.csic.es/URSI/articulos_gandia_2005/articulos/DF1/198.pdf3)
- [8] Carlos M. Martínez-Cagnazzo, Antel, Uruguay. Consideraciones Para el Diseño de una Red de Backbone Multiservicio. <http://telcom2006.fing.edu.uy/trabajos/mvdtelcom-009.pdf>
- [9] AIRSPAN. ASWIPLL – System Description V09-480. 2004.

## ANEXO 1

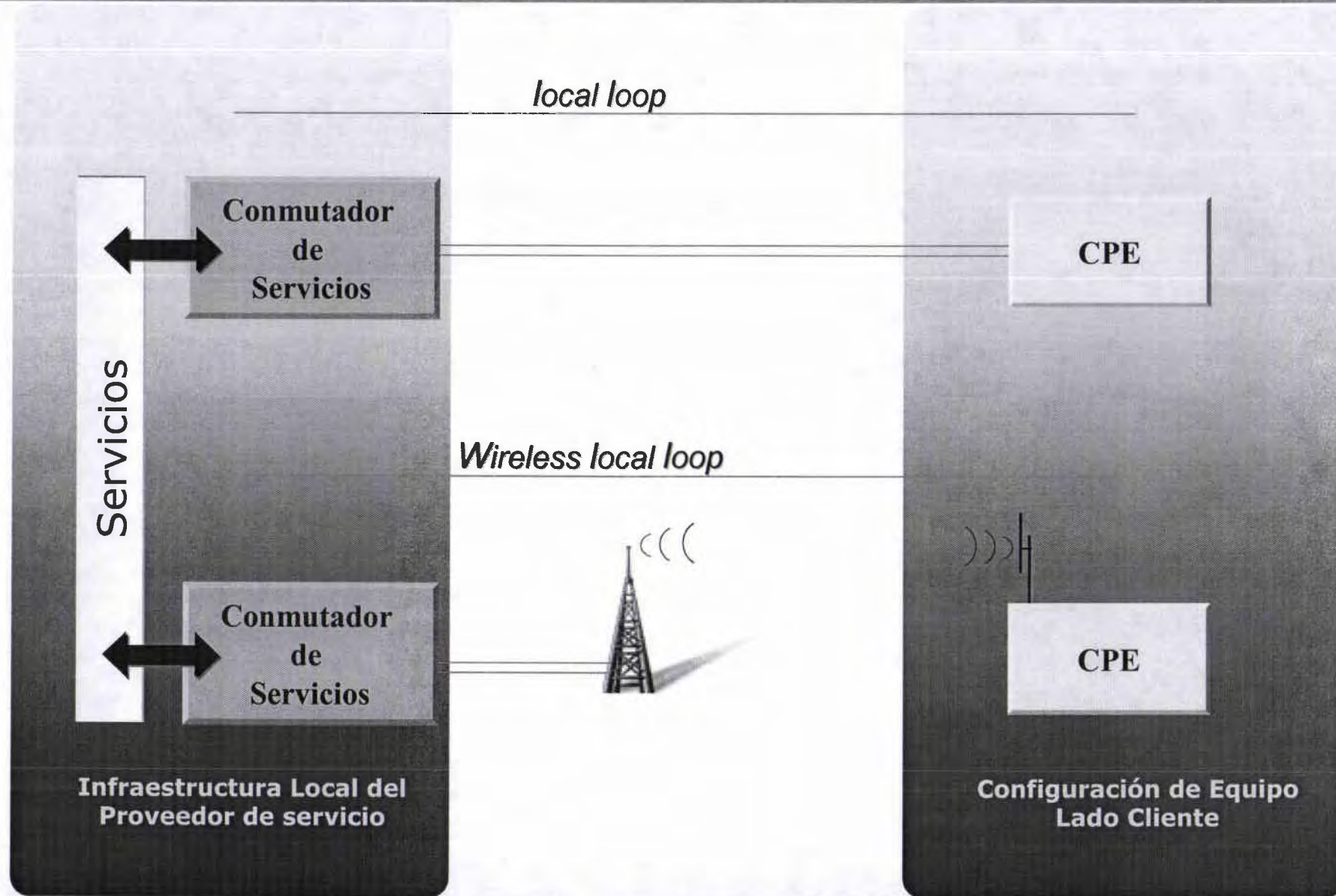


Unión Internacional  
de Telecomunicaciones

*Wireless local loop*

*Redes basadas en ip*

**TELCEL**  
@ BELL SOUTH

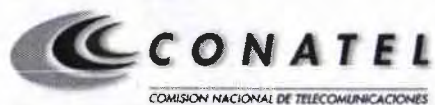




## Wireless local loop

<b>FWA</b> Fix Wireless Access	<b>FWC</b> Fix CDMA / GSM / TDMA
<b>LMDS</b> Local Multipoint Dist Systems	<b>MMDS</b> Multichannel Multipoint Dist Service
<b>BWA</b> Broadband Wireless Access	<b>VSAT</b> Very Small Aperture Terminal
<b>WLAN</b> Wireless LAN	<b>ISAT</b> Internet Satellite Access Terminal





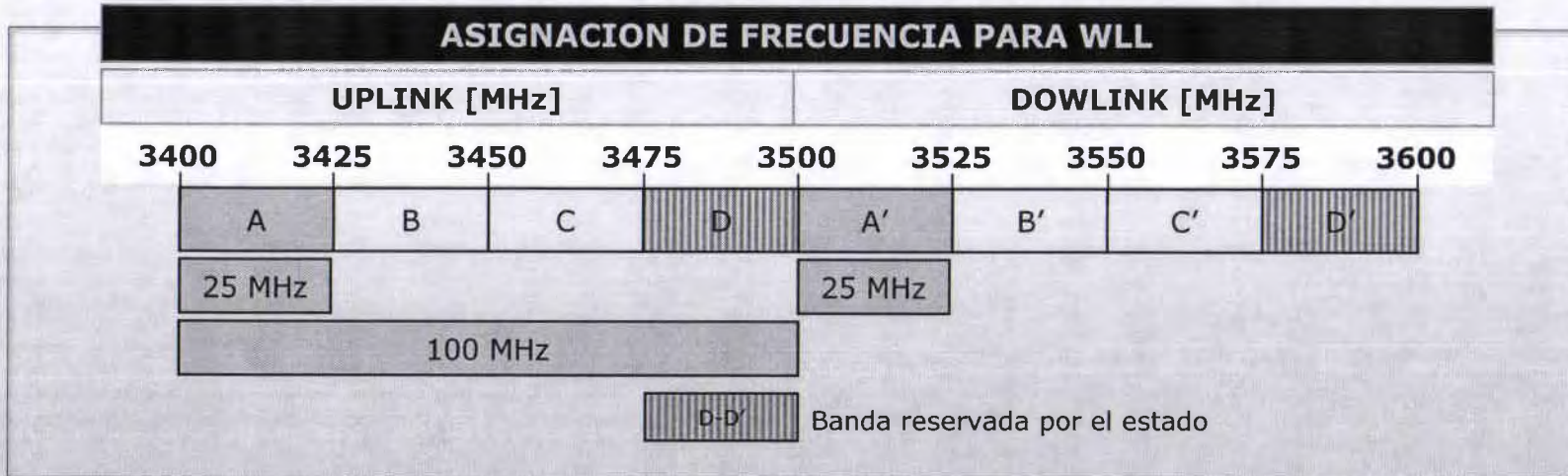
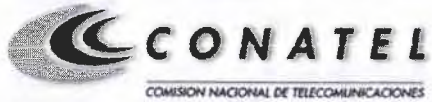
**Cuadro de Atribuciones de Banda de Frecuencia**

Banda	UIT	CONATEL - VENEZUELA	Notas
3 400 – 3 500 MHz	FIJO FIJO POR SATÉLITE AFICIONADOS MOVIL RADIOLOCALIZACION	FIJO FIJO POR SATÉLITE AFICIONADOS MOVIL RADIOLOCALIZACION	<b>V56</b>
3 500 – 3 700 MHz	FIJO FIJO POR SATÉLITE AFICIONADOS MOVIL RADIOLOCALIZACION	<b>3 600 – 4 200 MHz:</b> FIJO  <b>3 800 – 4 200 MHz:</b> FIJO	<b>V57</b>
3 700 – 4 200 MHz	FIJO FIJO POR SATÉLITE MOVIL	<b>3 600 – 3 700 MHz:</b> FIJO POR SATÉLITE	

**V56:** La banda de 3400 a 3600 MHz esta destinada al Servicio Fijo para aplicaciones del tipo **Acceso Fijo Inalámbrico FWA**.

**V57:** La porción de 3600 a 3700 MHz, está atribuida al SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, (enlace espacio - Tierra). El Proyecto Simón Bolívar tiene su enlace Descendente (e-T) en ésta porción. Se debe realizar la coordinación con los sistemas del Servicio Fijo. La banda de 3600 - 4200 MHz se atribuye a título primario al Servicio Fijo por Satélite



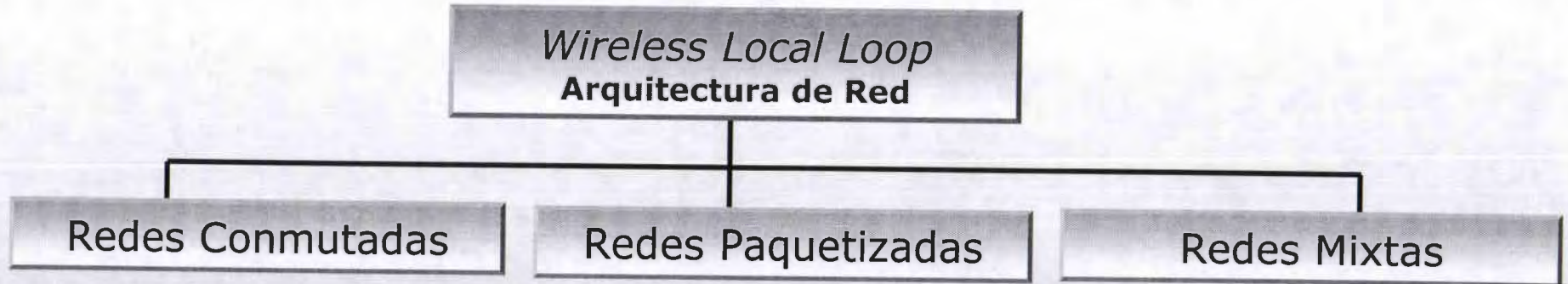






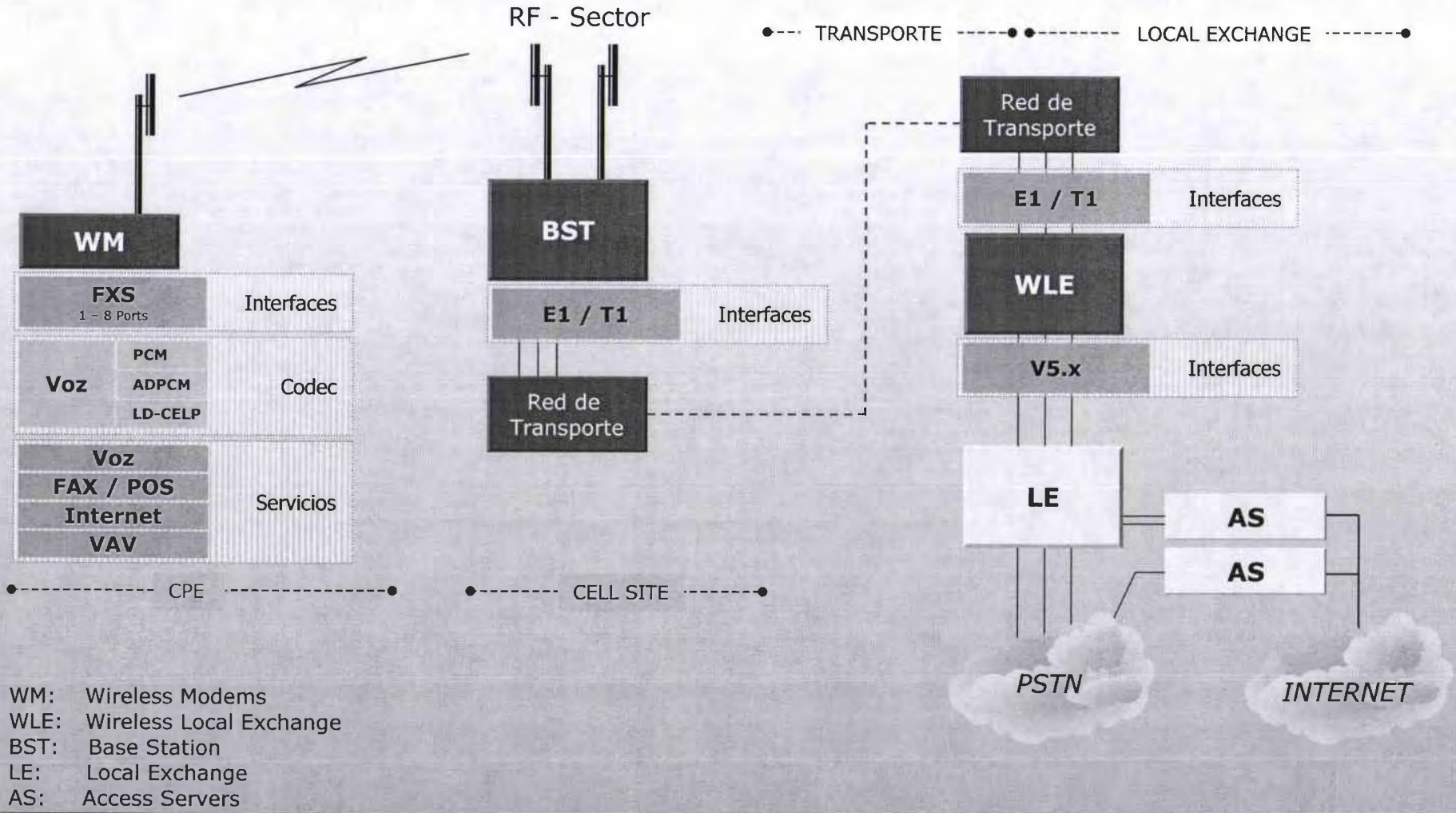
**RESULTADOS DE LA SUBASTA - WLL**

<b>REGIONES</b>	<b>BANDA A - A'</b>	<b>BANDA B - B'</b>	<b>BANDA C - C'</b>
<b>REGION 1</b> DF - VARGAS - MIRANDA- DEP. FEDERALES	TELCEL	GENESIS	ENTEL CHILE
<b>REGION 2</b> MERIDA-TACHIRA-TRUJILLO-ZULIA	TELCEL	GENESIS	MILLICOM
<b>REGION 3</b> APURE-ARAGUA-BARINAS-CARABOBO- COJEDES-GUARICO	.....	TELCEL	GENESIS
<b>REGION 4</b> AMAZONAZ-ANZOATEGUI-BOLIVAR-D AMACURO-MONAGAS- N ESPARTA- SUCRE	TELCEL	GENESIS	DIGICEL
<b>REGION 5</b> FALCON-LARA-PORTUGUESA-YARACUY	TELCEL	GENESIS	DIGITEL



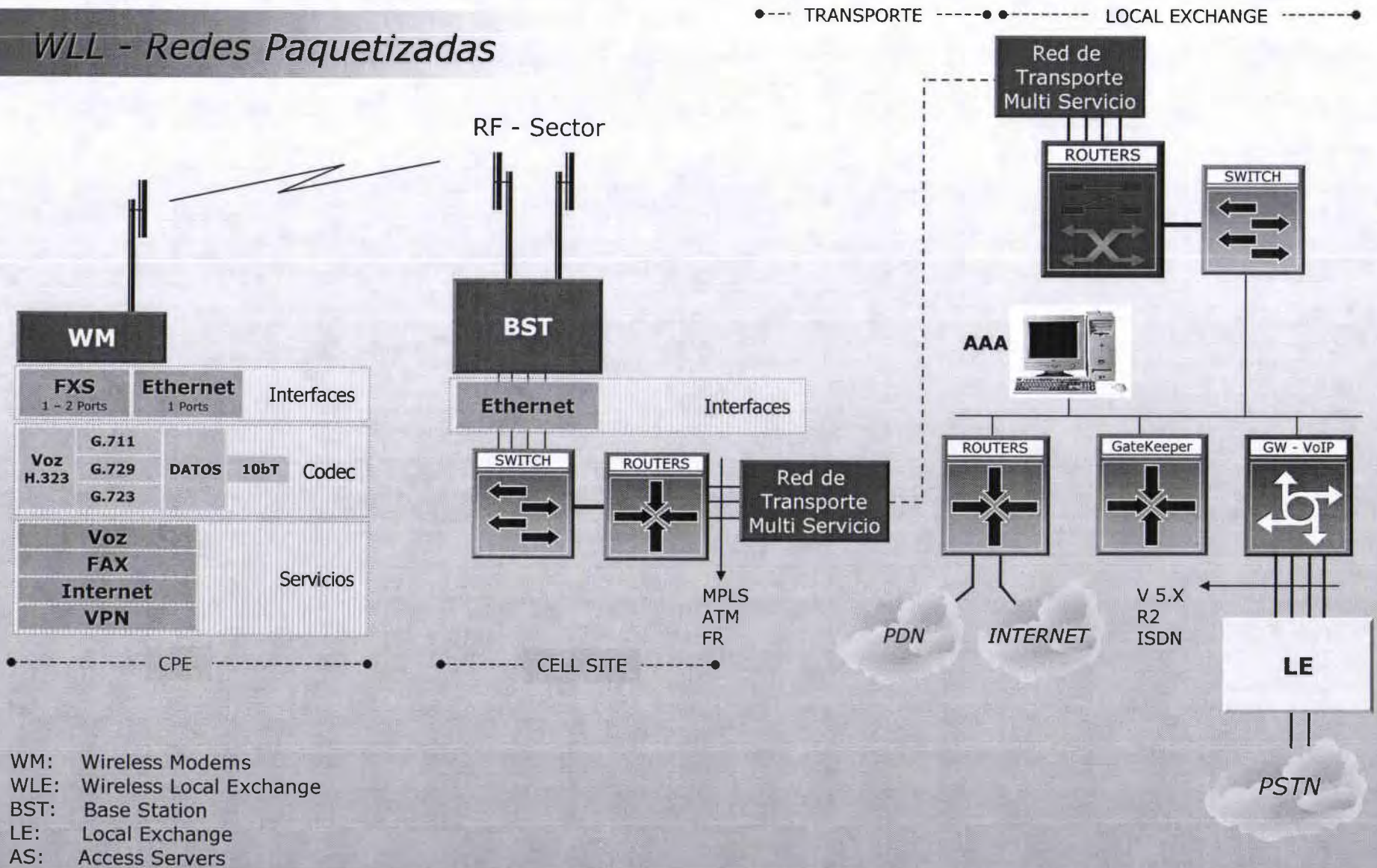


WLL - Redes Conmutadas





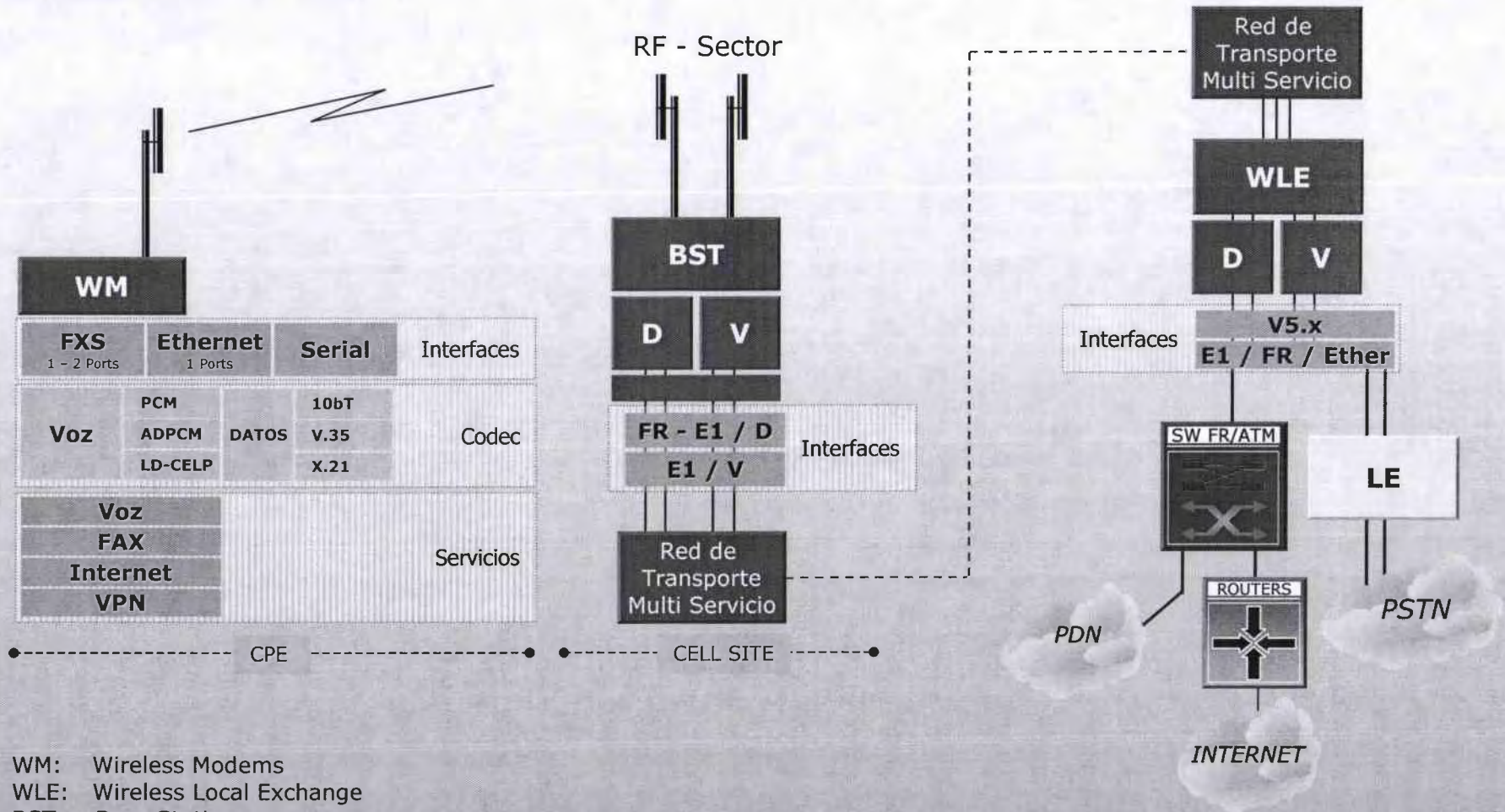
WLL - Redes Paquetizadas





●--- TRANSPORTE ---● ●--- LOCAL EXCHANGE ---●

WLL - Redes Mixtas



WM: Wireless Modems  
 WLE: Wireless Local Exchange  
 BST: Base Station  
 LE: Local Exchange  
 AS: Access Servers



**Wireless Local Loop  
Arquitectura de Red**

**Redes Conmutadas**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
EXECELENTE CALIDAD DE VOZ	ANCHO DE BANDA LIMITADO PARA LOS SERV DE DATOS. 56 KBPS
FACIL INTEGRACION A LAS REDES DE COMUTADAS EXISTENTES	ALTO IMPACTO ECONOMICO AL IMPLANTAR PLANES DE CONEXION A INTERNET ILIMITADO
VALORES AGREGADOS PARA EL SERVICIO DE VOZ	LIMITANTES EN EL NUMERO DE CPE POR RADIO BASE
CON FRECUENCIA USAN PROTOCOLOS V5.2 PARA MAYOR CONCENTRACION DE TRAFICO DE VOZ	

**Redes Paquetizadas**

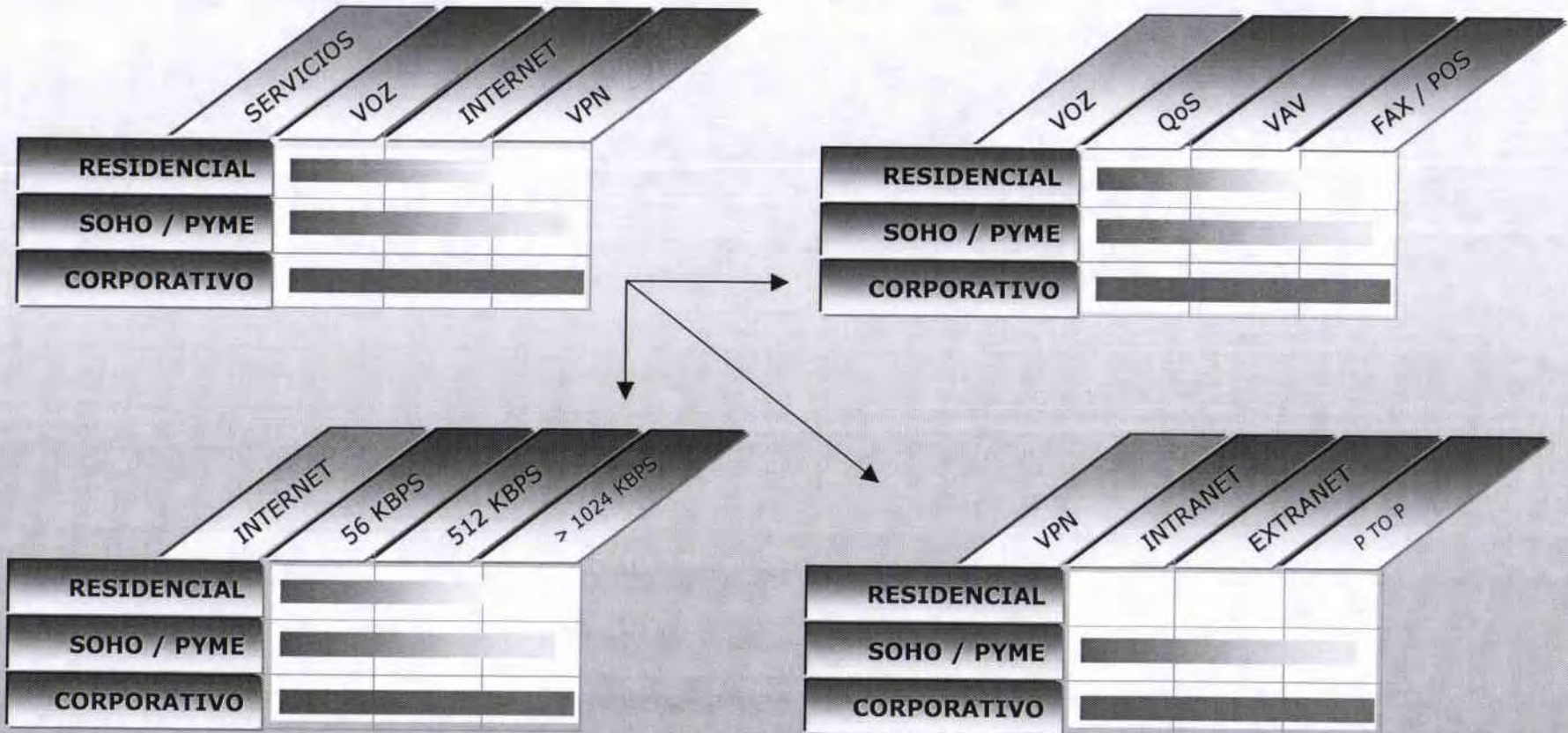
VENTAJAS	DESVENTAJAS
ANCHO DE BANDA POR SUSCRITOR SUPERIOR A LOS 3Mbs	CALIDAD DEL SERVICIO DE VOZ SUCEPTIBLE AL DELAY Y JITTER EN LA RED
MANEJO DEL ANCHO DE BANDA POR DEMANDA	EN ALGUNOS PRODUCTOS EL REUSO DE FRECUENCIA ES LIMITATIVA
USO DE PROTOCOLOS ESTANDARS TIPICAMENTE TCP/IP	SOPORTAN POCAS LLAMADAS DE VOZ SIMULTANEAS POR RADIO BASE
USO EFICIENTE DEL ESPECTRO RADIO ELECTRICO (b/Hz)	
FACIL IMPLEMENTACION DE SERVICIOS PARA REDES VIRTUALES (INTRANET - EXTRANET)	

**Redes Mixtas**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
PROVEE INTERFACES SERIALES PARA SERVICIOS DE REDES PRIVADAS	FRECUENTEMENTE USAN EQUIPOS DE RADIOS DE SEGUNDA GENERACION
EXECELENTE CALIDAD DE VOZ	LIMITACIONES EN EL ANCHO DE BANDA PARA LOS SERVICIOS DE DATOS. TIPICAMENTE HASTA 512 KBPS
FACIL INTEGRACION A LAS REDES COMUTADAS EXISTENTES	
VALORES AGREGADOS PARA EL SERVICIO DE VOZ	



Premisas Básicas para la Identificación de Servicios





**Metodo Cuantitativo para la selección de Soluciones de Acceso****Metodo de Múltiples Decisiones Binarias (MBDM) - IEEE****Atributos a ser Considerados en la Matriz de Decisión:**

- Seguridad en la Red (LE – CPE) [A]
- Costo de Inversión [B]
- Factibilidad de Implementación [C]
- Capacidad de Control – Management (TMN - SLA) [D]
- Impacto Sobre la Red Existente si la hubiere [E]
- Cantidad de Nuevos Equipos [F]
- Requerimientos de Espacios [G]
- Escalabilidad [H]

**Matrices de Ponderación de Atributos:**

- Clientes Corporativos [M-1]
- Clientes SOHO / PYME [M-2]
- Clientes Residenciales [M-3]

**Matrices de Puntuación para la Arq. de Red WLL**

- WLL - Conmutadas [R-1]
- WLL - Paquetizada [R-2]
- WLL - Mixta [R-3]



**Metodo Cuantitativo para la selección de Soluciones de Acceso**

**Metodo de Múltiples Decisiones Binarias (MBDM) - IEEE**

M-3	A   B   C	
M-2	A   B   C	
M-1	A   B   C	PUNTOS
	A	
	B	
	C	

H	R1   R2   R3	
C	R1   R2   R3	
B	R1   R2   R3	
A	R1   R2   R3	PUNTOS
	R1	
	R2	
	R3	

M-3	A	B	C	D	H	PUNTOS
M-2	A	B	C	D	H	PUNTOS
M-1	A	B	C	D	H	PUNTOS
R1						PUNTOS
R2						PUNTOS
R3						PUNTOS





## Características Técnicas a Evaluar en una Red WLL

### **Radio Base – CPE:**

#### **Interfaz Aerea - RF**

- Frecuencia de Operacion
- Tecnologia de Acceso
- Radios de Cobertura
- Tipo de Modulacion

### **Radio Base:**

#### **Interfaz de Interconexion a la Red WAN**

- Int. Electricas
- Protocolos
- Señalización

#### **Características Generales**

- Número de sectores
- Tipo de montaje
- Interconexión a IF / RF

#### **Capacidad**

- Ancho de Banda Uplink – Downlink (MHz)
- Throughput / Sector (bps)
- Rango de Operacion del Duplexer
- Máxima Capacidad de Usuarios de Voz
- Máxima Capacidad de Usuarios de Datos
- Cantidad y Dimensiones de los equipos

### **CPE – Subscriber Unit:**

#### **Interfaces y Servicios**

- No. de POTS / FXS
- No. de Int. Ethernet
- No. y Tipo de Interfaces Seriales

#### **Instalacion**

- Tipo de Instalación y Fijación de antenas
- Interconexión a IF / RF
- Distancia del cable (SU – Antena)
- Battery Backup

### **Network Management**

#### **TMN**

- Fault Management
- Performance Management
- Configuration Management
- Security Management

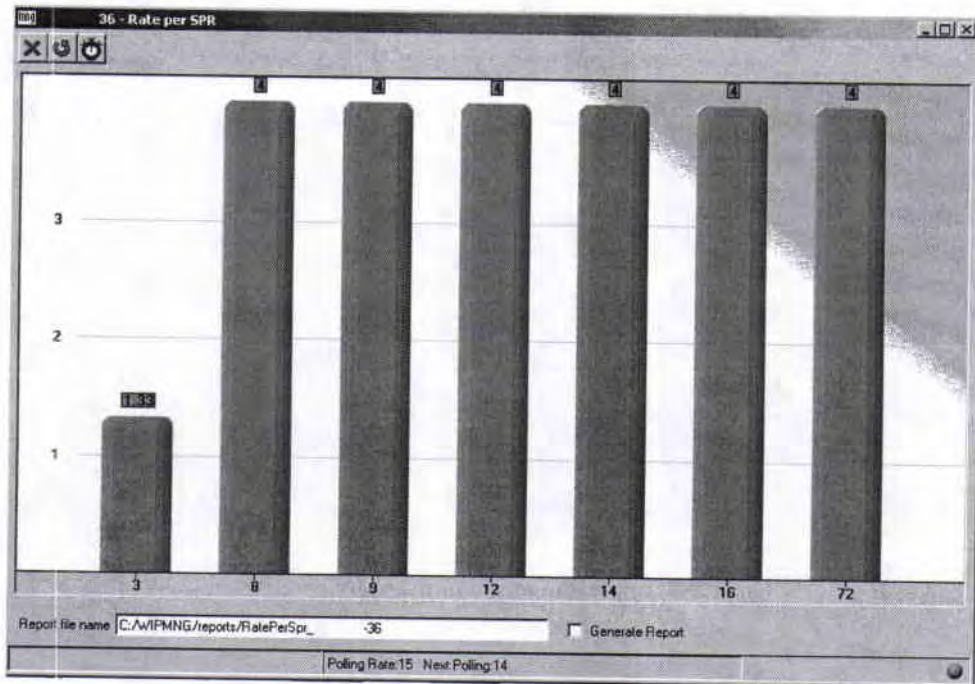
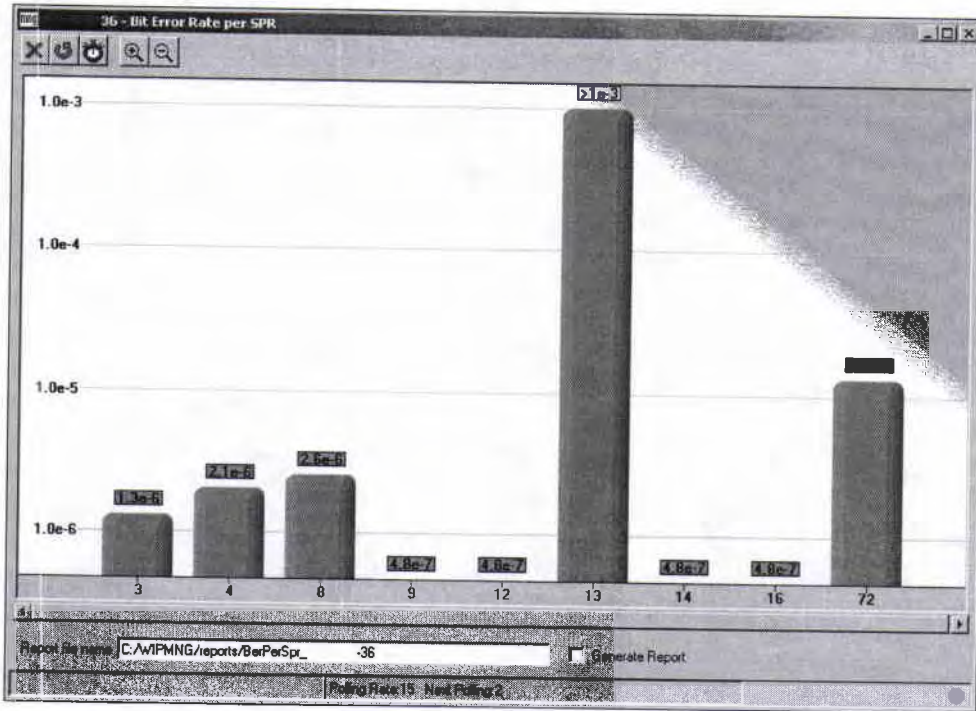
#### **Protocolos para el DCN**

- SNMP
- CORBA
- TL1

ANEXO 2  
BER Y RATE DE LAS SPRS SOBRE LA BSR

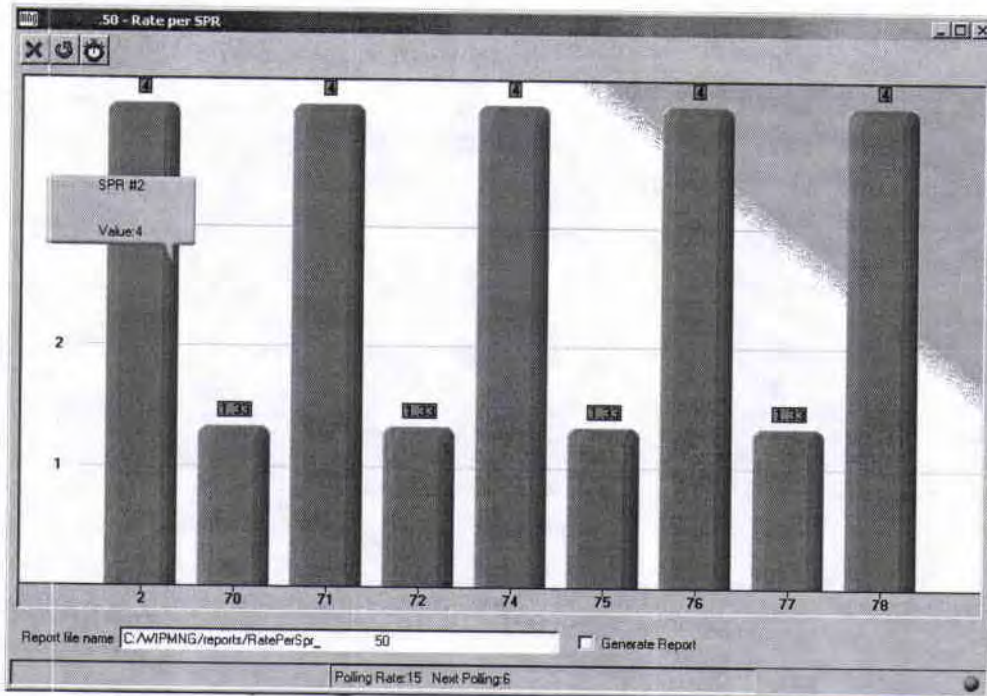
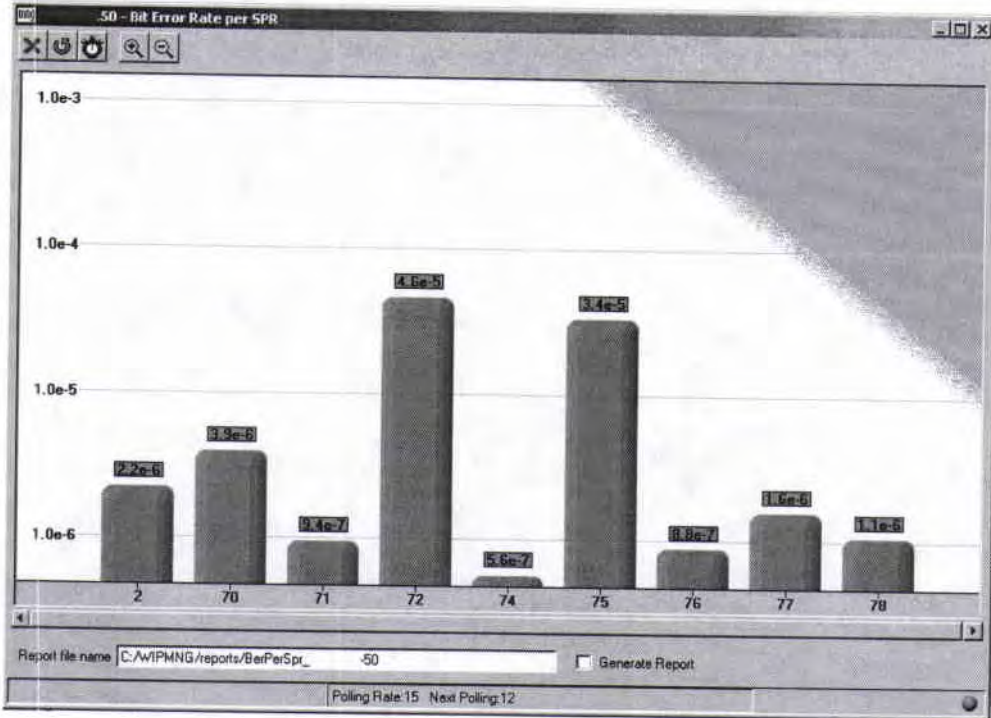
RADIOBASE TORRE DE COMUNICACIONES

BSR 36 2.4 Ghz



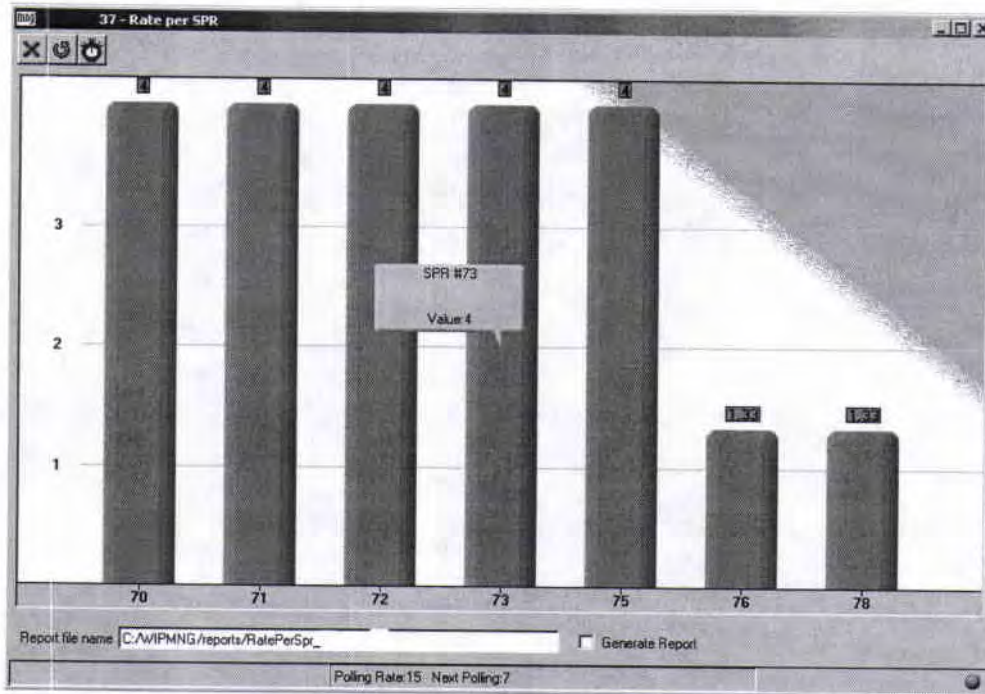
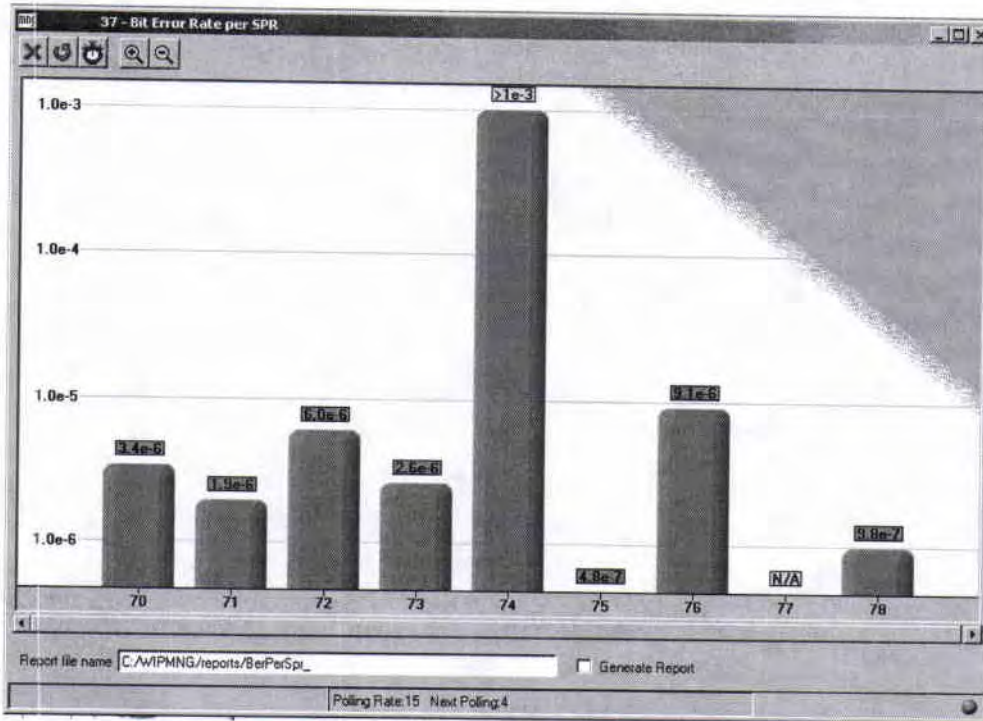


# BSR 50 5.7Ghz



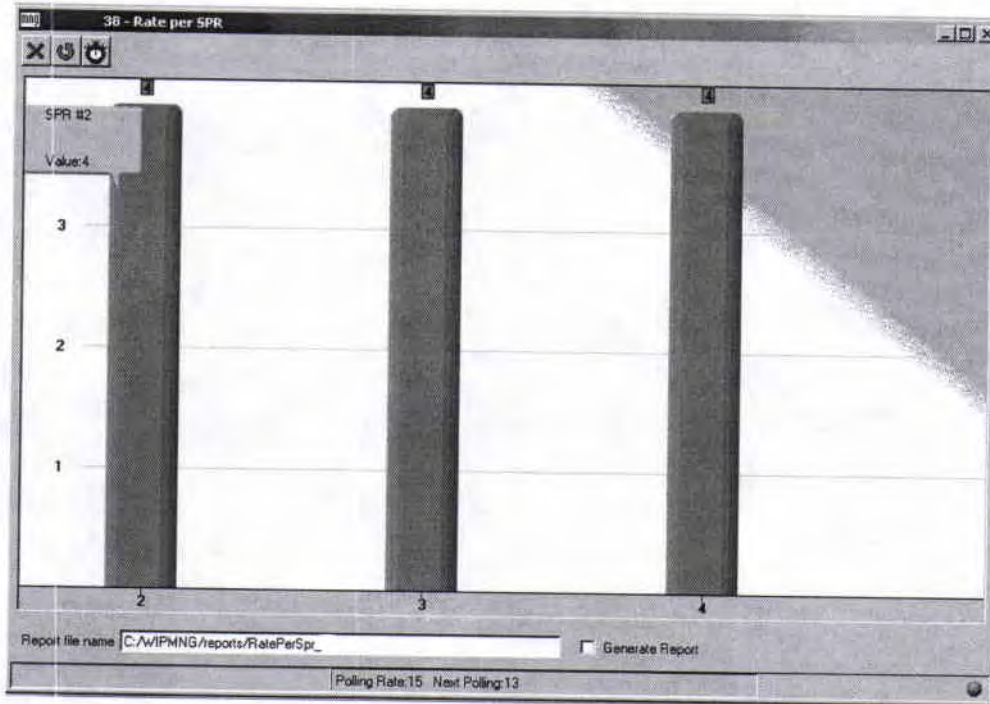
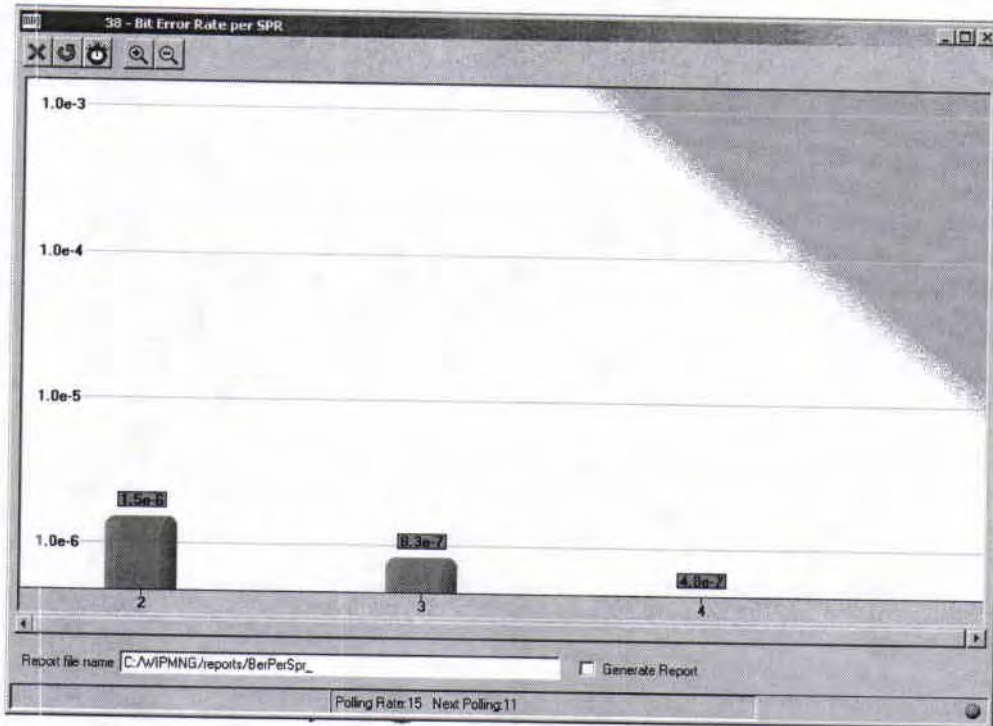
# RADIOBASE SUR

BSR 37 5.7 Ghz



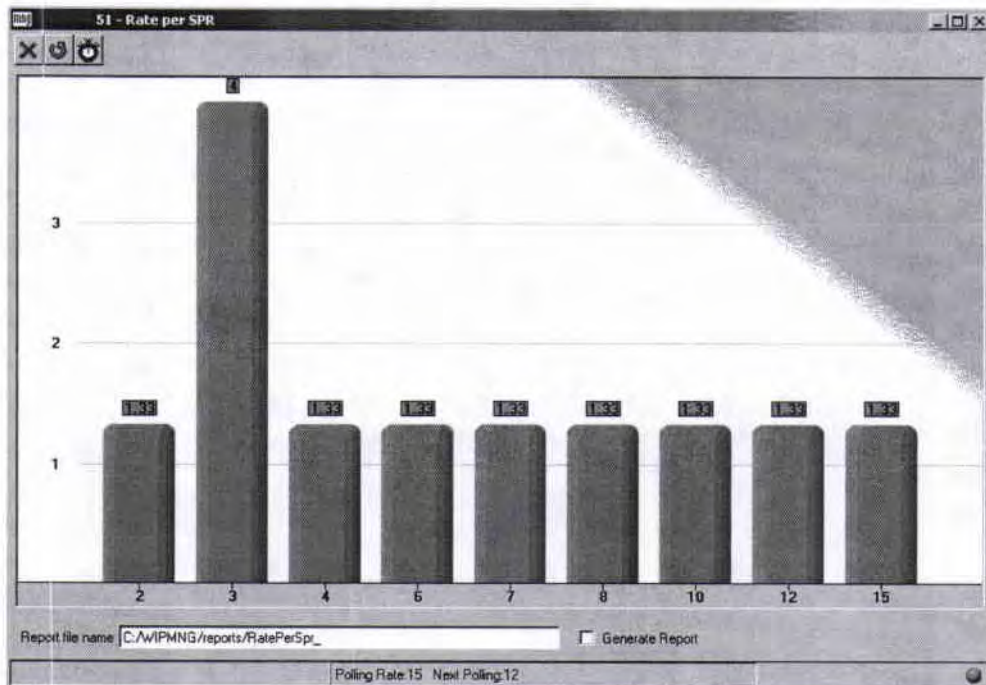
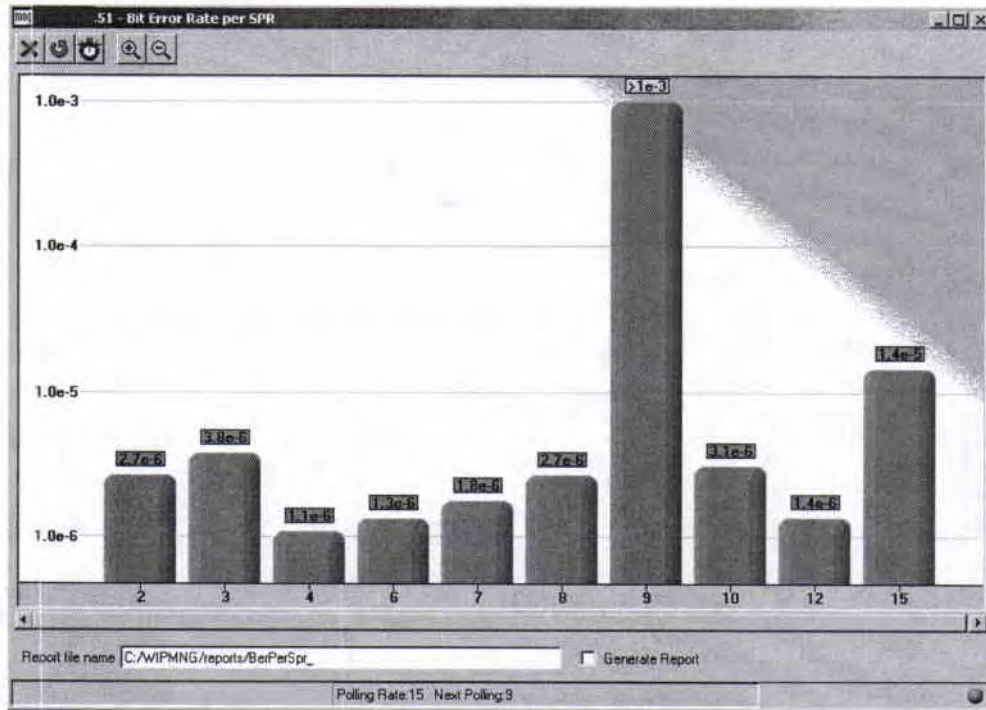


# BSR 38 5.7 Ghz

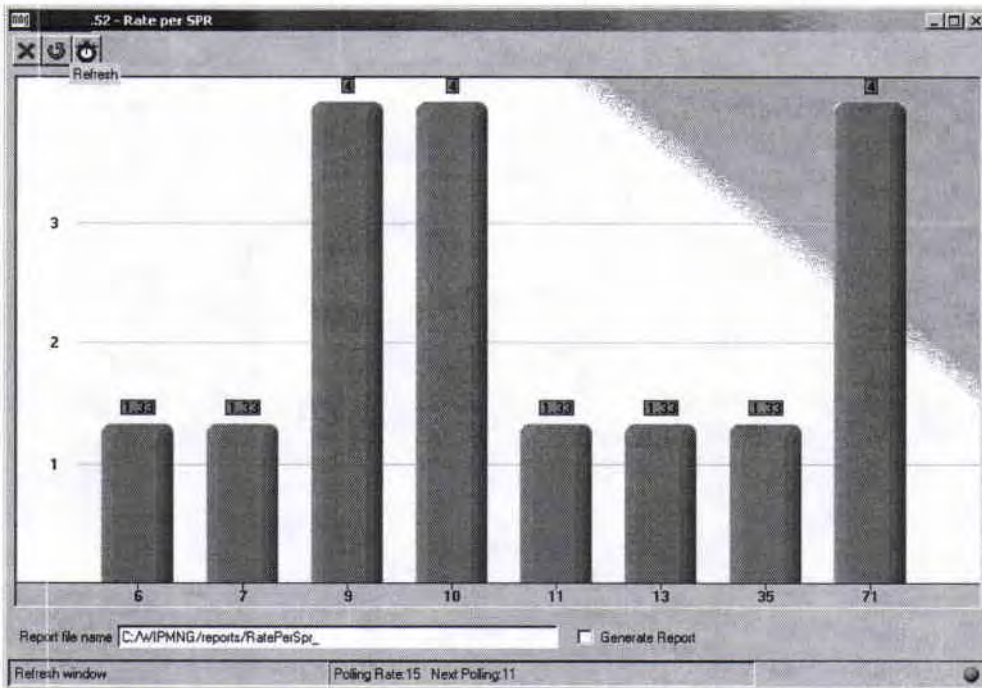
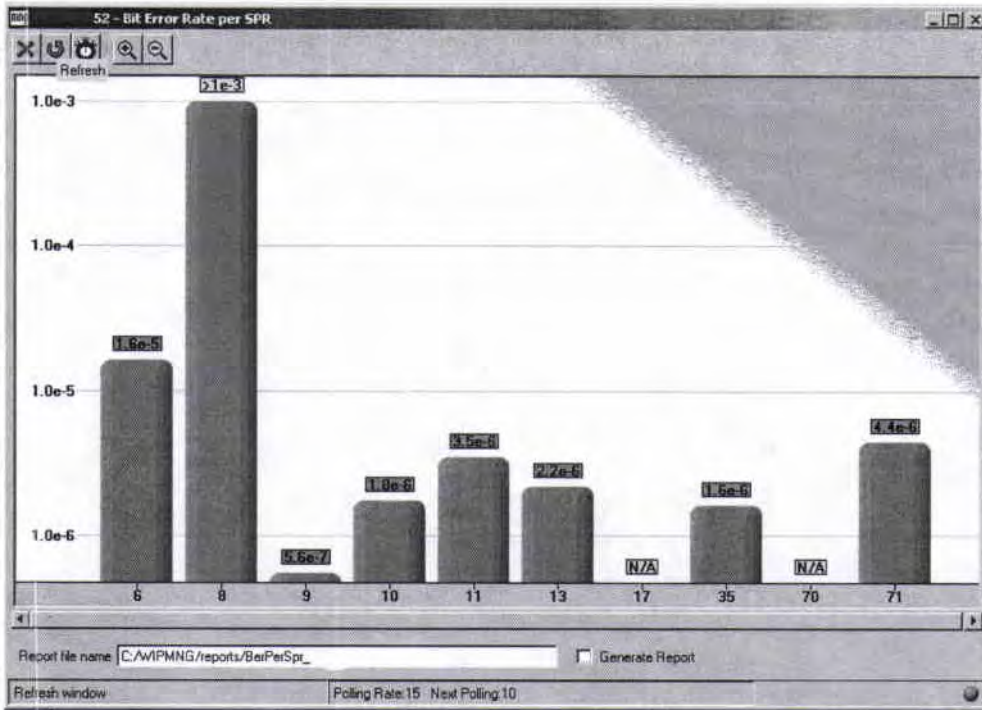


# RADIOBASE CENTRO

## BSR 51 5.7 Ghz

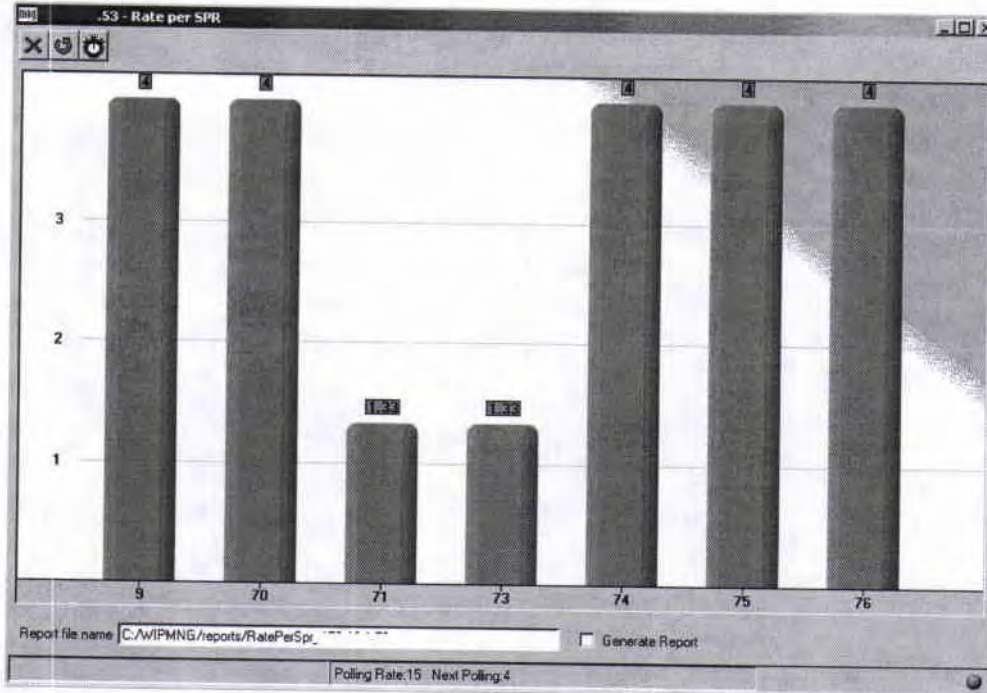
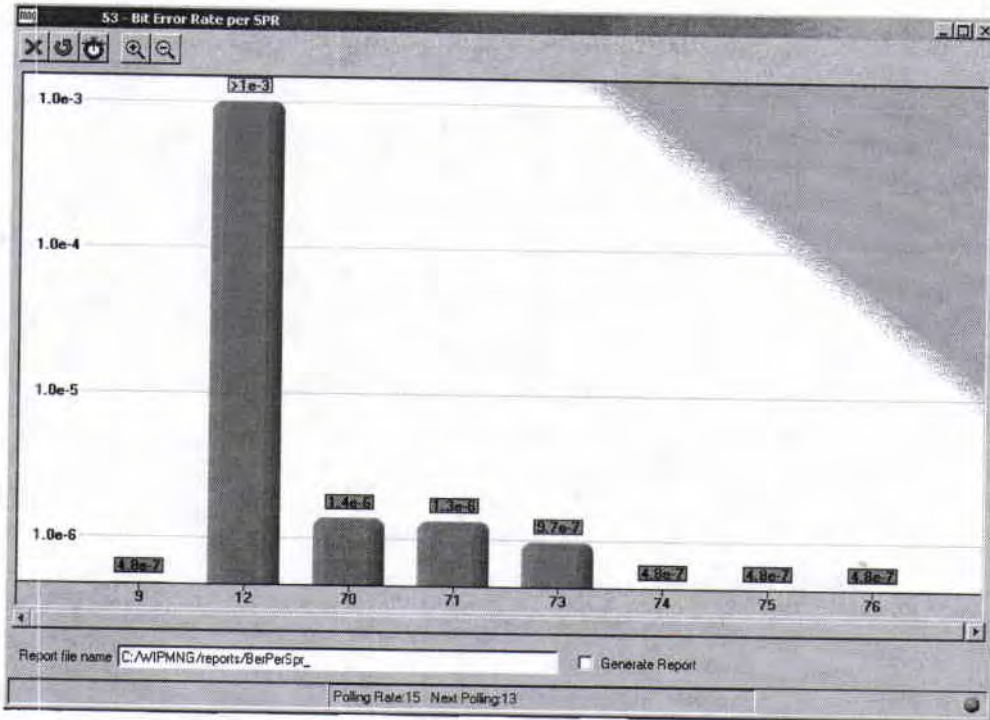


# BSR 52 2.4 Ghz

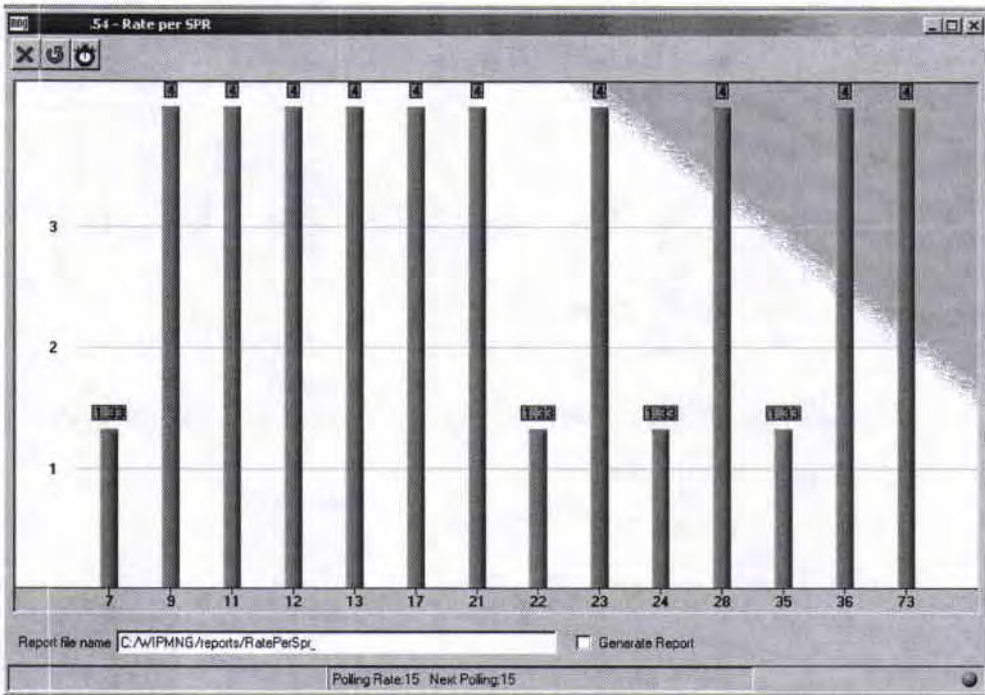
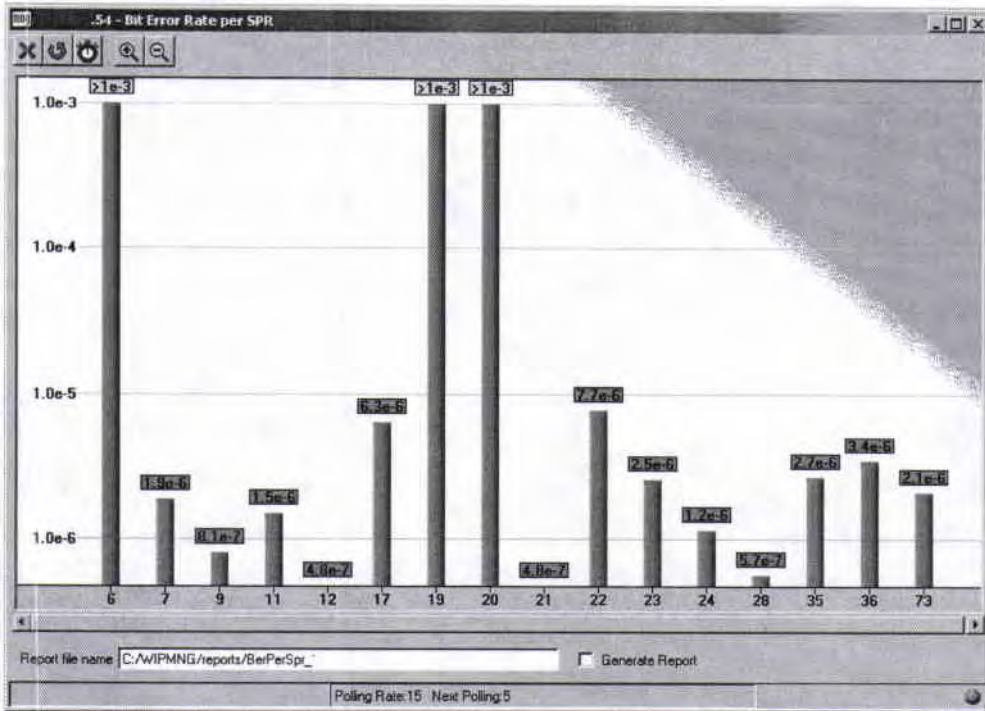




# BSR 53 5.7 Ghz

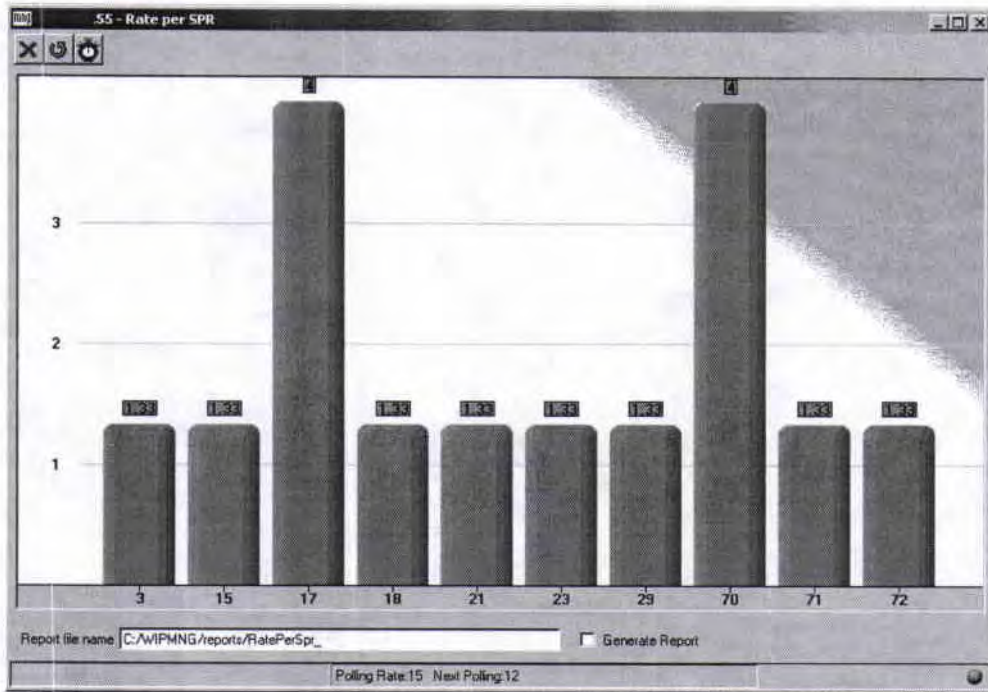
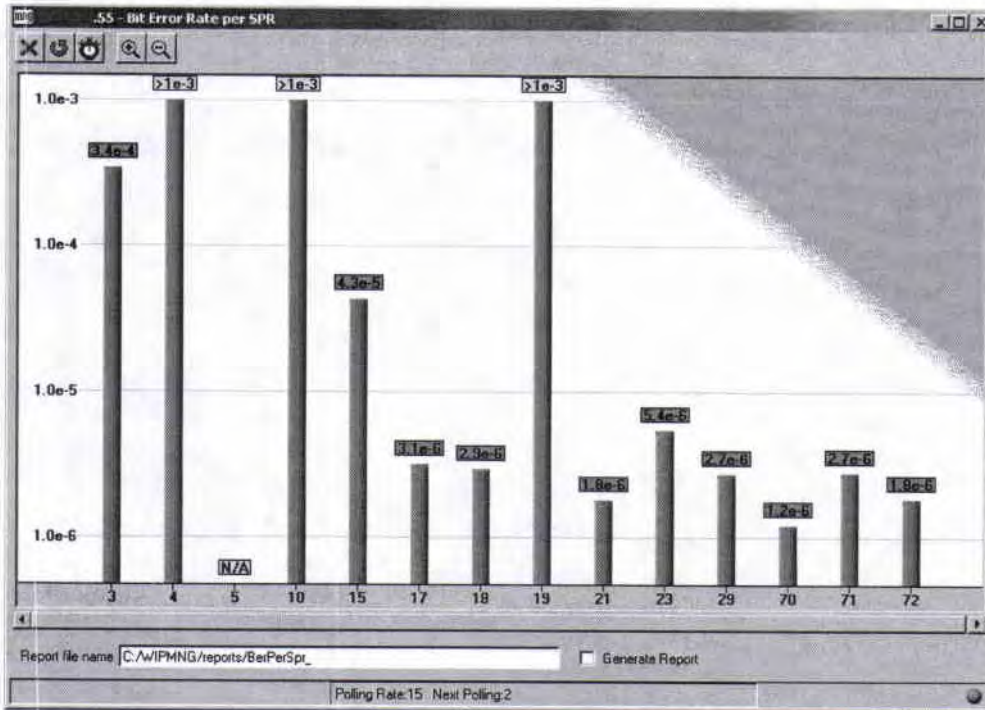


# BSR 54 2.4 Ghz

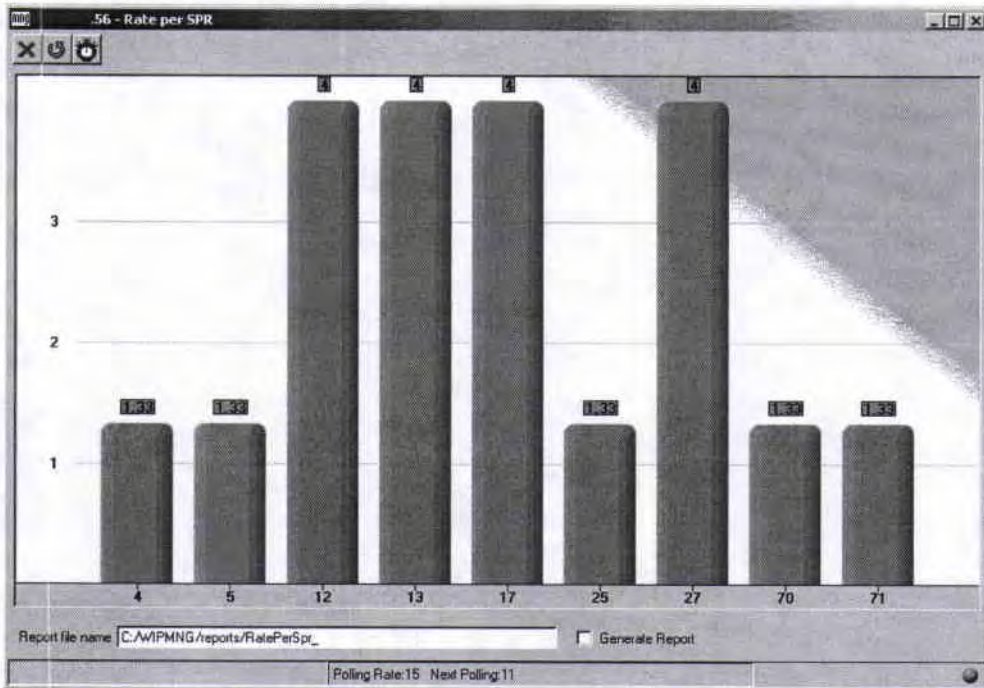
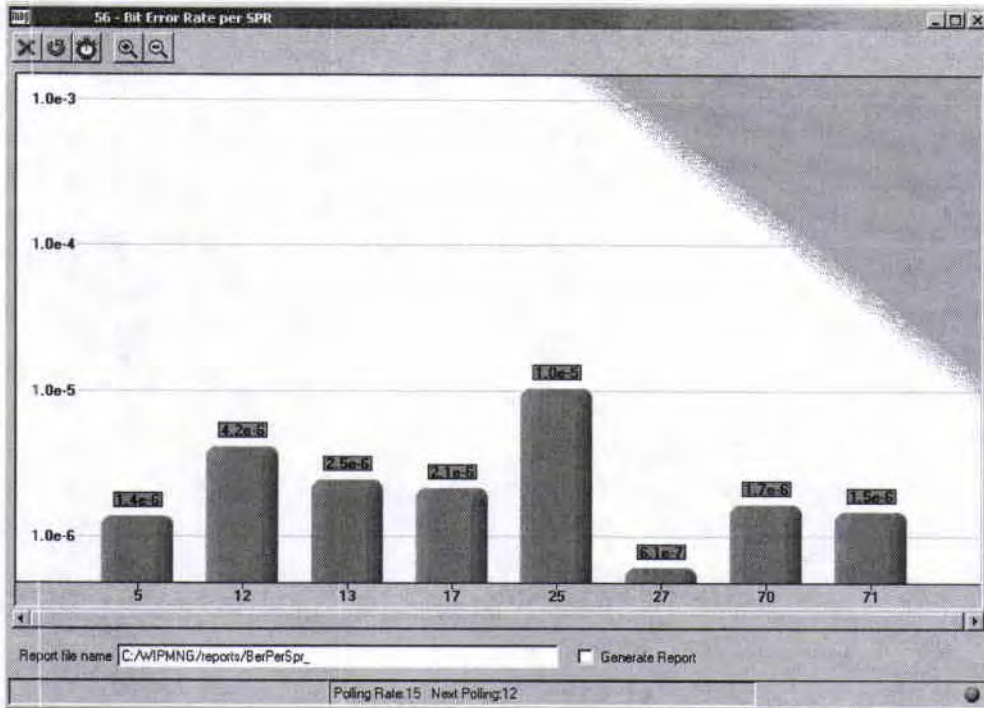




BSR 55 2.4 Ghz.

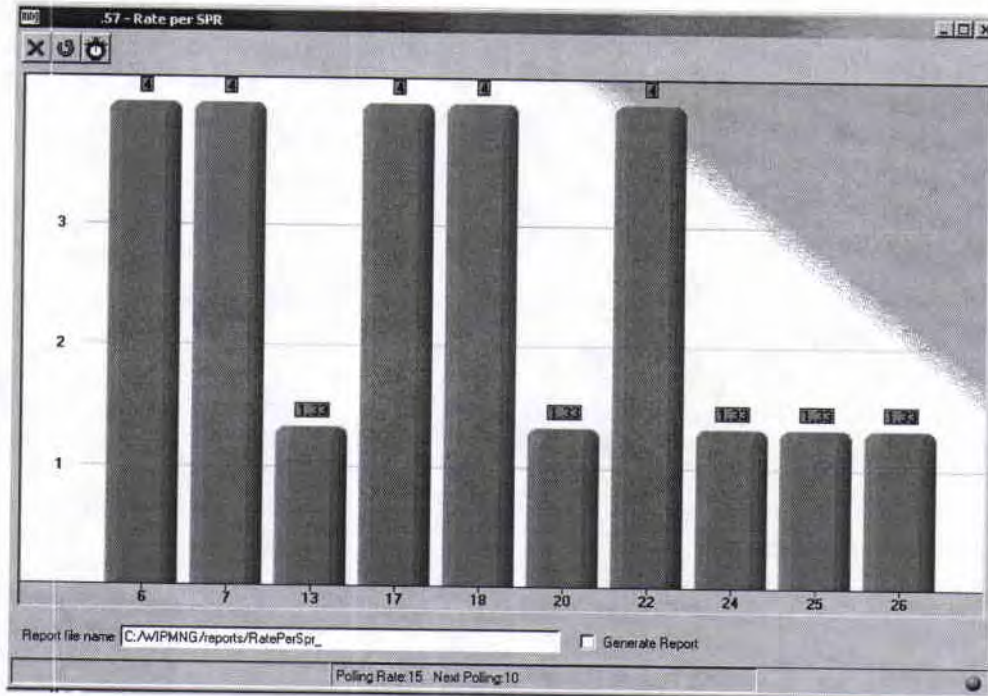
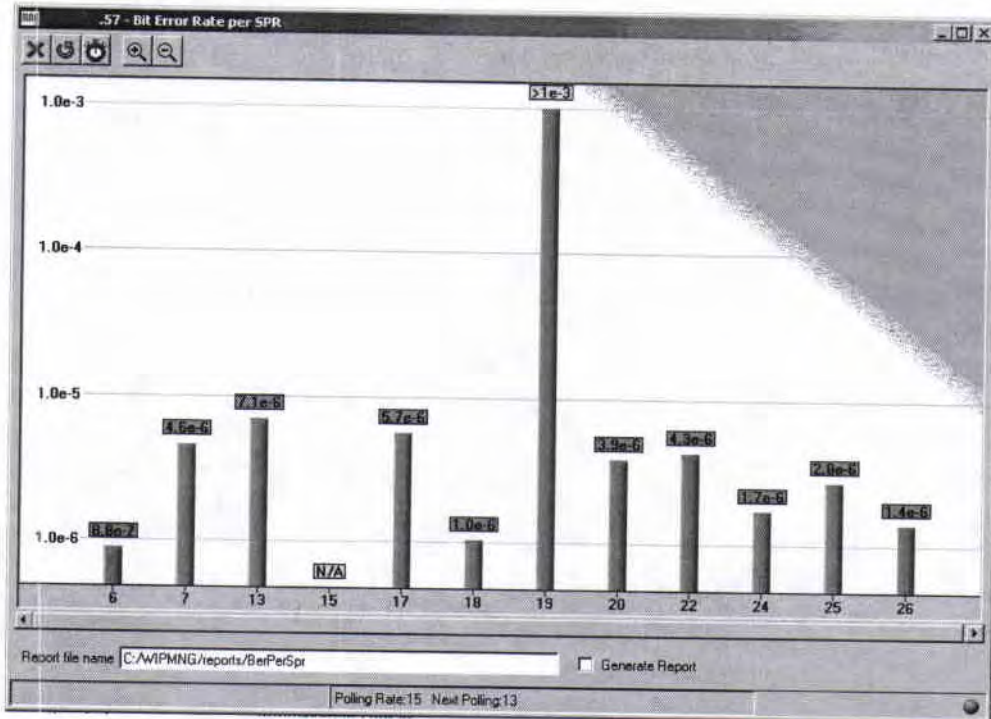


# BSR 56 2.4 Ghz

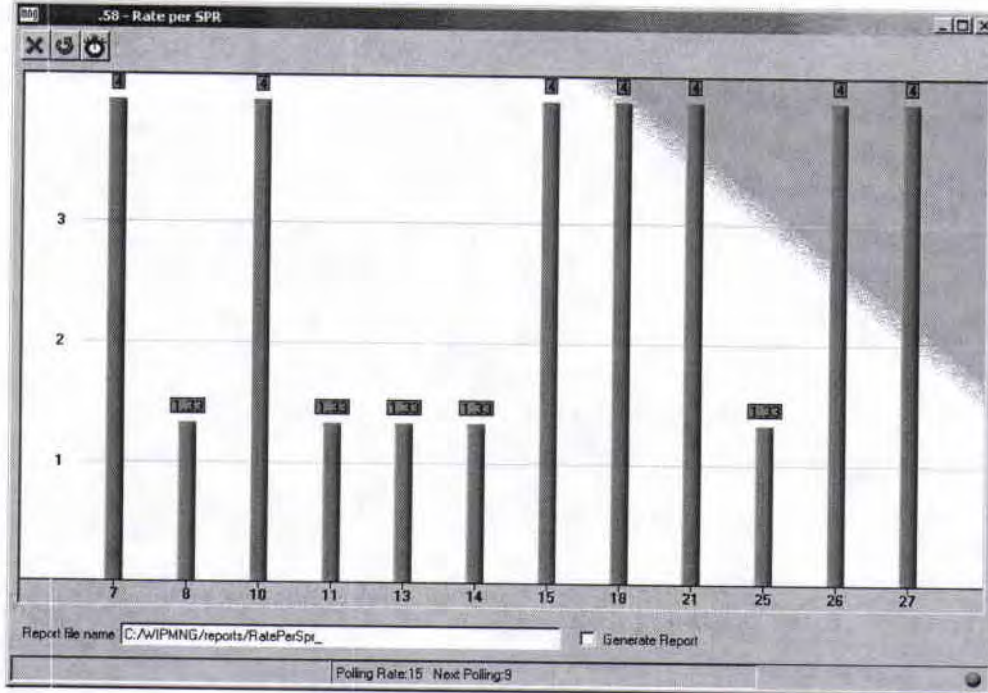
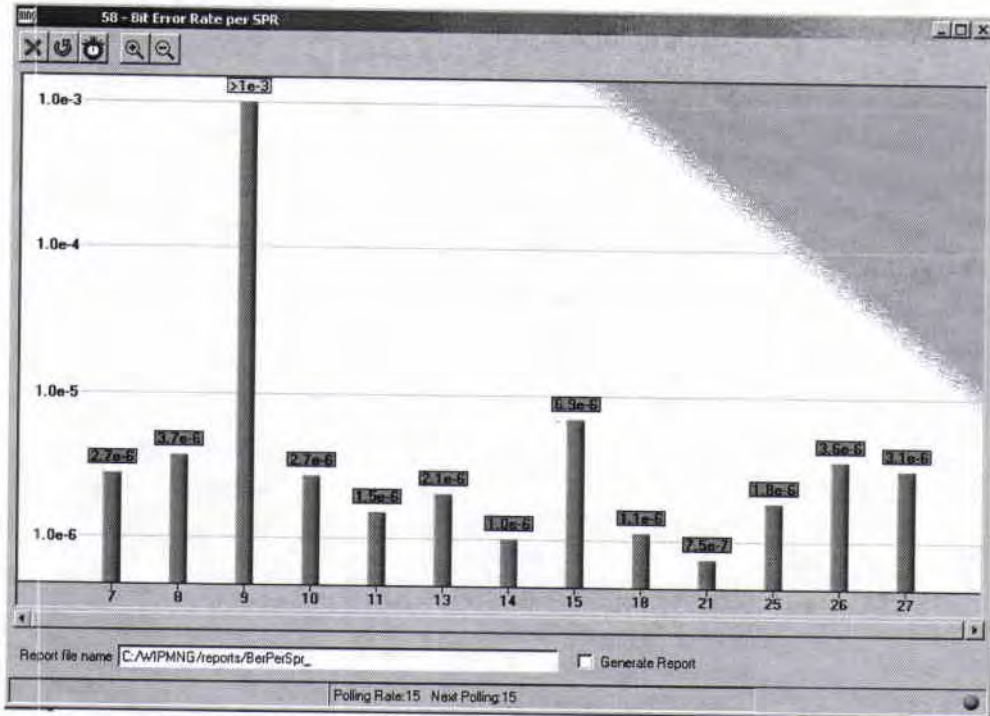




# BSR 57 2.4 Ghz

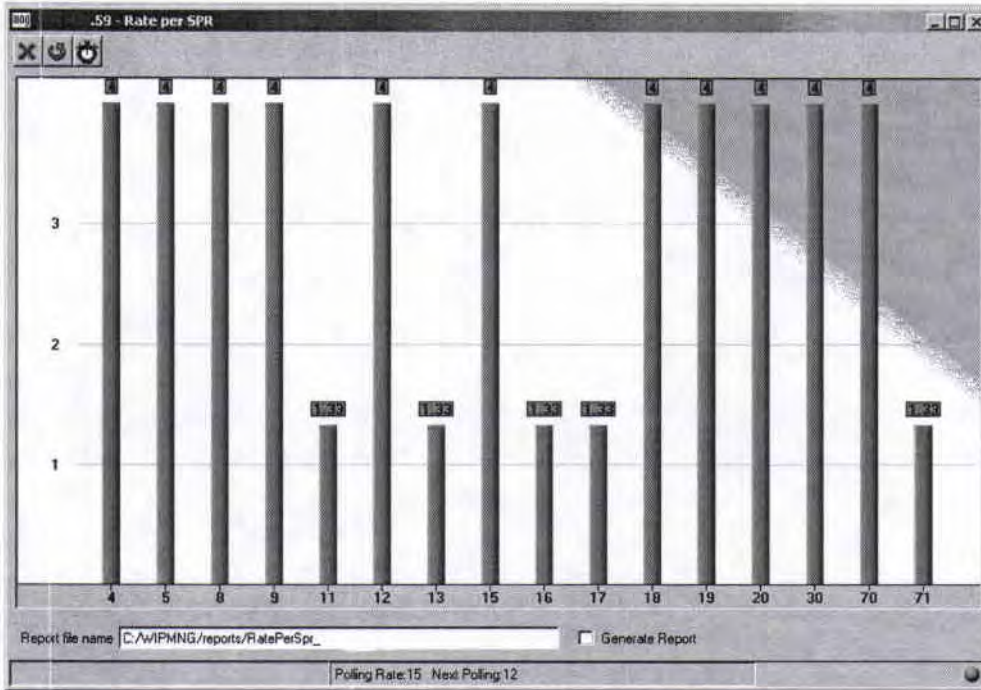
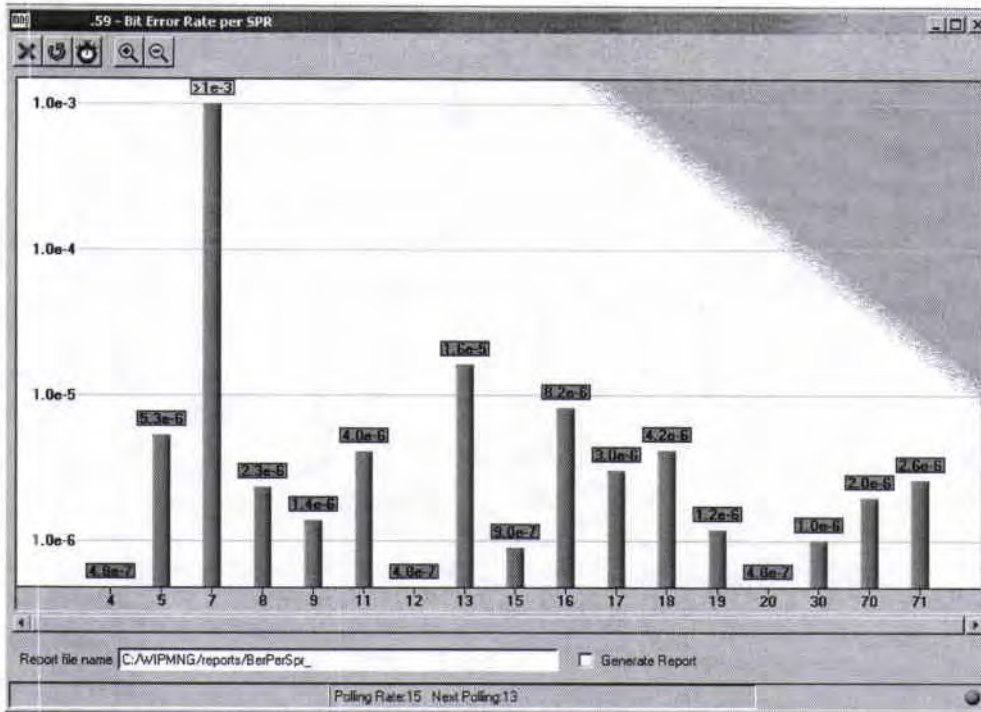


# BSR 58 2.4 Ghz

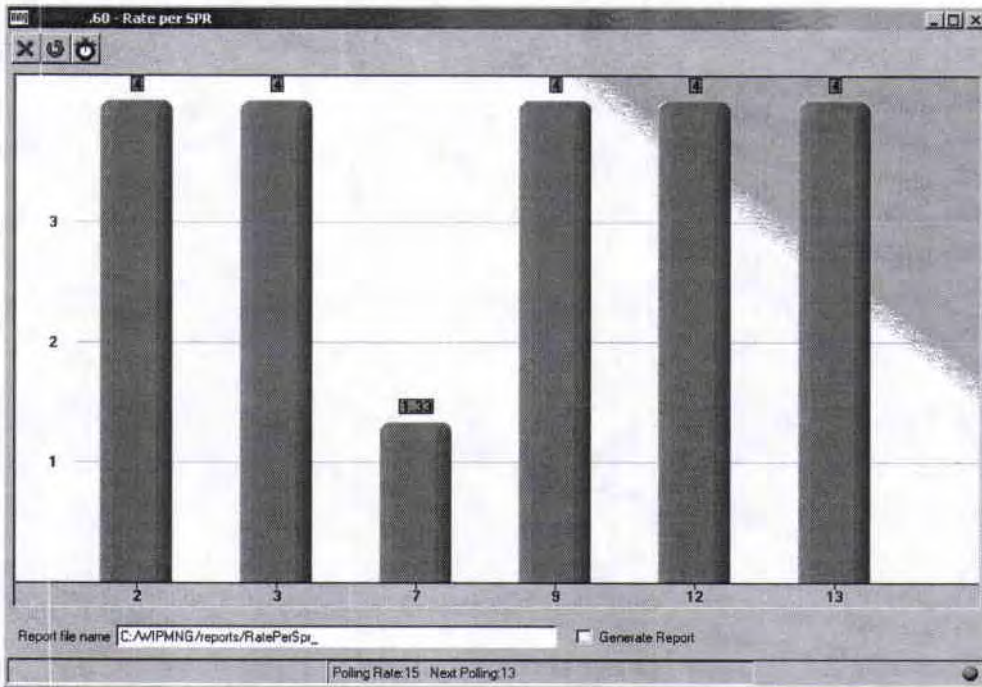
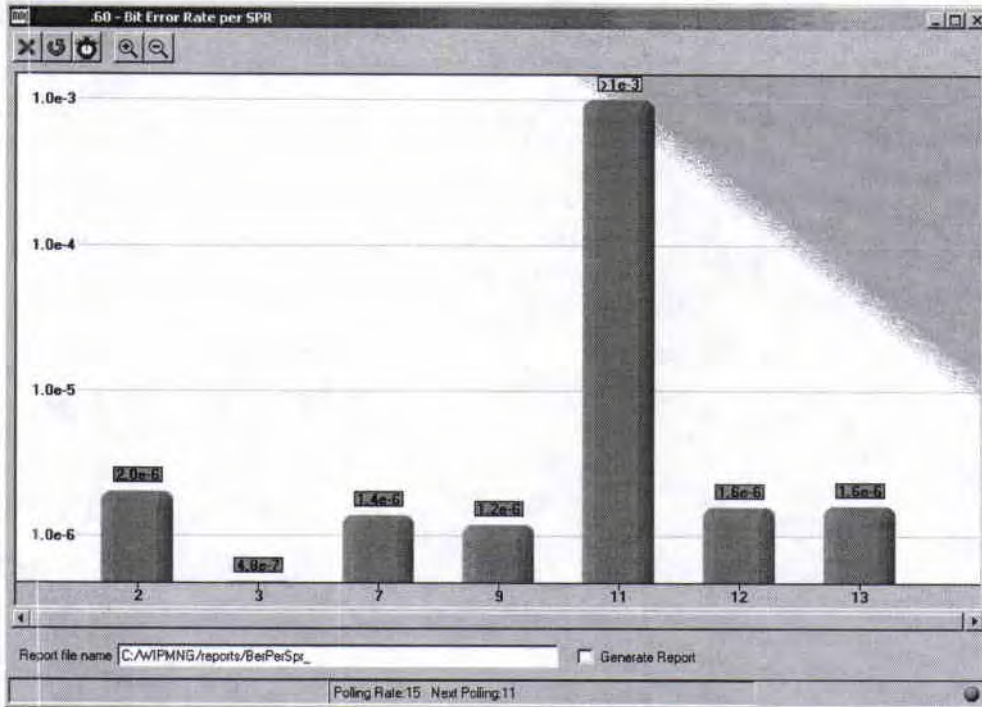




# BSR 59 2.4 Ghz

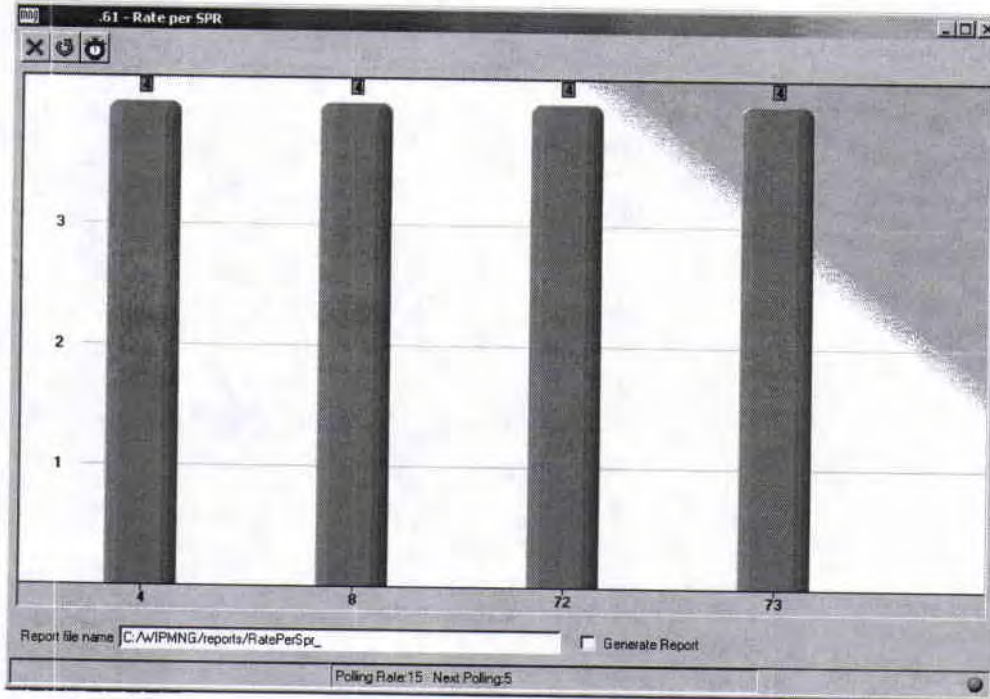
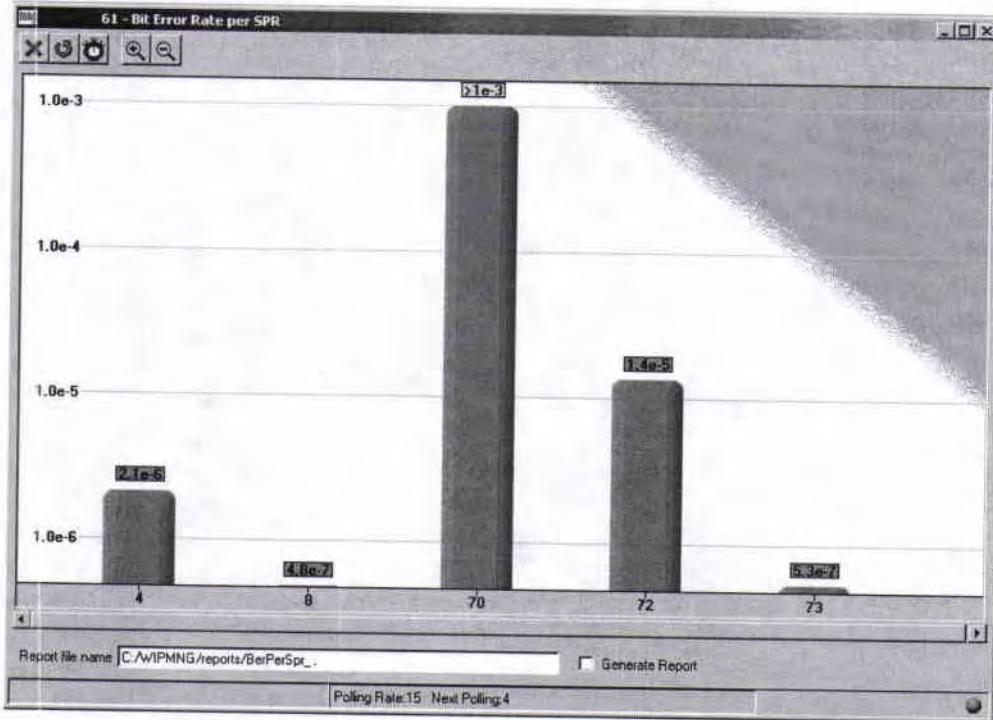


# BSR 60 2.4 Ghz





# BSR 61 5.7 Ghz



# BSR 62 2.4 Ghz

