



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN
DE UNA RADIOWEB PARA LA
TECNOLOGÍA DE LTE**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES
Que para obtener el título de
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A

GILDARDO ALEJANDRO ESPINOZA JIMÉNEZ

ASESOR DE INFORME

M. I. CHRISTIAN HERNÁNDEZ SANTIAGO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Agradecimientos

A mi madre, que gracias a su cariño, confianza y apoyo recibidos a lo largo de toda mi vida, me ha permitido lograr todo lo que he conseguido. Por su esfuerzo y ejemplo del día a día me hará responder con valor y determinación todos los retos que enfrente en el futuro.

A mi padre y hermanos, por estar siempre conmigo y ser parte de lo que soy, además de aceptarme con mis virtudes y defectos todos estos años.

A la Facultad de Ingeniería y la UNAM, que me instruyeron en este largo camino para llegar a ser un profesional capaz y comprometido con su sociedad y país.

A la empresa que me ha brindado una oportunidad laboral y me ha dado su confianza para aplicar mis conocimientos adquiridos durante mi carrera, complementándolos con los que ahí me compartieron.

Al Ing. Christian Hernández, por haberme apoyado a realizar este trabajo escrito.

A los amigos y compañeros con los que he tenido el placer de convivir y que han sido parte de mi vida de una forma especial.

Tabla de contenido

Objetivo	1
Capítulo 1. Introducción	3
1.1 Antecedentes.....	4
Capítulo 2. Justificación	7
Capítulo 3. Proceso de implementación de un nuevo nodo.....	9
3.1 Drive Test.....	9
3.2 Optimización de la red.....	11
3.3 Integración de un nuevo nodo a la red.....	13
3.3.1 Topología en cascada.....	14
3.3.2 Topología estrella	15
3.3.3 Topología en árbol	16
Capítulo 4. La Radiobase.....	17
4.1 Clasificación de radiobases	18
4.2 Implementación de una radiobase	18
4.3 Elementos de una radiobase.....	20
4.4 El RRU	21
4.5 La BBU	23
4.6 Conexión entre BBU y RRU.....	27
4.6.1 Conexión con Fibra Óptica	27
4.6.2 Fibras monomodo	28
4.6.3 Composición del cable de fibra óptica	28
4.6.4 Conversión de la señal eléctrica/óptica.....	29
4.7 Medios de transmisión entre una radiobase y la Red Móvil.....	30
4.7.1 Radioenlace.....	30
4.7.2 Red de Fibra Óptica.....	32
4.8 Antenas Sectoriales.....	34
4.8.1 Implementación de un <i>tilt</i> en una antena	37
4.8.2 Implementación del Tilt eléctrico en una antena.....	38
4.8.3 Implementación de <i>tilt</i> mecánico.....	40
4.8.4 Comportamiento de la antena ante la aplicación de los Downtilt.....	41
4.8.5 Implementación de azimut	42
4.8.6 Azimut: Método de ajuste frontal.....	43
4.8.7 Azimut: Método de ajuste por punto de referencia.....	44
4.9 Interconexión directa Antena–RRU	45
4.9.1 VSWR	46
Capítulo 5. Interfaces de comunicación interna en una radiobase.....	49
5.1 Interfaz de comunicación entre BBU y RRU	49

5.1.1 La interfaz CPRI.....	49
5.2 Interfaz de comunicación entre un nodo nuevo y la Red Móvil	50
5.2.1 Redes conmutadas	50
5.2.2 Conmutación de paquetes	51
5.2.3 Criterios de enrutamiento sobre prestaciones en la red.....	52
5.2.4 Topología basada en VLAN.....	52
5.2.5 Protocolo IEEE 802.1Q.....	54
5.2.6 Formato de una trama 802.1Q.....	55
Capítulo 6. Resultados de campo	57
6.1 Configuración de la radiobase.....	57
6.2 Pruebas de Transmisión y gestión remota de la radiobase.....	64
6.3 Pruebas funcionales de la radiobase en operación.....	67
Capítulo 7. Conclusiones.....	75
Anexo A. Características de las antenas sectoriales.....	77
A.1 Diagrama de radiación.....	77
A.2 Elementos radiantes en una antena sectorial.....	80
Anexo B. Cálculo de la inclinación de la antena o <i>downtilt</i>	83
Anexo C. Desplazadores de fase	87
C.1 Desplazadores de fase mecánicos	87
Anexo D. Tecnología LTE.....	89
D.1 Características eNodoB LTE.....	89
Anexo E. Gestores y plataformas de monitoreo en la red de telefonía móvil.	91
E.1 OSS (Operation & Support System)	91
E.2 M2000	91
E.3 MME (Mobility Management Entity)	92
Anexo F. Interfaz CPRI	93
F.1 Estructura de la trama IQ de la interfaz CPRI	95
Anexo G. Conexión por E1/T1	97
Anexo H. Multiplexación WDM (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>).....	99
Anexo I. Tecnicas de Conmutacion por paquetes.....	101
Mesografía y Bibliografía.....	103

Tabla de figuras

Figura 3.1 Resultados del Drive Test en una área en estudio.....	11
http://www.cisgrouppla.com/es/portfolio/drive-test-1/	
Figura 3.2 Expansión progresiva de una red de telefonía móvil	14
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz_Jim%C3%A9nez_Laura.pdf?sequence=1	
Figura 3.3 Enlace de sitios en topología en cascada.	14
http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4234/PROPUESTARQUITECTURA.pdf?sequence=1	
Figura 3.4 Enlace de sitios en topología en estrella	15
http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4234/PROPUESTARQUITECTURA.pdf?sequence=1	
Figura 3.5 Enlace de sitios en topología en árbol.....	16
http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4234/PROPUESTARQUITECTURA.pdf?sequence=1	
Figura 4.1 Cuadrícula celular distribuida en un espacio geográfico.	17
https://redeswwan.wordpress.com/	
Figura 4.2 Clasificación de las radiobases segun su alcance.	18
Figura 4.3 Elementos que intervienen el la operación de una radiobase.	20
http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTA.html	
Figura 4.4 Diagrama de bloques de un RRU.....	22
http://docplayer.com.br/docs-images/25/4721589/images/39-0.png	
Figura 4.5 Disposición física de los puertos de comuniación en una RRU.....	23
http://www.slideshare.net/MohamedAbdelgader/rbs-6000-maintenance-and-commissioning	
Figura 4.6 Diagrama de bloques funcional de una radiobase.	24
Figura 4.7 Tabla de capacidades estándar en una BBU	25
Figura 4.8 Diagrama de bloques dentro de la BBU.	26
http://docplayer.com.br/docs-images/25/4721589/images/38-0.png	
Figura 4.9 Transmisión por una fibra monomodo.....	28
http://serviojr.blogspot.es/1197760140/fibra-mono-modo/	
Figura 4.10 Composición física del cable de fibra óptica.....	28
http://html.rincondelvago.com/0004749711.png	
Figura 4.11 Conector de los extremos del cable de fibra óptica.....	29
http://mla-s2-p.mlstatic.com/157611-MLA20616403813_032016-Y.jpg	
Figura 4.12 Conversión de la señal en un transiver.	29
http://apacoe.weebly.com/uploads/1/3/0/4/13044553/6216560_orig.jpg	

Figura 4.13 Conexión transceiver - fibra óptica.....	30
http://betasystems.com.co/images/ethernet-transceiver-module.png	
Figura 4.14 Enlace de radiobases mediante microondas.....	31
http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11880/fichero/DOCUMENTO+8_CAPITULO+5.pdf	
Figura 4.15 Rangos de velocidad de transmisión en radioenlaces.	31
Figura 4.16 Elementos operativos que forman una red GPON.	33
http://g03.s.alicdn.com/kf/HTB14zlcFVXXXc_XpXXq6xXFXXi/200377666/HTB14zlcFVXXXc_XpXXq6xXFXXi.jpg	
Figura 4.17 Composición interna de una antena sectorial.....	35
http://aniak.uni.edu.pe/CH%2011%20Cellular%20Antennas%20UNI%202010-2.pdf	
Figura 4.18 Diagrama de dispersión de radiación en una antena sectorial.	35
http://www.escepticos.es/webanterior/articulos/antenas2.html	
Figura 4.19 Disposición física de antenas en una radiobase.	36
http://images.slideplayer.es/16/4902953/slides/slide_10.jpg	
Figura 4.20 Ángulos de direccionamiento en una antena.....	36
http://www.agileaccess.com/AISG_p1.jpg	
Figura 4.21 Ventajas en la implementación del Downtilt.	37
http://image.slidesharecdn.com/wnsip6burqsdxapv6vcz-signature-c50d4e93d87bcbfa1ede5ba2fa1940312cecb2c69c55074a07544104037629ee-poli-150525080426-lva1-app6892/95/antennas-smart-techniques-19-638.jpg?cb=1432541132	
Figura 4.22 Tilt Mecánico en una antena.	38
http://www.telecomhall.com/es/que-es-tilt-electrico-y-mecanico-de-la-antena-y-como-lo-usa.aspx	
Figura 4.23 Tilt Eléctrico en una antena.	38
http://www.telecomhall.com/es/que-es-tilt-electrico-y-mecanico-de-la-antena-y-como-lo-usa.aspx	
Figura 4.24 Ubicación del RET en una antena.....	39
http://www.den-gyo.com/english/press/2013/images/20130222_img01_.png	
Figura 4.25 Medición física del Tilt Mecánico.....	40
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://server2.docfoc.com/uploads/Z2015/11/28/9tyE0oAL0T/f1d0730c7082245e703b3b019cbdc6.pdf	
Figura 4.26 Dispersión de señal radiada de una antena sin ajuste de Tilt.	41
http://www.academia.edu/11481696/TILT_EL%C3%89CTRICO_Y_MEC%C3%81NICO	
Figura 4.27 Dispersión de señal radiada de una antena usando los 2 tipos de Tilt.	41
http://www.academia.edu/11481696/TILT_EL%C3%89CTRICO_Y_MEC%C3%81NICO	

Figura 4.28 Orientación azimuth de una antena.....	42
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://server2.docfoc.com/uploads/Z2015/11/28/9tyE0oAL0T/f1d0730c7082245e703b3b019cbdc6.pdf	
Figura 4.29 Implementación del Azimuth con el Método de ajuste frontal.....	43
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://server2.docfoc.com/uploads/Z2015/11/28/9tyE0oAL0T/f1d0730c7082245e703b3b019cbdc6.pdf	
Figura 4.30 Implementación del Azimuth por ajuste por punto de referencia.....	44
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://server2.docfoc.com/uploads/Z2015/11/28/9tyE0oAL0T/f1d0730c7082245e703b3b019cbdc6.pdf	
Figura 4.31 Conexión física entre Antena y el RRU.	45
http://market.huawei.com/hwgg/2005Tunis/articles/3b.gif	
Figura 4.32 Composición física del cable coaxial de un jumper.	46
http://docente.ucol.mx/al003306/Teleprocesos2/cable%20coaxial.htm	
Figura 4.33 Comparación de los efectos de una señal que viaja a través de un medio de transmisión: a) Onda transmitida; b) onda reflejada; c) onda estacionaria generada.	47
http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.mx/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html	
Figura 5.1 Comunicación entre la BBU y el RRU mediante el CPRI.	50
http://telecominfraonline.nl/wp-content/uploads/sites/48/2014/07/RFoFiber-JDSU-Rotterdam.pdf	
Figura 5.2 Transmisión por conmutación de paquetes entre nodos.....	51
http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/Dibujo294.gif	
Figura 5.3 Ejemplo de posible rutas en el enrutamiento entre nodos.....	52
http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/conmutacion3.gif	
Figura 5.4 Ejemplo de segmentación de una red con el uso de las VLAN.....	53
https://docs.oracle.com/cd/E37929_01/html/E36606/fpjve.html	
Figura 5.5 Ejemplo de tabla de Enrutamiento.	54
https://docs.oracle.com/cd/E37929_01/html/E36606/fpjve.html	
Figura 5.6 Formato de una trama 802.1Q.	55
https://riinet.upv.es/bitstream/handle/10251/16310/Art%C3%ADculo%20docente%20configuraci%C3%B3n%20b%C3%A1sica%20VLANs.pdf	
Figura 6.1 Reseteando las unidades c2 y d.	57
Figura 6.2 Cargando la IP de acceso en la BBU.	58
Figura 6.3 Transfiriendo una copia de los discos c2 y d a la BBU.....	59
Figura 6.4Tranferencia de discos c2 y d completada.	59
Figura 6.5 Configuración la IP de la laptop para conectarse a la BBU.....	60

Figura 6.6 Configuración de los parámetros del Gabinete.	61
Figura 6.7 Configuración de los parámetros del ruteo IP	62
Figura 6.8 Configuración de los parámetros del hardware externo.	63
Figura 6.9 Ejemplo de tabla de Ruteo de una radiobase.	64
Figura 6.10 Definición de VLAN para establecer la segmentación lógica de la red.	65
Figura 6.11 Realización de la prueba de transmisión.....	66
Figura 6.12 Rangos establecidos para la prueba de Throughput.....	67
Figura 6.13 Conexión a la red LTE con el uso de una BAM.....	68
Figura 6.14 Herramienta de medición del Throughput.	68
Figura 6.15 Resultado de la prueba de Throughput con la herramienta.	69
Figura 6.16 Prueba de ping desde Internet.	70
Figura 6.17 Prueba de Downlink	71
Figura 6.18 Prueba de Uplink.....	71
Figura 6.19 Pruebas funcionales de los 3 sectores de una radiobase.	72
Figura 6.20 Prueba de handover usando la terminal en modo de ingeniería....	74
Figura A - 1 Diagrama de radiación de una antena sectorial.....	77
http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas-y-cables_presentacion_v02.pdf	
Figura A - 2 Rango de dispersión de la señal en una antena sectorial.	78
http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas-y-cables_presentacion_v02.pdf	
Figura B - 1 Parámetros a considerar en el calculo del Downtlit.	84
Figura C - 1Desplazador de fase simple.	87
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1635/sese%C3%B1amartinez.pdf?sequence=1	
Figura C - 2Desplazador de fase giratorio.....	88
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1635/sese%C3%B1amartinez.pdf?sequence=1	
Figura F - 1 Modelo en capaz de la interfaz CPRI.....	90
http://www.netmanias.com/en/post/blog/6220/c-ran-cpri-fronthaul-lte-lte-a/cpri-1-emergence-of-c-ran-fronthaul-and-cpri-overview	
Figura F - 2 Trama IQ de la interfaz CPRI.....	92
http://processors.wiki.ti.com/index.php/CPRI_Protocol	
Figura H - 1 Esquema de funcionamiento de WDM.	99
http://documents.mx/documents/multiplexacion-por-division-de-longitud-de-onda.html	

Objetivo

Describir, de acuerdo a mis actividades profesionales, el proceso de implementación de una radiobase para la expansión de la red celular perteneciente a una compañía que ofrece servicios de telefonía móvil en la tecnología LTE, lo que conseguirá mejorar la cobertura nacional de servicios de comunicación e internet y brindará así una mejor conectividad entre los usuarios de la red.

Capítulo 1. Introducción

Hoy en día, la necesidad de mantenernos conectados con una gran cantidad de personas, casi en cualquier hora del día, y a su vez mantenernos informados de lo que acontece en el área, ciudad, país o inclusive a nivel mundial; demuestra que las Telecomunicaciones son esenciales para nuestra vida diaria.

Una utilidad de las telecomunicaciones con la que cuenta cualquier persona hoy en día, es el uso de los actuales teléfonos móviles que contienen diversas funciones, como es el poder enviar mensajes de texto o hacer llamadas desde lo más básico, hasta poder contar también con servicios de internet y localización geográfica usando el GPS integrado en los teléfonos móviles actuales, etc.

Para que todos los beneficios antes mencionados se consigan, también se debe contar con una red de telefonía móvil eficiente. Ante ello se requiere de un gran despliegue de infraestructura, la cual como todo sistema tecnológico, conlleva un proceso de desarrollo. Se inicia desde la parte de planificación de mejoras de la red existente, hasta la implementación de expansiones en esta misma, con el objetivo de soportar la nueva demanda del servicio, la cual en los últimos años ha ido incrementándose aceleradamente.

En base a eso, es necesaria la labor conjunta entre las distintas áreas operativas dentro de la misma compañía prestadora del servicio de telefonía móvil, junto con la de los proveedores de tecnología especializada en radiocomunicaciones. Estos últimos, suministran los equipos adecuados a las necesidades en el campo de comunicaciones de cada región en el mundo, proveedores como pueden ser Ericsson, Huawei, Nokia entre otros. Sin embargo, un sitio celular también conlleva la integración de distintos elementos, tales como la obra civil y eléctrica en la parte básica, hasta la parte aplicada en la instalación hardware y la carga del software que permita operar dichos equipos.

Por ello, todas las compañías proveedoras de los equipos requieren de personal certificado para la correcta instalación e integración de todos los elementos que conforman un sitio celular. Empezando con los instaladores que se encargan del montaje del sitio, así como un ingeniero de campo que finge como supervisor, el cual se encargue de verificar que se ejecuten y se cumplan con todas las especificaciones técnicas estipuladas por el cliente. Ante estos requerimientos, el ingeniero de campo debe de tener la capacidad de interpretar todos los posibles cambios a los requerimientos de cada escenario.

Cuando se ha concluido correctamente el montaje del sitio, el siguiente paso es realizar el enlace del nuevo sitio o nodo a la red de la compañía celular, por lo que se requiere la carga de licencias y software específico para este nodo, mismo que le permitirán la conexión de este con el MME que es el nodo principal de acceso a la red LTE. Este último, es la entidad que gestiona la transmisión de datos que sirven para que nazca el servicio de telefonía móvil en este nuevo sitio.

Por último, cuando se haya podido poner en servicio el nuevo sitio celular, se realizan las pruebas funcionales de este con el fin de verificar si se cumplen con los requerimientos técnicos en la zona donde trabajará, pues el objetivo principal de esta implementación es mejorar la cobertura de una determinada área geográfica.

Todo esto como parte de la optimización de la red ya existente de la compañía proveedora de servicios de telefonía móvil, que busca siempre estar a la vanguardia de las necesidades de sus clientes.

1.1 Antecedentes

Actualmente, la demanda del servicio celular cada día crece a pasos agigantados, pues desde la aparición y modernización de la computación; conforme transcurrían los años, en las vidas de cada persona el uso de una computadora se hacía necesaria debido a que permitía el acceso a herramientas tan poderosas como el internet y sus derivados. En estos últimos, se pueden mencionar por ejemplo, el servicio de correo electrónico, el almacenamiento masivo de información en medios virtuales o incluso los chats que te permitían comunicarte con distintas personas al mismo tiempo de una forma muy económica, entre muchas otras causas. Tales circunstancias, proyectaban que nuestras vidas cada vez eran más dependientes de medios digitales de información y comunicación, pues al disponer de un recurso cada vez más barato, eficiente y seguro para comunicarnos, las distancias y tiempos de espera se redujeron notablemente. Esto permitió a su vez que diversas actividades como laborales, familiares, escolares, entre otras, se volvieran más sencillas.

Tales ventajas delimitaban un mercado muy demandado en el campo de las comunicaciones, pues cada vez más personas deseaban contar con estos servicios digitales, que les permitieran estar comunicados con más personas.

No obstante, bajo este escenario, se suscitó una nueva necesidad, debido a que no todas las personas podían estar enfrente de una computadora con conexión a internet durante todo el transcurso del día. Pero a muchos de ellos sus actividades les exigía estar continuamente usando el internet para cumplir con ciertas funciones de su vida diaria, tales como compartir o disponer de documentación, consultas electrónicas de lugares o servicios, pago electrónico de

productos o simplemente para revisión de sus correos electrónicos. Todo ello sugería la necesidad de disponer de una terminal móvil que tuviera acceso a internet con una conexión inalámbrica, que les permitiera cumplir con estos requerimientos en cualquier hora del día sin importar la ubicación de la persona.

Con esto pasaba el turno a los dispositivos móviles con acceso internet, para que se contara inicialmente con servicios de comunicación digital en todo momento sin importar la ubicación del usuario, hasta hoy en día casi tener una mini computadora en tu bolsillo con acceso a internet inalámbricamente.

Por todos estos acontecimientos, gran parte de la sociedad, en particular de la proveniente de las ciudades o áreas metropolitanas, se fue adaptando al uso continuo y de servicios digitales de envío/recepción de información. Pero como toda tecnología emergente, se necesita de un proceso largo de implementación de infraestructura que permita explotar de toda el potencial del servicio, esto debido a que cualquier compañía de telefonía móvil tiene como objetivo llevar su cobertura a todo punto donde lo requieran sus usuarios y que esta soporte la demanda del servicio que ellos solicitan. Esto representa uno de los principales retos que enfrentan dichas compañías, debido a que cada día crece el número de usuarios, situación que podría ocasionar que se sature el servicio y ocurran intermitencias en este, porque la demanda supera a la capacidad de la red.

Para poder conseguir mantener un servicio eficiente de telefonía móvil, se requiere de un gran proceso, desde la parte de planificación de mejoras de la red existente, hasta la implementación de nuevos puntos de acceso con el objetivo de soportar la cada vez creciente demanda del servicio. Y para conseguir enfrentar estos nuevos retos, las compañías proveedoras del servicio de Telefonía Móvil invierten en modernizar e incrementar su red celular, para con ello ofrecer actualizaciones que reflejen mejoras a su servicio. Esto les permitirá captar cada vez más clientes deseosos de un servicio eficiente y de calidad acorde lo que están contratando con dicha compañía.

Capítulo 2. Justificación

El actual informe tratará del proceso que conlleva implementar un nuevo sitio celular o radiobase, así como generalidades principales sobre este.

Inicialmente, la creación de un nuevo sitio depende de un estudio que refleje las intermitencias del servicio de telefonía móvil en alguna determinada área geográfica, para después generar una propuesta de implementación de una nueva radiobase que consiga mejorar la calidad del servicio en dicha área. Estos procedimientos son necesarios debido a que los sistemas celulares rápidamente se han visto sobrepasados por el aumento del tamaño del mercado, puesto a que estos sistemas se construyen sobre un número limitado de usuarios. Las redes móviles en general, tienen una capacidad finita para atender la demanda de varios usuarios simultáneamente. Cuantas más personas utilizan los teléfonos móviles, la demanda del servicio aumenta, por lo que se necesita más capacidad para atender a los nuevos usuarios y hace necesario aumentar el tamaño de la red. Esto muestra que las redes móviles deben ser diseñadas de acuerdo con la población local y la cantidad de personas que usan la red.

Por ello, las distintas áreas geográficas posibles a cubrir en una ciudad o población se segmentan para ser cubiertas por una determinada cantidad de radiobases que suministren el servicio a la cantidad de usuarios que va a atender. Sin embargo, ante la limitante que representa que cada sitio celular puede dar servicio solamente una cantidad limitada de teléfonos móviles a la vez, a medida que aumenta el número de usuarios en una comunidad, se necesitan más radiobases cercanas entre sí. Por esta razón, se necesitan más sitios en lugares muy concurridos como centros comerciales, estadios o recintos donde confluyen muchos usuarios de teléfonos móviles.

Las áreas de optimización y de diseño de RF en las compañías del servicio celular, siempre tienen en cuenta que un buen control de la cobertura mediante la ubicación estratégica de radio bases, es extremadamente importante en su red de telefonía móvil.

Un nuevo sitio al que se le definen cuidadosamente los parámetros funcionales específicos para operar en una determinada área geográfica, es la mejor solución que se puede tomar para solucionar problemas de cobertura o capacidad.

Como se describirá a lo largo de este reporte, esta solución conlleva el despliegue de todo un conjunto de áreas y etapas, empezando desde la misma compañía que brinda el servicio hasta los proveedores de la tecnología que conforma un sitio

celular. Esto debido a que como en cualquier problema en ingeniería, se necesitan fases de estudio del problema a resolver, diseño y planeación de una propuesta de solución tecnológica. Una vez desarrollada la propuesta, se procede con la implementación de esta misma, para después concluir con pruebas funcionales que revelen si la solución desarrollada fue suficiente para resolver el problema. En este caso el cual se analiza en el presente reporte, las primeras etapas delimitan los alcances y características técnicas de la propuesta, para que en las últimas fases se desarrolle la implementación acorde a lo establecido en las primeras etapas.

Además, otra participación muy importante por parte de la compañía prestadora del servicio de telefonía móvil, es suministrar los medios que requieren las empresas proveedoras de tecnología para hacer operar sus equipos. Esto se debe a que como todo este sistema se trata sobre una red y la expansión de la misma, la adición de un nuevo sitio a la red de telefonía móvil depende absolutamente de los recursos que suministra el cliente, desde el medio físico de comunicación del nuevo sitio a la red, hasta las adecuaciones en obra civil y eléctrica para que este opere. Una vez abastecidos estos, se pasa la estafeta a las compañías proveedoras de los equipos para que instalen su hardware y los configuren localmente a modo de que estos puedan prepararse para que puedan ser enlazados con la red y así pueda ser puesto en servicio el nuevo sitio, con el objetivo de comprobar si la solución propuesta cumple con las expectativas por las cuales fue creada.

Y en la etapa final, como en cualquier sistema informático, todo cambio o actualización, después de desplegada debe ser evaluada, para verificar a través de pruebas funcionales en campo, si el nuevo sitio cumple con estos requisitos básicos como por ejemplo: establecimiento de llamadas exitoso, niveles de carga y descarga de datos sobre un valor predeterminado, etc.

Por último, todo este proceso de optimización en la red de telefonía móvil y que es donde desempeñe mi experiencia profesional, tiene como finalidad alcanzar los niveles de cobertura adecuados, mediante el monitoreo de los siguientes aspectos:

- Continuidad de servicio.
- Accesibilidad.
- Calidad de servicio.

Siendo exitoso estos parámetros, se concluirá que se ha cumplido el objetivo de la implementación de una nueva radiobase y que es lo que se revisara en este informe de actividades profesionales.

Capítulo 3. Proceso de implementación de un nuevo nodo

Como se mencionó anteriormente, se requiere de la colaboración de varias áreas operativas para la implementación de una radiobase, empezando en primer instancia en la compañía del servicio móvil, la que detecta fallas en la cobertura de su red y elabora un diagnóstico, este se analiza por otras áreas internas, para desarrollar la posible solución al problema. Por ello se hacen pruebas de campo en el área donde se detectó la falla, debido a que como en cualquier problema en el campo de la ingeniería, se necesita revisar físicamente la magnitud de una falla. Cuando se cuenta con datos de esta, las áreas encargadas de monitorear y solucionar los problemas de la red, pueden desarrollar una propuesta como solución ante la falla, delimitando en esta parte las características técnicas que deberá contar dicha solución para que cumpla los objetivos para los cuales fue desarrollada. Estas etapas de detección de fallas y desarrollo de la propuesta tecnológica en la red de telefonía móvil por parte de los departamentos de soporte y monitoreo de la red de la compañía proveedora del servicio se describirá en este capítulo.

3.1 Drive Test

Hoy en día, ante un mercado en el campo de las comunicaciones inalámbricas en constante cambio, ya sea por factores de crecimiento poblacionales así como su concentración de estas en puntos específicos. Un diseño e implementación de una red de telefonía móvil, siempre se ve superado con el paso del tiempo debido a que la demanda cada vez crece, por lo que el principal reto de una compañía operadora se centra en identificar todas aquellas zonas donde hace falta mejorar la capacidad de la red para poder responder a una demanda en aumento. Para ello se valen de todo un procedimiento que detecta estas fallas y que propone el despliegue de nuevas radiobases para soportar la demanda del servicio. Este procedimiento se inicia con la etapa llamada *Drive Test*.

El *Drive Test* es una prueba de las compañías operadoras que se realiza para determinar fallas de cobertura y desempeño operativo de sus redes celulares en las tecnologías GSM, UMTS y LTE en zonas tanto urbanas, rurales e incluso perimetrales entre recintos de alta afluencia de personas. El drive test se programa cuando en una determinada zona se han generado tickets (quejas) debido a fallas de cobertura o llamadas perdidas entre otros. El principal objetivo de la prueba es para recopilar datos, pero también se pueden ver y analizar estos en tiempo real durante la prueba. Esto permite conocer el rendimiento real de la

red en el campo ante las circunstancias en las que trabaja, y también se pueden identificar anticipadamente fallas potenciales.[1]

Como lo mencionado anteriormente, ante los cambios físicos ocurridos en un área geográfica en estudio que ocasionan problemas en la cobertura, se procede a la realización de pruebas en dicha área para verificar el grado de la ineficiencia en el servicio. Una vez conociendo la magnitud de esta, posteriormente se genera la propuesta que resuelva esa falla en la red.

Para esto se recurre a la verificación de los KPI (*Key Performance Indicator*). A través del análisis de KPI's se pueden identificar problemas tales como la interrupción de llamadas, baja velocidad de transferencia y recepción de datos, la interferencia con otros sitios cercanos, entre otras. La identificación del rango de área de cobertura de cada radiobase en base a los cambios que han habido en el terreno que cubre, son también parte de la evaluación de los cambios en la red.[2]

Estas pruebas se hacen con equipo especial que consta de una laptop conectada a 3 periféricos: 1 GPS que marcara la ubicación actual y 2 equipos móviles (MS), uno en modo ingeniería midiendo canales y eventos y el otro en modo normal, realizando las pruebas del servicio. La terminal de prueba, como cualquier teléfono celular, no proporciona información estadística. Por ello, el ingeniero de campo que se encarga de realizar las pruebas, hace un estudio de las estadísticas de rendimiento encontrado para identificar las áreas problemáticas. Para el área de optimización es una prueba muy necesaria, ya que el equipo en modo ingeniería o *Field Test* capta además la potencia de las radiobases vecinas, donde se puede verificar otro parámetro importante que es el handover, el cual representa la transferencia entre radiobases cercanas, del enlace de comunicación entre la terminal del usuario con la red de telefonía móvil mientras este se mueve. En esta parte se pueden encontrar fallas tales como entregar la comunicación a la radiobase errónea, pudiendo entregarla a una de mejor señal, lo que puede generar caídas estrepitosas en la calidad de la señal, lo que a su vez ocasiona llamadas caídas o baja velocidad en transferencia de datos. [3]

Durante la prueba, el sistema en general irá captando la potencia de la señal y la graficará versus el tiempo y/o el espacio (coordenadas GPS), con esto se puede ilustrar los resultados en un mapa coloreando el camino según la calidad de señal. En la figura 3.1, se puede ver gráficamente el resultado del barrido de pruebas en campo de una área geográfica en estudio, donde se nota que en las áreas marcadas en rojo son donde se encontraron las peores fallas de cobertura.



Figura 3.1 Resultados del Drive Test en una área en estudio.

3.2 Optimización de la red

Todo sistema de comunicación requiere de una permanente planificación y optimización para alcanzar un desempeño adecuado a medida que los patrones de tráfico van cambiando. En el contexto de RF, las redes móviles es uno de los campos con mayor requerimiento en este tipo de aspectos, debido a que las señales electromagnéticas pueden ser afectadas en diferente escala dependiendo del entorno donde sean transmitidas. La planificación y optimización de RF se encarga de establecer y modificar tanto los parámetros físicos y/o lógicos en los sitios celulares, para que puedan mejorar el rendimiento de la red y se mejore con ello la experiencia del usuario cuando hacen uso de los servicios ofrecidos por la compañía prestadora del servicio celular.

El proceso de optimización generalmente viene delimitados por los resultados obtenidos del *Drive Test*, donde se miden los niveles de intensidad y calidad de la señal, los servicios de voz y datos. En base a los resultados arrojados en dichas pruebas en campo, en el área de optimización se evalúan cambios físicos y/o lógicos en la red que puedan aportar mejoras al desempeño de esta en el área en cuestión.[4]

Al ser detectada una zona donde la calidad de señal es deficiente, el área de Optimización se encarga del desarrollo de la propuesta que resuelva el déficit de cobertura en esa área determinada. En esta parte es donde se evalúa la posibilidad de cubrir dicha área con el despliegue de una nueva radiobase.

Cuando se determina que se debe instalar un nuevo sitio, el cual debe cumplir con requisitos básicos de funcionamiento, se hace un análisis de RF donde se establecen los parámetros funcionales que debe cumplir. En estos se encuentra detectar la ubicación más adecuada de las antenas con las que cuenta el nuevo sitio, para que la señal radiada por estas cubra en su totalidad todo la zona en la que se detecto los problemas de cobertura. También se definen parámetros más específicos como son los ajustes del ángulo de inclinación de la señal radiada por la antena, también conocida como *tilt* (eléctrico y mecánico) o la orientación de la antena (también denominado *azimuth*), que es la dirección a la cual está orientada la antena. Todo esto tiene el propósito de calcular la dirección mas optima al que se debe dirigir el foco de radiación de la señal de cada antena en base a las condiciones físicas del área donde se está montando el nuevo sitio. Además en el análisis de RF se debe tratar de eliminar la posibilidad de la interferencia de algún objeto de gran altura que estorbe en la propagación de la señal radiada.[5]

Una vez definidos los parámetros físicos que se deben incluir en el montaje del sitio nuevo, llega la etapa del establecimiento de su ruta de comunicación a la red, debido a que al tratarse de un nuevo nodo, al integrarlo a la red se debe analizar la opción más optima de transmisión para que el tiempo de transferencia de datos sea el menor posible y el servicio sea el más óptimo.

En una red móvil , como se analizará más adelante, la cantidad de nodos se fue expandiendo acorde a la necesidad de aumentar la cobertura, por lo que se va haciendo cada vez más robusta. Con cada nuevo nodo que se pretenda agregar, este se enlaza a otro nodo más cercano ya existente, por motivo de ser la ruta más rápida que establece el canal de transmisión con la red de telefonía móvil, la cual es la que provee el servicio.

Sin embargo, cada vez que los datos transitan por un nodo, es importante considerar que este, ya funge como enlace de otros sitios ya existentes. En base a esto, en cada nuevo nodo se debe tomar la decisión de cuál debe ser el siguiente nodo o en términos de redes, el siguiente salto IP al que debe enviar para garantizar que llegue a su destino rápidamente. Este proceso se denomina enrutamiento a través de la red. La selección de la ruta en cada nodo depende, entre otros factores, de la congestión de la red, es decir, del tráfico de datos que en cada momento están en proceso de ser transmitidos a través de los diferentes puntos de acceso y enlaces de la red.

Esto también es analizado por la parte de Optimización para evaluar cual ruta es la más optima para la integración del nuevo nodo a la red.

Por último y también muy importante, esta etapa también se encarga de analizar la ubicación geográfica más adecuada para la óptima operación del sitio nuevo. La estructura de las redes móviles se diseña teniendo presente la necesidad de superar los obstáculos y manejar las características propias de la radio propagación. Disponer de un radio enlace directo desde la radiobase a las terminales móviles de los usuarios es vital, por lo que se deben estudiar las características de la propagación de la señal de radio en las condiciones físicas del área geográfica donde trabajan, esto principalmente en zonas urbanas donde la densidad de usuarios es alta. En estas zonas, las edificaciones tienen gran impacto en la propagación, por ello son factores que establecen limitaciones fundamentales en el diseño y ejecución de los sistemas inalámbricos orientados a las necesidades de los usuarios.

3.3 Integración de un nuevo nodo a la red

Cuando las compañías operadoras de la servicio móvil desplegaron su red de acceso, dividieron el área geográfica que se desea cubrir siguiendo un patrón celular inicial. Por ello se distribuyeron sitios celulares en dicha área para cubrir el tráfico de los usuarios de la zona a la que dan cobertura. Sin embargo, con la modernización de las nuevas tecnologías de redes celulares como lo fueron el 3G en su momento y ahora el 4G, además de que la población en casi cualquier parte del mundo va en aumento, habrá cada día más usuarios de red de telefonía móvil. Por ello, esta se irá transformando para ser capaz de soportarlos, garantizado que los usuarios reciban un servicio de calidad acorde a sus necesidades y tratando además de que sea mejor que el servicio que ofrece sus competidores. Todo ello refleja que el proceso de despliegue de la red es progresivo. Lógicamente cuando se hacen expansiones de la red con nuevos sitios, no es viable hacer enlaces directos o de punto a punto desde cada sitio nuevo hasta el nodo concentrador o también hacia la central de monitoreo de la compañía proveedora del servicio. Esto no es una opción práctica, debido a los altos costes que implicaría, dado el gran número de las sitios que conforman la red, así como de la lejanía geográficas entre cada elemento y los posibles obstáculos entre ellos.

De esta manera se opta por implementar la red con topologías de comunicación entre los nodos que conforman esta, que combinan los enlaces tipo árbol, estrella, en cascada o incluso tipo anillo. En la figura 3.2, se puede visualizar un ejemplo de cómo se expande gradualmente una red de telefonía móvil y como se va enlazando los nuevos puntos de acceso a ésta.

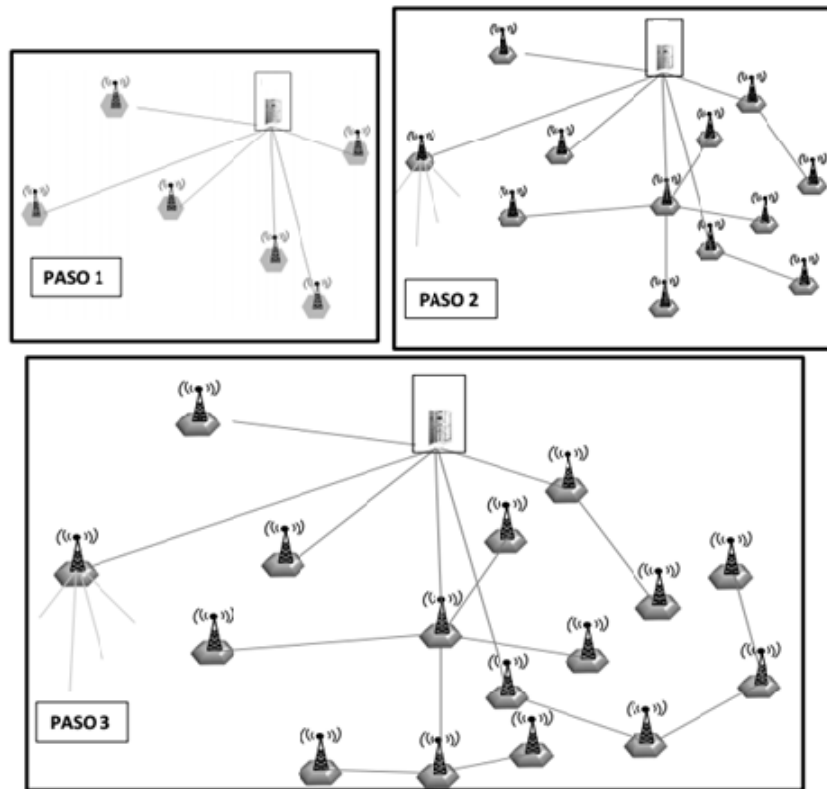


Figura 3.2 Expansión progresiva de una red de telefonía móvil.

A continuación, se revisaran las características de cada topología con la que una operadora se basa para realizar la expansión de su red acorde a las necesidades y condiciones físicas del área de cobertura y los requerimientos que ello conlleva.

3.3.1 Topología en cascada

Esta topología consiste en ir encadenando sitios, uno tras otro, y también se encadena el tráfico de cada uno.

Esta topología es aplicable a las aéreas escasamente pobladas, tales como carreteras y vías de tren, o de llegar a pequeñas poblaciones alejadas de otras. En la figura 3.3 se muestra como se aplica este tipo de enlace.



Figura 3.3 Enlace de sitios en topología en cascada.

Ventajas: Puede reducir el costo en dispositivos de transmisión, ingeniería, construcción y acoplamiento de la transmisión.

Desventajas: Las señales viajan por muchos nodos, llevando una confiabilidad baja de la transmisión.

Las averías en el sitio superior pueden afectar a la operación del sitio a nivel inferior.

El numero de niveles en esta topología no puede exceder de cinco.[6]

3.3.2 Topología estrella

Esta topología consiste en unir los sitios a la estación central o nodo concentrador, mediante enlaces punto a punto. Por lo tanto, esta topología ofrece mantenimiento, ingeniería y capacidad mayores. En la figura 3.4 se muestra como se aplica este tipo de enlace.

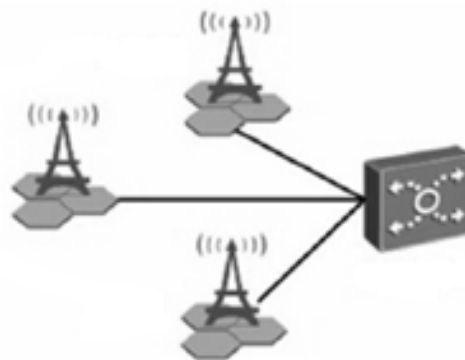


Figura 3.4 Enlace de sitios en topología en estrella

Ventajas: La transmisión de datos es directa y se ejecuta entre el nodo del sitio y el nodo concentrador. Al reducir el número de nodos por los que viajan las señales, se eleva la confiabilidad de la transmisión.

Desventajas: Esta topología requiere más recursos de la transmisión y de infraestructura, por lo que requiere de una mayor inversión para desplegar una línea de transmisión por cada sitio.

Los costos de operación y mantenimiento también serian mucho mas equipos que en el caso de que los recursos estén compartidos por varios sitios.[7]

3.3.3 Topología en árbol

Esta topología es útil en prácticamente todos los escenarios, dada su forma de expandirse como si se tratase de las ramas de un árbol. En esta la red va recogiendo tráfico y concentrándolo progresivamente hasta llegar al centro de conmutación. Este método permite disponer de grandes puntos concentradores a los que se les asigna mayores recursos y se monitoriza con mayor atención, disminuyendo esta necesidad en puntos pequeños y medianos.

La transmisión de datos es directa y se ejecuta entre el nodo del sitio y el nodo concentrador. En la figura 3.5 se muestra como se aplica este tipo de enlace.

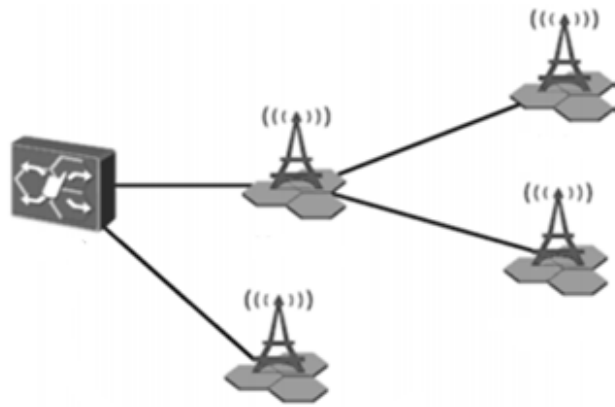


Figura 3.5 Enlace de sitios en topología en árbol.

La desventaja de esta topología es que un fallo en un nodo concentrador o en el enlace de salida puede provocar la caída de los numerosos elementos que pasan por él y por lo tanto dejan sin cobertura grandes áreas.

La topología de árbol es aplicable a las áreas en las cuales la arquitectura de red, la distribución geográfica de los usuarios son complicadas.

Teniendo diversa formas de enlazar un sitio nuevo, cuando se estudia la topología con la que se pretende integrar un nuevo sitio, uno de los aspectos que deben considerarse es el estado actual de ubicación de los sitios que actúan en una zona geográfica determinada. En todo despliegue de telefonía móvil se hacen estudios completos de cobertura. Se intenta cubrir una zona específica, pero evitando las interferencias excesivas entre otros sitios cercanos.[8]

Capítulo 4. La Radiobase

Un sitio celular o radiobase es una instalación fija para la comunicación de señales de radio de forma bidireccional. Esto quiere decir que se usan para dar servicio de envi6/recepci6n de informaci6n inal6mbicamente en terminales m6viles o port6tiles, las cuales es evidente que emiten una se6al de radio de baja potencia, como por ejemplo la de un tel6fono m6vil, una tableta electr6nica o una computadora port6til con una BAM, entre otras. La radiobase en este contexto sirve como punto de acceso inal6mbico a las redes de comunicaci6n (como Internet o la red de telefon6a fija) o para que dos terminales se comuniquen entre s6 yendo a trav6s de la radiobase y la red que estas conforman. Su principal funci6n es la de proporcionar cobertura de radiocomunicaciones en cualquier punto donde alg6n usuario lo requiera.

Para conseguir lo anterior y as6 proporcionar un servicio de telefon6a m6vil de buena calidad, las radiobases deben estar situadas donde la gente usa sus tel6fonos m6viles. En base a esto, una distribuci6n territorial eficiente de radiobases en la red m6vil se basa en una "cuadr6cula celular" que cubre un 6rea geogr6fica. En la figura 4.1, se muestra un bosquejo de la cuadr6cula deseada.

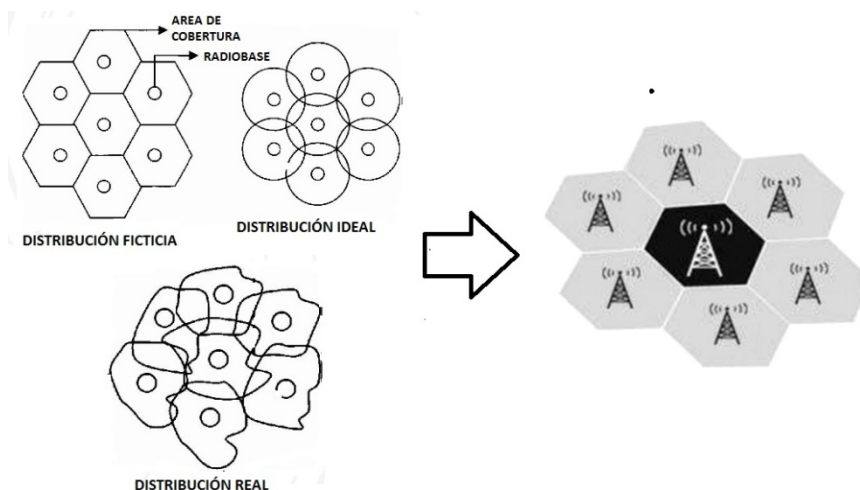


Figura 4.1 Cuadr6cula celular distribuida en un espacio geogr6fico.

La cantidad de radiobases requeridas para un 6rea dada depender6 del terreno y la cantidad de personas que utilicen tel6fonos m6viles. En 6reas metropolitanas donde es muy com6n encontrar muchos edificios, 6rboles u otras obstrucciones en la propagaci6n de la se6al de radio, es probable que se necesiten mas radiobases para atender a los usuarios de la red, en contraste con 6reas rurales donde se encuentran menos obstrucciones y por ende se requieran menos radiobases.

4.1 Clasificación de radiobases

Según la capacidad en la cobertura requeridas en el área de operación de las radiobases, la cual como se ha mencionado anteriormente depende de las condiciones físicas en dicha área, las radiobases se implementan con diferentes alturas y potencias de transmisión en sus antenas. De allí surgen la clasificación de estas según su alcance, en esta se encuentran principalmente las siguientes categorías:

- Macroceldas: Radiobases que usan torres, mástiles y postes para ubicar en una posición elevada las antenas. Estas proporcionan cobertura de área amplia para ciudades
- Microceldas: Radiobases que usan antenas a bajas alturas, a veces a ras de piso, utilizados para zonas de alta densidad de tráfico como centros comerciales o grandes edificios.
- Picoceldas – antenas muy pequeñas que proporcionan puntos de cobertura dedicados a ubicaciones indoor (dentro de edificaciones o inmuebles).

En la figura 4.2, se muestra como se aplica cada tipo de radiobase.

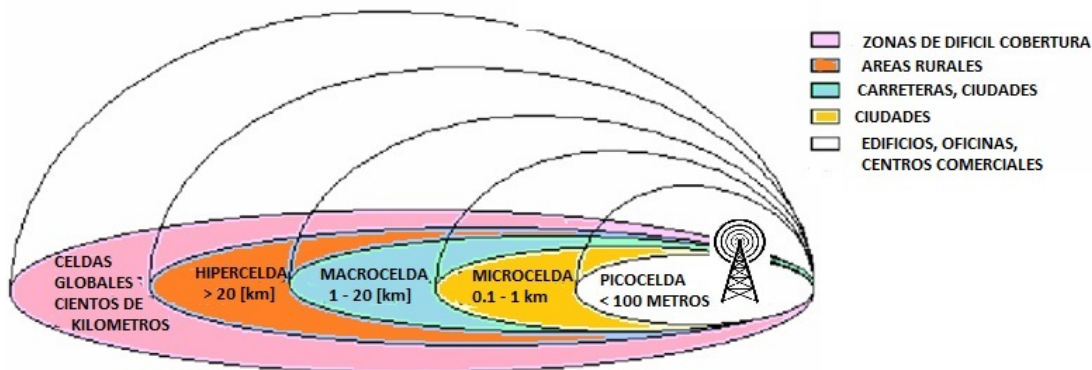


Figura 4.2 Clasificación de las radiobases según su alcance.

4.2 Implementación de una radiobase

Teniendo definidos los parámetros funcionales para adecuar el sitio nuevo, proporcionados por parte del área de optimización, se procede a la etapa del montaje del mismo. Primordialmente, se partió del despliegue previo en infraestructura que con la que ya cuentan las compañías operadoras el servicio, pues estas proveen las adecuaciones necesarias para montar los equipos. En estas se incluyen por ejemplo, la obra civil asociada para montar los gabinetes a ras de piso, así como el montaje de charolas o escalerillas donde se montarán los cables de señal y energía eléctrica que se conectan desde la parte baja donde

están los gabinetes hasta la parte elevada donde se ubica el sistema radiante. En esta última parte, se contará con una torre o estructura metálica con sus debidos soportes mecánicos donde se instalara el sistema radiante. Esto debido a que las antenas a instalar deben de ir en una ubicación elevada para fines de mejor propagación y mayor alcance de la señal que irradia el sitios. Por ello se colocan en ubicaciones de altura suficiente con el fin de que no haya obstrucciones, tales como los techos de edificios o torres de telecomunicaciones.

Con respecto a los cables que portan las señales en la radiobase, tales como la fibra óptica y los *jumper* que se describirán más adelante, así como los cables de fuerza para alimentar el sistema radiante , van instalados en las estructuras metálicas que a través de sujetadores o hangers que lo fijan y sostienen. Su correcta instalación y protección ante algún daño externo son clave debido a que son parte de los medios básicos con los que funciona la radiobase,

Ahora en la parte del sistema de alimentación de energía, también se parte de una adecuación en los tableros de distribución eléctrica que energizan el sitio, para obtener la alimentación de los nuevos equipos. Contando con esta, se lleva con su respectivo cableado a los gabinetes, pues en estos se ubican la etapa de conversión de energía, que consta de una planta de fuerza integrada en el gabinete. Esta utiliza energía AC comercial y realiza la conversión de energía DC rectificada (por lo general 48-54 VDC). Dentro de este sistema, al considerarse que el servicio que debe ser ininterrumpido, se instalaba un sistema de respaldo de bancos de baterías, los cuales pasan a ser el proveedor de energía de la radiobase ante una falla de energía. También desde esta misma planta de fuerza interna se obtenían todas las alimentaciones de los módulos electrónicos asociados a la operación de la radiobase.

Por esta segmentación se consigue practicidad en el soporte técnico o de mantenimiento en el momento de dar solución a cualquier falla eventual. Una vez montados y conectados todos los equipos nuevos, se revisaba completamente la instalación a modo de que cumpla con los estándares de calidad que exige la compañía del servicio móvil, pues estos expiden toda un conjunto de normas de instalación que sirven para establecer uniformidad en todos sus radiobases. Con ello se evitan disparidad en los montajes que ocasionen después que se presenten fallas de funcionamiento no proyectadas, debido a que ellos cuentan con todo un patrón de diseño para cualquiera de sus radiobases y alguna desviación a la norma estaría fuera de sus escenarios meticulosamente planificados y controlados. Una vez que se cumplieron cabalmente las normas de instalación que expide la compañía proveedora del servicio móvil, se precedió a la puesta en operación del nuevo sitio, para ello se cargo todo el software pertinente que hace capaz la operación de los equipos.

4.3 Elementos de una radiobase

El radiobase se forma a partir del sistema de RF y del sistema radiante. En el primero se ejecutan las funciones de control y procesamiento digital de la señal de radio para su transmisión por la red, así como a la inversa cuando se reciba los datos de la red para que sean nuevamente transformados y transmitidos por la misma radiobase mediante el sistema radiante. El sistema radiante es la etapa de acondicionamiento de la señal de radio que proviene de los móviles para que a su vez sea procesada por la unidad de procesamiento para su transmisión hacia la red de servicio móvil.

En base lo anterior, los elementos principales con los que opera una radiobase son:

- RRU
- BBU
- Antenas Sectoriales
- Equipo de transmisión con la Red Móvil
- Torre
- Planta de fuerza
- Respaldo de energía

En la figura 4.3, se muestra la ubicación de cada elemento en la radiobase.

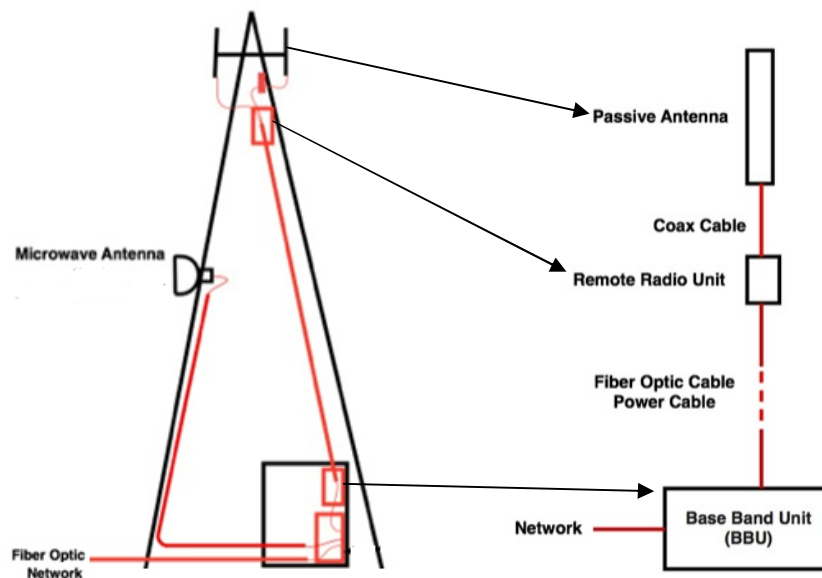


Figura 4.3 Elementos que intervienen en la operación de una radiobase.

A continuación se explica detalladamente las características y modo de funcionamiento de cada elemento que conforma la radiobase.

4.4 EI RRU

RRU que pertenece al sistema radiante, es una unidad de Radio Remota (*Remote Radio Unit*). Es un modulo que acondiciona las señales que recibe y/o emite la radiobase, a modo de que estas estén preparadas en los formatos con los que trabajan cada etapa interna de la radiobase. El RRU realiza principalmente los siguientes procedimientos:

- Conversión de proceso de *Uplink/Downlink*.
- Amplificación de la señal de RF entre la radiobase y una terminal celular.
- Control de potencia de la señal radiada, para modificar el área de cobertura de una antena.
- Control de la inclinación del patrón de radiación de la señal de radio emitida por la antena

La RRU principalmente se encarga de acondicionar la señal para que la antena pasiva pueda realizar su función. Durante la fase de *Downlink*, se realizan las funciones de procesamiento de la señal digital recibida de la BBU, para conseguir la conversión de la señal digital al dominio analógico, para después montar estas señales de RF a la banda de frecuencia de transmisión que opera la red.

Por el otro lado, en fase de Uplink, la RRU recibe las señales de RF de la antena, para después mediante una etapa conversión de señal llamado *down-converting*, estas señales que están montadas a la frecuencia que opera la red móvil, se transformen a señales de Frecuencia Intermedia (*Intermediate Frequency - IF*) con las que puede trabajar internamente el hardware de la radiobase. Después vienen etapas de procesamiento de esta señal, empezando con una etapa de conversión del dominio analógico al digital, para posteriormente realizar un filtrado adaptado y un control automático de ganancia digital (*Digital Automatic Gain Control - DAGC*). Ocurrido esto y ya en el dominio digital, los transmite a la BBU.

Otra de las funciones que realiza el RRU, es multiplexar las señales del receptor (*Receiver - RX*) y del transmisor (*Transmitter - TX*). Esto permite que las señales RX y TX compartan el mismo camino a la antena pasiva.

También en el RRU se encuentra una etapa de amplificación a la salida, debido a que la señal de radio debe tener la suficiente potencia para que la antena alcance sus rangos de radiación. En la Figura 4.4 se ilustra un diagrama de bloques de los elementos internos que constituyen un RRU.

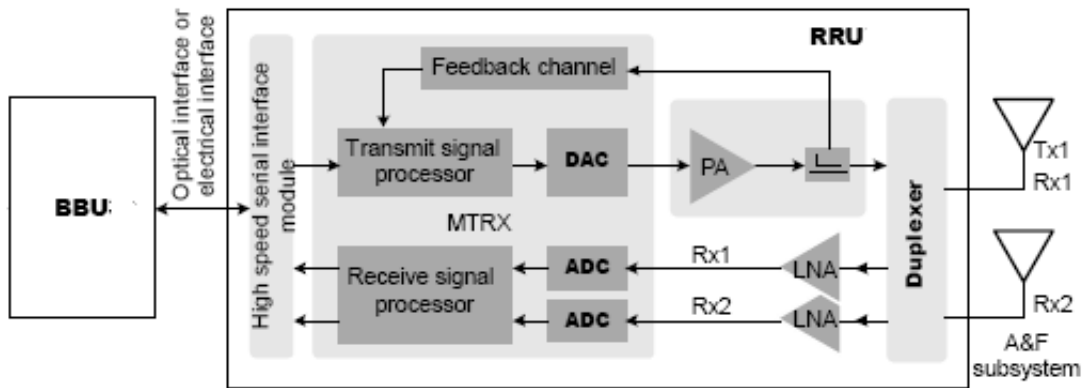


Figura 4.4 Diagrama de bloques de un RRU.

Como se observa en la Figura 4.4, revisando más a detalle los elementos que conforman el RRU, al inicio de la recepción de la señal proveniente de los móviles de los usuarios, se comienza con una etapa analógica en RF que esta compuesta por un LNA (*Low Noise Amplifier*) o Amplificador de Bajo Ruido, etapa necesaria puesto que la señal de radio que provienen de los móviles es de baja potencia. Por ello, los LNA amplifican esta señal a los niveles necesarios para su procesamiento por la etapa digital, introduciendo el menor ruido posible.

En el proceso inverso, cuando los datos salen de la radiobase hacia los móviles, internamente en el RRU después de la conversión del dominio digital al analógico de la información, se utiliza una etapa RF con amplificadores PA (Amplificador de Potencia), puesto que el objetivo es amplificar la potencia de la señal de salida lo máximo posible. El poder del PA puede ser de 20 [W] o 40 [W], dependiendo el modelo de la RRU.

Otra parte importante en la etapa previa a la antena lo constituye un duplexor encargado de separar las señales de transmisión y recepción. Este filtro en la interfaz de RF está entre la RRU y la antena. Esto filtra las señales RX y TX para evitar la interferencia.

Los datos se transmiten desde la BBU hasta la RRU los cuales se ubican cerca de las antenas. Las características específicas de una RRU pueden diferir en base al número de portadoras y bandas de frecuencia que soporta.

En la figura 4.5 se muestra la interfaz de puertos para conexiones en un RRU, esto para conectar los otros módulos con los que trabaja.

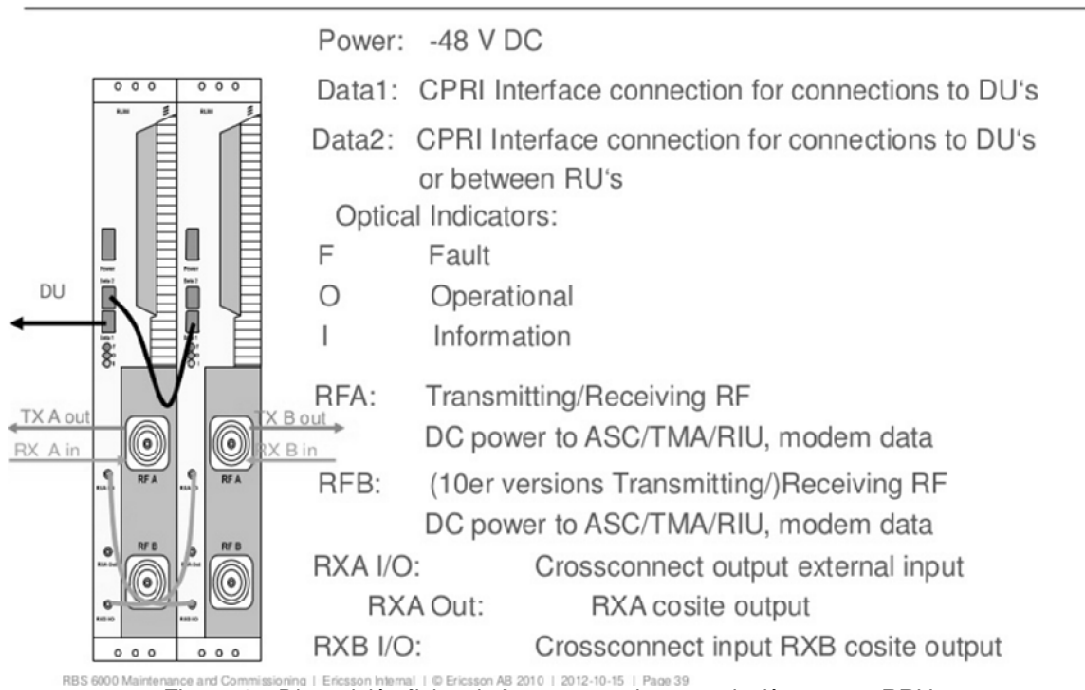


Figura 4.5 Disposición física de los puertos de comunicación en una RRU.

Los puertos en la interfaz del RRU son:

- 1 puerto de alimentación eléctrica (-48V).
- 2 puertos para conectar dos BBU con su respectiva fibra óptica.
- 2 puertos para conectar cables de control del RET en una antena.
- 2 puertos para conectar los *jumper* que van a la antena. Estos pueden ser de RX y TX.

4.5 La BBU

Una Unidad de Banda Base o BBU (*Baseband Unit*) es una unidad que procesa la señal en banda de base, es decir, antes de la modulación en la banda original (voz, datos, video) en los sistemas de telecomunicaciones. Una radiobase de telecomunicaciones típica, esencialmente consiste en la unidad de procesamiento de banda base (BBU) y la unidad de procesamiento de RF (unidad de radio remota - RRU). La BBU se coloca en la sala o gabinete donde se ubican los equipos y se conecta la RRU a través de un cable de fibra óptica.

La BBU es la responsable del envío y/o recepción de la información en la radiobase, se podría interpretar como el cerebro de esta. Una BBU tiene las siguientes características: diseño modular, pequeño tamaño, bajo consumo de energía y se puede implementar fácilmente.

En la BBU, se realiza todo el procesado en banda base (asignación, codificación y decodificación).

En recepción, la señal de radio proveniente de los móviles de los usuarios, es recibida por la antena pasiva en la frecuencia de la red, se transmite a la RRU donde es acondicionada, tanto en amplitud como en frecuencia y convertida a dominio digital. La señal digital en banda base es transmitida a la BBU donde es gestionada para ser transmitida hacia la red de telefonía móvil. En el proceso inverso, el RRU recibe la información de la BBU entramada mediante protocolos como pueden ser el CPRI, este se encarga de desentramarla, realizar el procesado digital y convertirla a señal analógica. Una vez en dominio analógico, se le aplica un procesado de adaptación en una etapa RF, donde la señal se verá amplificada en potencia y desplazada a la frecuencia que opera la red. De este modo, la señal estará lista para ser transmitida por la antena pasiva. En la figura 4.6, se muestra un diagrama de bloques de la secuencia de este sistema.

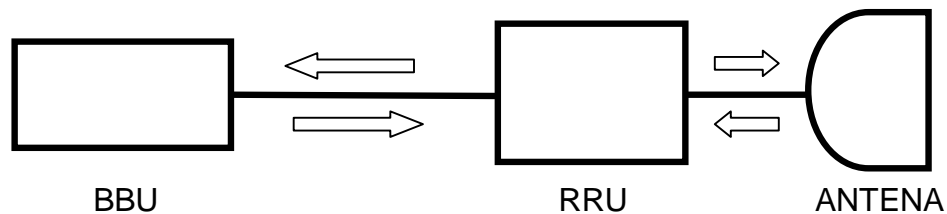


Figura 4.6 Diagrama de bloques funcional de una radiobase.

La unidad BBU ejecuta las siguientes funciones:

- Provee puertos de comunicación entre la BBU y la MME (Mobility Management Entity) o la OSS (Operation & Support System) para la transmisión de datos.
- Provee canales de mantenimiento entre la BBU y la Terminal de Mantenimiento Local (Local Maintenance Terminal - LMT) o M2000 para manejar y monitorear la radiobase.
- Proporciona puertos E1s, que apoyan protocolos IP y ATM.
- Provee la interfaz para la comunicación entre la BBU y la RRU.
- Provee puertos de conexión local para configuración vía software.
- Procesa señales de banda base de uplink y downlink.

- Maneja el sistema entero de la radiobase en términos de Operación y Mantenimiento (O&M).
- Provee sistema de reloj.[9]

La BBU gestiona todos los recursos de la radiobase, traficando las llamadas entrantes y salientes, así como la descarga de datos de los móviles que operan en el área que controla.

Las capacidades que maneja una BBU actualmente son las que se muestran en la figura 4.7:

Máximo número de usuarios conectados	500
Pico de Velocidad de Bajada(downlink) [Mbps]	173
Pico de Velocidad de Subida(uplink) [Mbps]	56

Figura 4.7 Tabla de capacidades estándar en una BBU .

La operación de la BBU esta subdividida en 4 sistemas de acuerdo a la función a realizar:

- Subsistema de Transporte
 - Subsistema de Banda Base
 - Subsistema de control
 - Módulo de energía
- El Subsistema de Transporte proporciona los puertos físicos de comunicación para datos entre el nodo y la OSS. Proporciona los canales para operación y mantenimiento (O&M) entre el BBU y el canal de Operación y Mantenimiento (OMC), que es un agente para el mantenimiento al equipo de la compañía proveedora del servicio. Proporciona el canal entre el la BBU y la Terminal de Mantenimiento Local (Local Maintenance Terminal) o M2000 que es el gestor de operación y mantenimiento remoto. Proporciona puertos para la comunicación entre el radiobase para LTE y las radiobases 2G y 3G para que los recursos de transmisión E1 / T1 pueden ser compartidos [10]

- El Subsistema de Banda Base procesa la información banda base del enlace de subida y del enlace de bajada. Los siguientes módulos realizan las funciones de este subsistema:
 - Modulo de procesamiento de datos en banda base del enlace de subida: consiste en la unidad de demodulación y decodificación.
 - Modulo de procesamiento de datos en banda base del enlace de bajada: consiste en la unidad de modulación y codificación.[11]
- El Subsistema de Control administra el nodo. Este subsistema realiza las funciones de operación y mantenimiento, los procesos de señalización y proveer la señal de reloj de referencia al sistema. El modulo O&M administra los equipos y módulos conectados, el manejo de las actualizaciones, configuraciones, alarmas, manejo de software y acondicionamiento del nodo. Las funciones O&M incluyen la gestión de configuración, gestión de fallos, gestión del rendimiento, gestión de seguridad y la implementación.[12]
- El módulo de energía convierte una señal de entrada de -48V o al voltaje requerido por las tarjetas auxiliares y provee un puerto para un dispositivo de monitoreo externo.[13]

En base lo anterior, en la Figura 4.8 se muestra cómo interactúan los módulos que forman la radiobase y sus subsistemas.

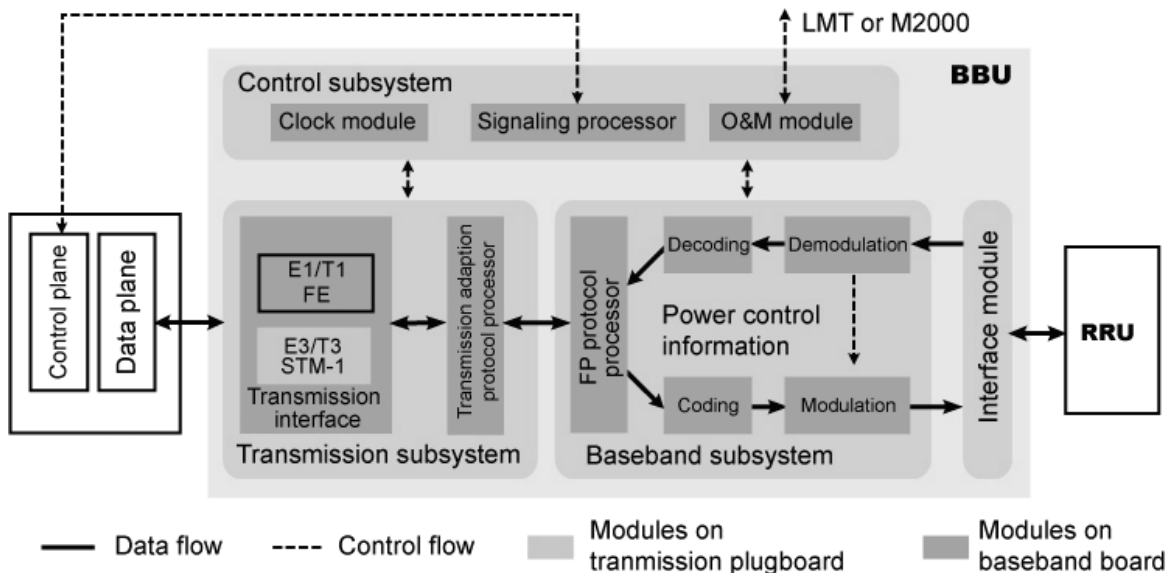


Figura 4.8 Diagrama de bloques dentro de la BBU.

4.6 Conexión entre BBU y RRU

En el comienzo de las redes celulares con la tecnología GSM, la RRU se situaba en la misma ubicación que la BBU, transmitiendo la señal de forma analógica a las antenas pasivas por medio del cable coaxial o feeder. Después con el avance de la tecnología y el uso de medios de transmisión digitales entre módulos de cualquier sistema electrónico, se sustituyó los *feeder* con la utilización de fibra óptica, dado que las pérdidas por atenuación de la señal en el cable coaxial son mucho mayores que las perdidas en una fibra óptica. Esto aunado a la amplia simplicidad en el montaje de esta última con respecto al feeder. A continuación, se describirán los elementos que intervienen en la comunicación entre la BBU y el RRU.

4.6.1 Conexión con Fibra Óptica

La fibra óptica es un sistema de transmisión opto-eléctrico, es decir que involucra manipulación tanto de energía eléctrica como lumínica en el proceso de transmisión.

La señal producida por los distintos equipos de transmisión de datos (routers, switches, etc.) es de tipo eléctrico. Esta señal debe ser convertida en una señal lumínica para poder ser transmitida a través de una fibra óptica, para luego ser reconvertida a pulsos eléctricos y así poder ser comprendida por el dispositivo destino.

Este medio de transmisión permite conexiones de alto ancho de banda a mayores distancias debido a que la señal portadora (el haz de luz) sufre menos atenuación y es inmune al ruido electromagnético.

Es una pieza compleja compuesta básicamente de 2 elementos:

- Núcleo de vidrio o silicio, que es propiamente el elemento transmisor. Actúa como una guía de onda que transmite la luz entre los puntos conectados. Su diámetro varía en los diferentes tipos de fibra.
- Revestimiento o blindaje, compuesto por material similar al núcleo pero con diferentes propiedades ópticas, lo que asegura que el haz de luz quede confinado o contenido dentro del núcleo. Su diámetro estándar es de 125 micrones.

En los sitios celulares se usan fibras ópticas ya prefabricadas con una longitud adecuada a la distancia que existe desde la BBU hasta las RRU y acorde a las medidas comerciales, siendo las de 50, 100 y 150 metros las mayormente usadas. Estas fibras ópticas son del tipo monomodo.

4.6.2 Fibras monomodo

En este tipo de fibra se transmite un solo haz de luz por el interior de la fibra. La fibra Mono-modo utiliza un sistema muy simple, debido a que solo permite un modo de propagación; un único haz de luz directa y más intensa, esto mediante el uso de un laser de alta intensidad. Con ello se logran alcanzar grandes distancias (hasta 300km) y transmitir a elevadas tasas de información (decenas de Gb/s). En la figura 4.9 se muestra como funciona una fibra monomodo.

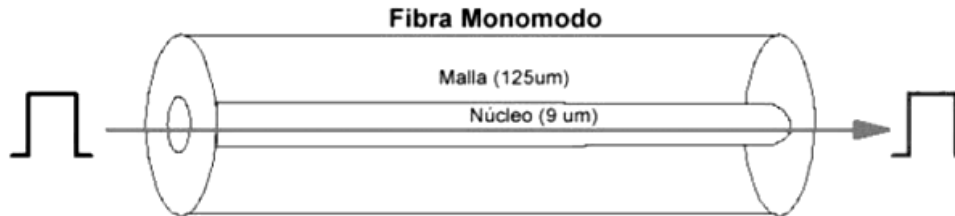


Figura 4.9 Transmisión por una fibra monomodo.

4.6.3 Composición del cable de fibra óptica

Una fibra óptica consta de un cilindro de vidrio extremadamente delgado, denominado núcleo, recubierto por una capa de vidrio concéntrica, conocida como revestimiento.

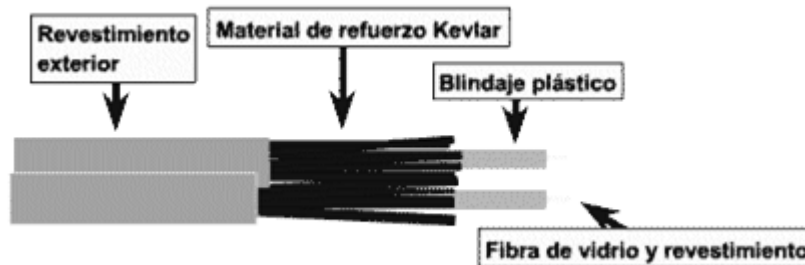


Figura 4.10 Composición física del cable de fibra óptica.

Como se muestra en la Figura 4.10, el cable de fibra óptica contiene una capa de plástico alrededor de cada hilo de vidrio y que sirve como refuerzo, además también se encuentran unas fibras de Kevlar que ofrecen mayor resistencia en el cable. Al igual que sus homólogos (par trenzado y coaxial), los cables de fibra óptica se encierran en un revestimiento de plástico para su protección.

Debido a que los hilos de vidrio pasan las señales en una sola dirección, un cable consta de dos hilos en envolturas separadas. Un hilo transmite y el otro recibe.



Figura 4.11 Conector de los extremos del cable de fibra óptica.

Como lo muestra la Figura 4.11, el extremo de una fibra óptica se termina con un conector de fibra óptica. En estas terminales de la fibra óptica se utilizan conectores tipo LC (*Lucent Connector*) que son muy ocupados en transmisiones de alta densidad de datos, como por ejemplo en servers o clústeres de información.

4.6.4 Conversión de la señal eléctrica/óptica

Cada enlace de fibra consta de un transmisor en un extremo de la fibra y de un receptor en el otro. La mayoría de los sistemas operan transmitiendo en una dirección a través de una fibra y en la dirección opuesta a través de otra fibra para así tener una transmisión bidireccional.

Ante ello, la mayoría de los sistemas utilizan un *transceiver* (transceptor) que incluye tanto un transmisor como un receptor en un sólo módulo. El transmisor toma un impulso eléctrico y lo convierte en una salida óptica a partir de un diodo láser. En la figura 4.12 se muestra como el *transceiver* realiza la conversión.

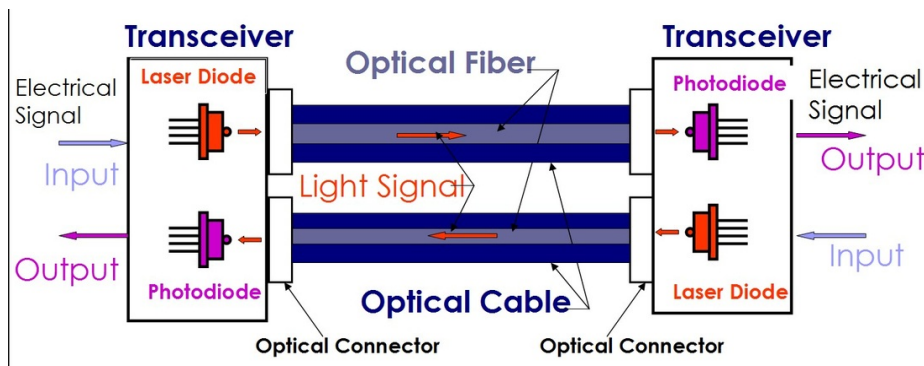


Figura 4.12 Conversión de la señal en un transiver.

La luz en la parte del transmisor, se acopla a la fibra con un conector y se transmite a través de la red de cables de fibra óptica. La luz del final de la fibra se vuelve a acoplar ahora a la parte receptor, donde un detector convierte la luz en una señal eléctrica que luego se acondiciona de forma tal que pueda utilizarse en el equipo receptor.

Los láseres son los más usados debido a que se pueden acoplar fácilmente a las fibras monomodo, lo que los hace ideales para transmisiones de alta velocidad en larga distancia. Con el uso de fibra óptica con sus respectivos transceiver, como medio de comunicación entre los módulos que se encargan de la transmisión y recepción en el sitio, se aumenta la velocidad de transferencia interna de datos, debido a que los láser tienen una capacidad de ancho banda muy elevada. En la figura 4.13 se muestra la conexión entre un cable de fibra óptica con conectores LC y un *transceiver*.



Figura 4.13 Conexión transceiver - fibra óptica.

4.7 Medios de transmisión entre una radiobase y la Red Móvil

Para poder comunicarse con un usuario que se encuentra a miles de kilómetros, es necesario que la nueva radiobase que le ofrece cobertura este conectada a la red para establecer así un enlace. Por ello, surge la necesidad de asignar en la red de telefonía móvil, los recursos de transmisión necesarios en cada nueva radiobase que se pretenda integrar la red.

Para poder llegar a todos los puntos de la red móvil se utiliza una combinación de varios tipos de elementos, equipos y medios de transmisión. Hay dos formas básicas proveer este medio:

- Radioenlaces
- Red pasiva de fibra óptica

A continuación describiré algunas de las principales características de estos medios de transmisión.

4.7.1 Radio-enlace

Un radio-enlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía ondas radioeléctricas (microondas) de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí y entre los que debe existir una línea de visión directa (LOS – *Line of Sight*). En la figura 4.14 se muestra como se implementa un radioenlace. [14]



Figura 4.14 Enlace de radiobases mediante microondas.

Estas ondas de radio van de una antena parabólica a otra. Como resultado de sus propiedades electro-físicas, se pueden usar las microondas para transmitir señales por el aire, con relativamente baja potencia. Para crear un circuito de comunicaciones, se transmiten señales de microondas a través de una antena enfocada a otra antena en una siguiente estación de la red, misma que actúa como un receptor que captura la señal transmitida, para luego ser amplificadas y retransmitidas nuevamente hasta llegar al punto de la red que es su destino.[15]

En la figura 4.15 se muestra las capacidades de velocidad de transmisión en los radioenlaces.

Baja Capacidad < 40 [Mbs]
Media Capacidad 40 - 100 [Mbs]
Alta Capacidad > 100 [Mbs]

Figura 4.15 Rangos de velocidad de transmisión en radioenlaces.

Analizando las características de la transmisión radioeléctrica respecto a la tradicional transmisión cableada, y sus ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Son más baratos que los medios de transmisión por línea, ya que van por el aire.
- Instalación rápida y sencilla: no requiere realizar obra civil y tendido en subsuelo, sólo hay que instalar equipos en extremos.
- Mantenimiento fácil y rápido.

Inconvenientes:

- Su funcionamiento y uso queda restringido a tramos con visibilidad directa (LOS).

- Saturación del espectro radioeléctrico disponible en el largo plazo, pues las frecuencias disponibles para este uso son limitadas y se acaban produciendo interferencias entre radioenlaces cercanos.
- Alta dependencia de elementos externos: arboles, edificios, climatología adversas (desvanecimiento por lluvias).[16]

La mayor ventaja que presentan los radioenlaces es la rapidez de despliegue y el ahorro en obra civil que habría que llevar a cabo para soterrar la transmisión cableada.

4.7.2 Red de Fibra Óptica

Las redes en planta interna de comunicaciones, utilizan fibra óptica principalmente en su red troncal. Una red óptica pasiva conocida como *Passive Optical Network* (PON) permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos o divisores ópticos, debido a que toda la infraestructura necesaria es pasiva (sin amplificadores, repetidores, etc.), a excepción de los extremos (central y usuario).

Las redes PON cuentan con una variada gama de protocolos y estándares. Las dos tecnologías que actualmente lideran el mercado son las denominadas EPON (*Ethernet PON*) y GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). GPON, es la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más avanzada en la actualidad. [17]

Los principales objetivos de GPON son ofrecer mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios IP, y una especificación completa adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.

Las redes GPON son redes ópticas que destacan principalmente por dos características, por un lado toda la infraestructura extremo a extremo está basada en elementos ópticos pasivos, y por otro lado permiten la transmisión y recepción de una inmensa cantidad de datos a través de una sola fibra. Para guiar el tráfico por la red, se ocupa un dispositivo esencial que es el divisor óptico conocido como splitter. Esto permite compartir una misma fibra entre varios usuarios.

Las redes GPON se constituyen por tres elementos básicos:

- OLT: Terminal de Línea Óptico: (*Optical Line Terminal*). Es el elemento activo situado en la central telefónica. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (cada OLT suele tener capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios). Estos equipos conectan la red del operador con la red GPON y normalmente se ofrecen en un formato modular que permiten la adecuación a los diferentes escenarios existentes.

- ODN (*Optical Distribution Network*). Suele referirse a la ODN como los diferentes elementos ópticos existentes entre la OLT y las diferentes ONT/ONU de la red GPON. Suele estar compuesto de las diferentes fibras ópticas y de los splitters requeridos para ramificar la red.
- ONT/ONU: Terminal/Unidad de Red Óptico (*Optical Network Terminal/Optical Network Unit*). Es el elemento situado en la ubicación física del usuario y ofrece las interfaces de usuario. La ONT es a una red GPON lo que un módem es a una red xDSL. Se trata del equipo que ofrecerá el servicio al usuario y que conectará directamente con la OLT. [18]

En la figura 4.16 se muestra la aplicación de estos elementos en una red GPON.

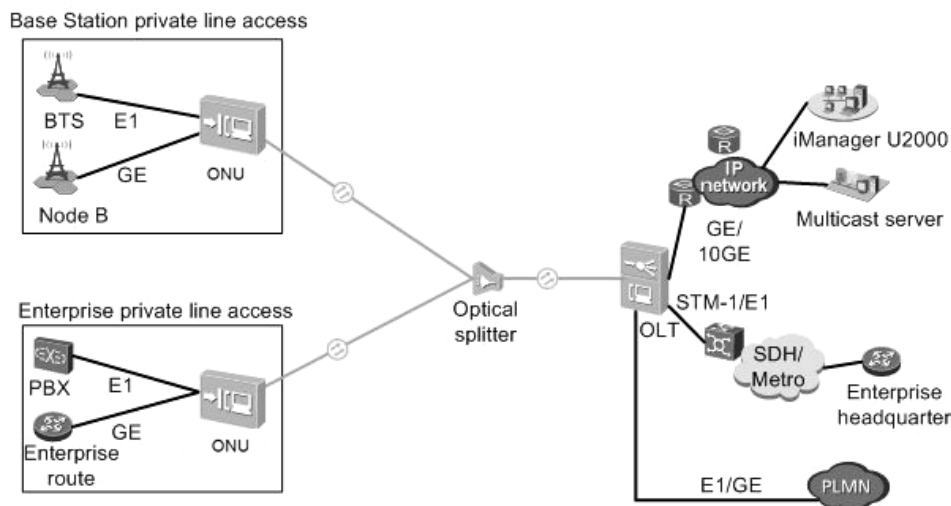


Figura 4.16 Elementos operativos que forman una red GPON.

Tanto el flujo de datos descendente como el ascendente viajan en la misma fibra óptica. Para ello se utiliza una multiplexación WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Eso quiere decir que se usan señales con longitudes de onda distintas para insertarlas en una sola fibra. La transmisión se realiza entre la OLT y la ONU pasando por todos los divisores ópticos que haya en la red. [19]

Las características de una red GPON son:

- Capacidad: 2,488 Gbps (*downstream*) / 1,244 Gbps (*upstream*)
- Distancia máxima (lógica): 60 km
- Distancia máxima (física): 20 km
- Razón de *splitting*: 1:128

Cuando se instala un nuevo nodo, el área de optimización estudia la situación de este, teniendo en cuenta tanto la orografía del terreno, como los equipos y recursos con los que ya cuenta la red de telefonía móvil. La selección del medio de comunicación del nuevo nodo dependerá de la condiciones en la que se haya desarrollado este, su posible ampliación en un futuro o la finalidad de su colocación, el cual podría usarse como un hub de transmisión en el que se concentre el tráfico de otras radiobases. Muy importante también es la estrategia comercial de cada compañía proveedora del servicio de telefonía móvil, puesto que siempre sería preferible usar fibra óptica por su gran capacidad y fiabilidad, pero su costo económico es mucho mayor que un radio-enlace y puede no ser rentable. Sin embargo, un radio-enlace es más propenso a tener una caída del enlace en días de condiciones meteorológicas adversas, además las futuras ampliaciones de la red tomando como canal esta nueva radiobase con este tipo de medio estarán más limitadas pues la capacidad de transmisión de datos es mucho más limitada con respecto a la fibra óptica. Por ende en el futuro cuando se presente un aumento en el tráfico de datos puede ocasionar un nuevo cambio de hardware en esta radiobase. En contraste, con la red de fibra óptica aunque los equipos y su implementación sea más caros que el radio-enlace, las ampliaciones son menos costosas de realizar, el canal es más seguro y el medio puede ser compartido con muchas otras radiobases.

Ante los escenarios antes descritos, en definitiva se suele instalar un radio-enlace cuando la distancia del nodo más cercano sea muy lejana y su implementación de con enlace de fibra óptica sea de un costo elevadísimo o simplemente se necesite una rápida integración del nuevo nodo. Los casos de fibra óptica se dejan para nodos que se espera que se presente tráfico intenso, debido a que estos deben de contar con un gran ancho de banda en la velocidad de transferencia de datos.

4.8 Antenas Sectoriales

La antena pasiva se compone de un radomo que actúa como protector de la antena, fabricado en materiales que alteran lo menos posible la señal radiada. Actualmente, acostumbra a usarse radomos de resina con fibras de vidrio que proporcionan altos valores de rigidez con espesores muy pequeños. Internamente, un bastidor metálico de aluminio hace las funciones de plano de masa, aislando los elementos radiantes de los cables. En la parte trasera de la antena se disponen los cables de alimentación que distribuyen la señal a los elementos radiantes y el desfaseador. Este último, se compone de estructuras que distribuyen la señal por medio de líneas de transmisión y crean desfases progresivos en las señales aplicadas a los elementos radiantes para conformar un haz de radiación con diferentes ángulos de inclinación. El mecanismo para realizar el desfase suele estar patentado y difiere en función del fabricante.

En la parte frontal se disponen los elementos radiantes. Estos acostumbran a ser dipolos o parches fabricados en materiales conductores como el aluminio. En la figura 4.17 se muestra como se conforma internamente una antena pasiva.



Figura 4.17 Composición interna de una antena sectorial.

Las antenas usadas para sitios celulares o antenas sectoriales son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. De igual modo, su alcance es mayor que una omnidireccional y menor que una direccional. En la figura 4.18 se muestra la dispersión de la señal radiada por una antena sectorial.

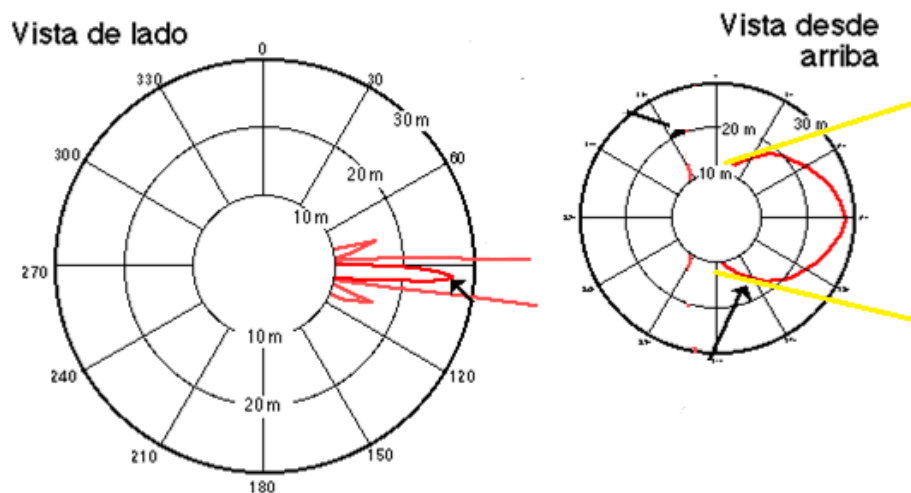


Figura 4.18 Diagrama de dispersión de radiación en una antena sectorial.

Por lo general en un radiobase se instalan varias antenas de transmisión y recepción. Para obtener la mejor relación ganancia de señal y cobertura se divide el área de acción en sectores que son atendidos por antenas separadas.

Para tener una cobertura de 360° (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) se deben instalar, tres antenas sectoriales de 120° . Esto es la técnica de trisectorización, que consiste en dividir la radiobase en tres zonas, denominadas sectores, que a efectos prácticos funcionan como células independientes. Por regla, el sector con dirección más cercana al norte magnético será el sector 1 y de este como referencia los otros dos sectores irán sucesivamente conforme a las dirección de las manecillas de un reloj. En la figura 4.19 se muestra como se distribuyen las antenas de una radiobase.

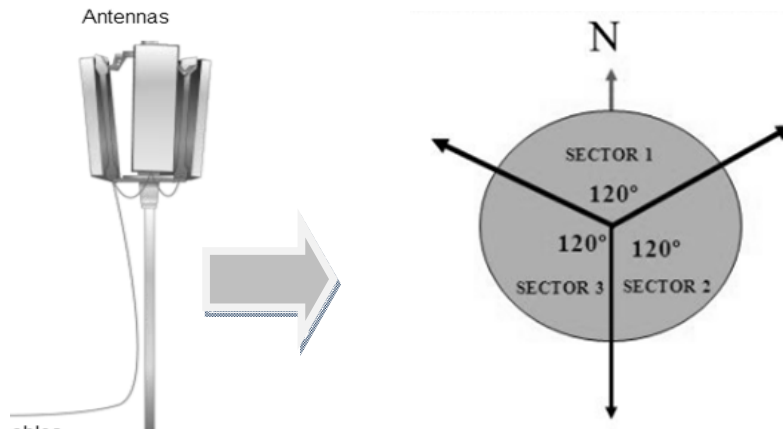


Figura 4.19 Disposición física de antenas en una radiobase.

La eficacia de una red celular depende directamente de una correcta configuración y adaptación de sistemas radiantes: sus antenas de transmisión y recepción.

El Azimuth y *Tilt* de las antenas son parámetros muy importantes en los sistemas de telefonía celular. Su correcta instalación e implementación ayuda a un óptimo desempeño y disminuye la necesidad de realizar una extensa optimización en la red. En la figura 4.20 se muestra como se aplican los tipos de direccionamiento de una antena.

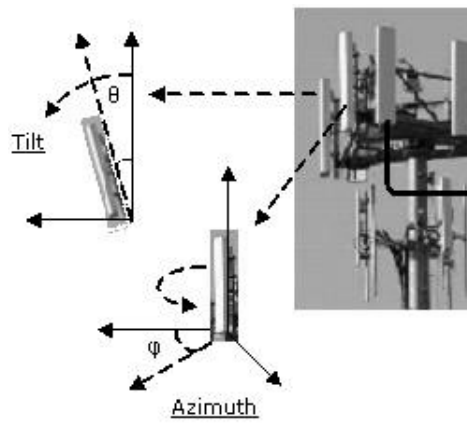


Figura 4.20 Ángulos de direccionamiento en una antena.

4.8.1 El *tilt* en una antena

Una de las principales optimizaciones del sistema se basa en el ajuste correcto de la bascula de la misma, o pendiente de la antena con relación a un eje. Con el *tilt*, se dirige la radiación más abajo (o más arriba), concentrando la energía en la nueva dirección que se deseé. Por lo tanto el foco del patrón de radiación en las antenas que conforman los sitios se le da una inclinación descendente a modo de que toda la potencia de radiación en la antena se utilice en espacios físicos útiles para los usuarios, es decir dirigir la señal hacia los demandantes del servicio.

Cuando la antena está inclinada hacia abajo se llama *downtilt*, que es el uso más común. Si el inclinación es hacia arriba (casos muy raros y extremos), se le llama *uptilt*. Con el *downtilt* se consigue:

- Reducir interferencia, puesto que reduce la radiación hacia una RBS cercana.
- Concentrar la radiación dentro del área de servicio de la radiobase.

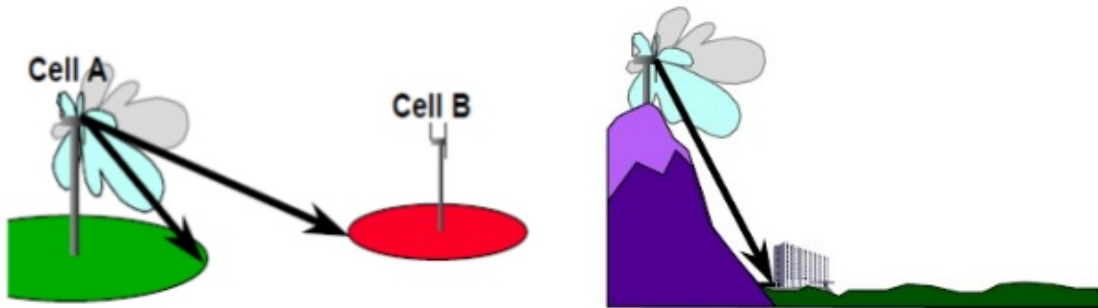


Figura 4.21 Ventajas en la implementación del Downtilt.

Hay dos formas de darle a la antena el *downtilt*:

- *Tilt Mecánico*: esta se logra efectuando una inclinación física de toda la antena a través de accesorios específicos en la misma, sin cambiar la fase de la señal de entrada. Por ello, la dispersión frontal de la señal radiada en la antena sectorial se va hacia abajo y la que se presenta en la parte trasera de la misma va hacia arriba.[20]

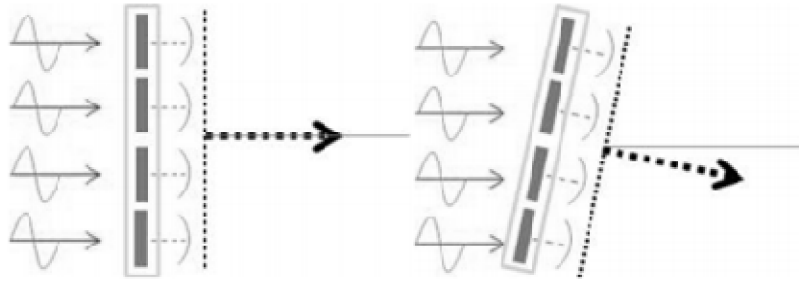


Figura 4.22 Tilt Mecánico en una antena.

- **Tilt Eléctrico:** se obtiene de la modificación de las características de la fase de señal modificando internamente lo posición de cada elemento radiante de la antena, pero sin mover la posición física de la antena. Esto ocasiona que el foco del patrón de radiación se modifique internamente en la antena.[21]

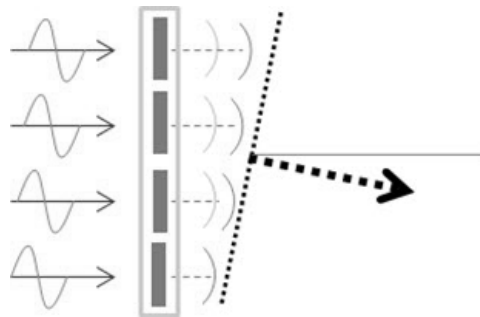


Figura 4.23 Tilt Eléctrico en una antena.

4.8.2 Implementación del Tilt eléctrico en una antena

El *tilt* eléctrico puede ser un valor fijo, o puede ser variable, generalmente ajustado a través de un accesorio conectado a la misma antena que se conoce como RET (*Remote Electrical Tilt*). El RET es un motor que se conecta directamente a un conector de entrada de la antena, teniendo que ser el modelo de la antena propicio para ello. El motor permite la modificación del *tilt* eléctrico sin necesidad de acceder internamente en la antena, debido a que este se encarga de mover físicamente parte del sistema radiante interno de la antena, lo que ocasiona que la señal radiada cambie su fase. Utilizar antenas con *tilt* eléctrico variable es la mejor opción en el proceso de optimización de la radiobase, debido a la facilidad para modificarlo sin estar junto a la antena y al hacerlo incluso remotamente cuando se requiera.

Como se muestra en la Figura 4.24, el RET se conecta en uno de los puertos de interconexión en la antena, y este a su vez se conecta con un solo cable AISG hasta el RRU, pues desde este se controla su operación. Con dicho cable se cumplen las funciones tanto de alimentación eléctrica y como canal de la señal para el control del RET. Esta es otra de las razones por las que el RRU se instala lo más cerca posible de la antena con la que trabaja.

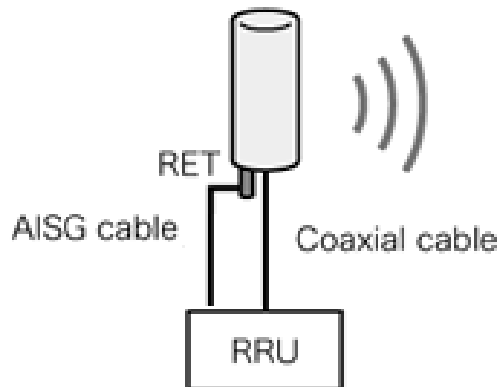


Figura 4.24 Ubicación del RET en una antena.

Con el movimiento de este motor se consigue mover bajo medidas escalables los desfases mecánicos, que son los encargados de efectuar el cambio de fase se ubican dentro de la antena pasiva. Debido a que como esta no contiene medios electrónicos integrados para realizar dicha función, se requiere de la conexión de un dispositivo externo, pero en base a eso se consigue poder controlar remotamente la posición de los desfases y por ello el ángulo de *Tilt* Eléctrico en la que opera dicha antena.

Los desfases o desplazadores de fase son principalmente clasificados como mecánicos o electrónicos, dependiendo en que si el control de la fase es alcanzado a través de un ajuste mecánico o electrónico.[22]

En las antenas pasivas que funcionan con los desplazadores de fase variables mecánicamente, el corrimiento de fase se alcanza al variar la fase de inserción del dispositivo por sintonización mecánica. Los desplazadores de fase mecánicos son de operación analógica y comúnmente contruidos en una guía de onda rectangular o circular. La mayoría de los desplazadores de fase mecánicos son recíprocos y comparados con los desplazadores de fase electrónicos, son robustos, simples de fabricar y tienen muy bajas pérdidas además de que se presentan como una opción de bajo costo. Por lo tanto estos son usados extensamente en aplicaciones que no demandan un rápido cambio del corrimiento de fase.[23]

4.8.3 Implementación de *tilt* mecánico

Este tipo de *Downtilt* es el más fácil y barato de implementar. Una vez realizado el ajuste, siempre se puede volver a modificar. Sin embargo su gran inconveniente es que únicamente modifica el apuntamiento del lóbulo principal, dejando sin modificar los lóbulos secundarios.

La implementación del *tilt* mecánico se debe verificar mediante la utilización de un inclinómetro, goniómetro o nivel tanto analógico como Digital. Cada una de las antenas se debe medir para verificar su correcta implementación.

La inclinación positiva o negativa de sólo 1 grado conlleva a una gran diferencia en el lóbulo de radiación de la antena y por ende el área de cobertura de la misma, por eso deben ser medidas cada una de las antenas. En los casos donde se coloquen más de una antena por sector es muy importante medir y verificar que cada antena tenga el mismo *tilt* mecánico, aunque éste sea cero.

El uso de un nivel digital debe ser realizado por personal calificado, este instrumento debe ser calibrado constantemente y de una manera exacta ya que el más mínimo error en su calibración ingresara errores.

Mientras más larga la longitud de la base del nivel asegura una mejor medición. El nivel se debe colocar en la parte media de la antena tratando de no apoyarse ni presionar muy fuerte a la antena.

La medición será con respecto a los 90°, la variación será positiva o negativa dependiendo de la inclinación, una antena con *tilt* 0° será aquella que mida 90 grados. En la figura 4.25, se muestra la medición del *tilt* mecánico en una antena.

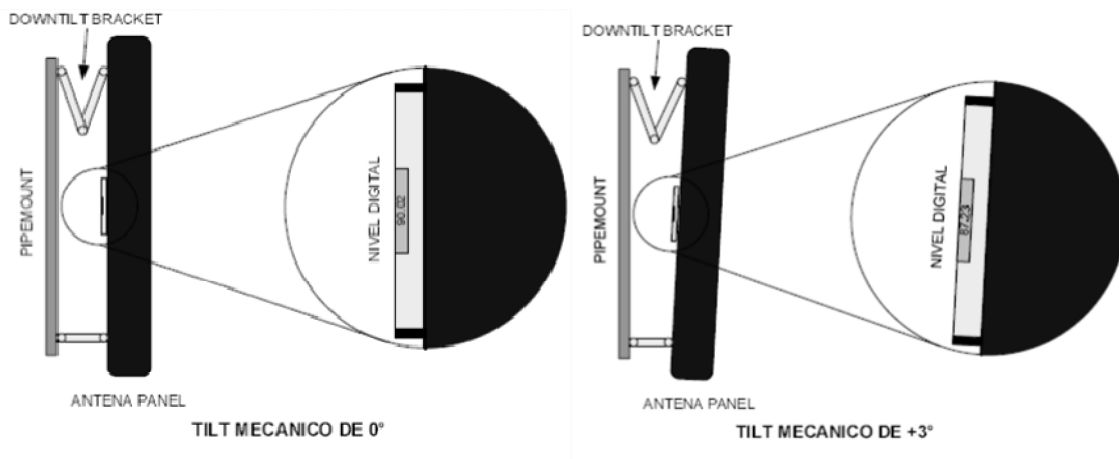


Figura 4.25 Medición física del Tilt Mecánico.

4.8.4 Comportamiento de la antena ante la aplicación de los Downtilt

Tomando como referencia una simulación, se muestra el comportamiento de radiación en la antena efectuando cambios en los tilt antes mencionados. En la Figura 4.26 se presenta la simulación de una antena sin cambio.

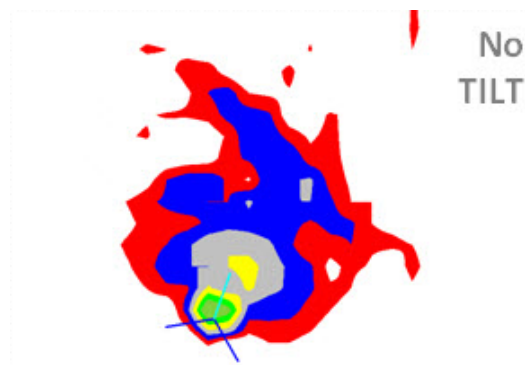


Figura 4.26 Dispersión de señal radiada de una antena sin ajuste de Tilt.

En la Figura 4.27 se muestran los efectos al aplicar un cambio en ambos tipos de Tilt en la antena.

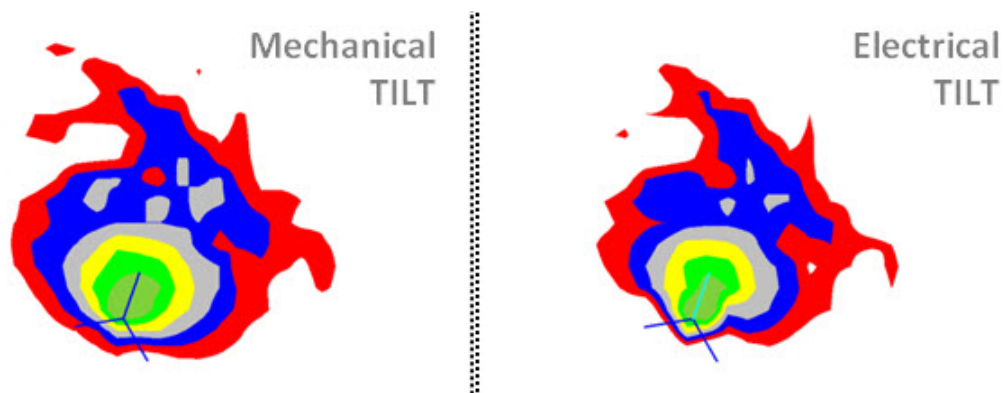


Figura 4.27 Dispersión de señal radiada de una antena usando los 2 tipos de Tilt.

Analizando los diagramas para ambos tipos de *tilt*, así como los resultados de las simulaciones (estas medidas se comprueban en el *drive test*) se demuestra que:

- Con tilt mecánico, se reduce el área de cobertura en dirección central, pero el área de cobertura en las direcciones laterales son mayores.
- Con tilt eléctrico, el área de cobertura sufre una reducción uniforme en la dirección del azimut de la antena, es decir, la ganancia se reduce uniformemente.[24]

Los ajustes de *tilt* implican el aumento o reducción de la cobertura mediante el cambio en la inclinación física de la antena en el caso del *tilt* mecánico.

El *tilt* eléctrico tiene el mismo efecto anterior sin embargo, el patrón de radiación mantiene su forma a medida que se aumenta o reduce la cobertura, a diferencia del *tilt* mecánico, el cual deforma el patrón al aumentar la intensidad de los lóbulos laterales a medida que se incrementa el *tilt*. Otro aspecto a cuidar minuciosamente es por ejemplo, si no se aplicara una inclinación suficiente a la antena, podría interferir con otra estación situada a kilómetros, fenómeno llamado overshooting. Sin por el contrario la inclinación es excesiva, el rango de la cobertura de la radiobase podría no ser suficiente, lo que ocasionaría huecos de señal. Es importante la experiencia del ingeniero y el estudio de la zona y las antenas disponibles para dar con la configuración correcta en cada situación. Por último, un factor importante con respecto a los *tilt* es que para antenas con varios puertos se puede modificar el *tilt* eléctrico de manera independiente para cada puerto, en el caso del *tilt* mecánico su variación afectara todos los puertos de la antena.

4.8.5 Implementación de azimut

El azimut es el ángulo formado entre una referencia (norte) y la dirección hacia donde apunta una antena en un plano horizontal.

Muchas técnicas son utilizadas para medir el azimut de una antena durante la instalación. La exactitud para configurar el azimuth depende de los procesos de instalación y de los errores humanos e instrumentales. Existe una tolerancia de ± 10 grados, utilizando los métodos más tradicionales.[25]

El ángulo del azimut o direccionamiento siempre debe ser ajustado con relación al Norte Geográfico y/o al Norte magnético. En la figura 4.28, se muestra el uso de una brújula para determinar el azimut de una antena.

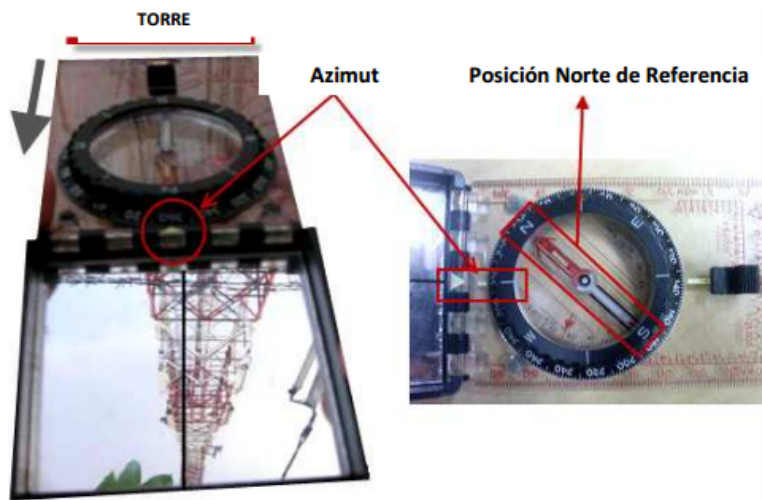


Figura 4.28 Orientación azimuth de una antena.

Cada una de las antenas debe ser implementada independientemente, su Azimuth debe ser medido y verificado individualmente, sin importar que existan varias antenas que pertenezcan a un mismo sector o estén instaladas a un mismo plano en relación una con otra.[26]

4.8.6 Azimut: Método de ajuste frontal

Para un correcto ajuste de Azimuth se debe utilizar una brújula, binoculares o binoculares con brújula incorporada, la medición se debe realizar a una distancia aconsejada de 2 veces la altura de la antena. En la figura 4.29, se muestra como se mide el azimuth con el método de ajuste frontal. [27]

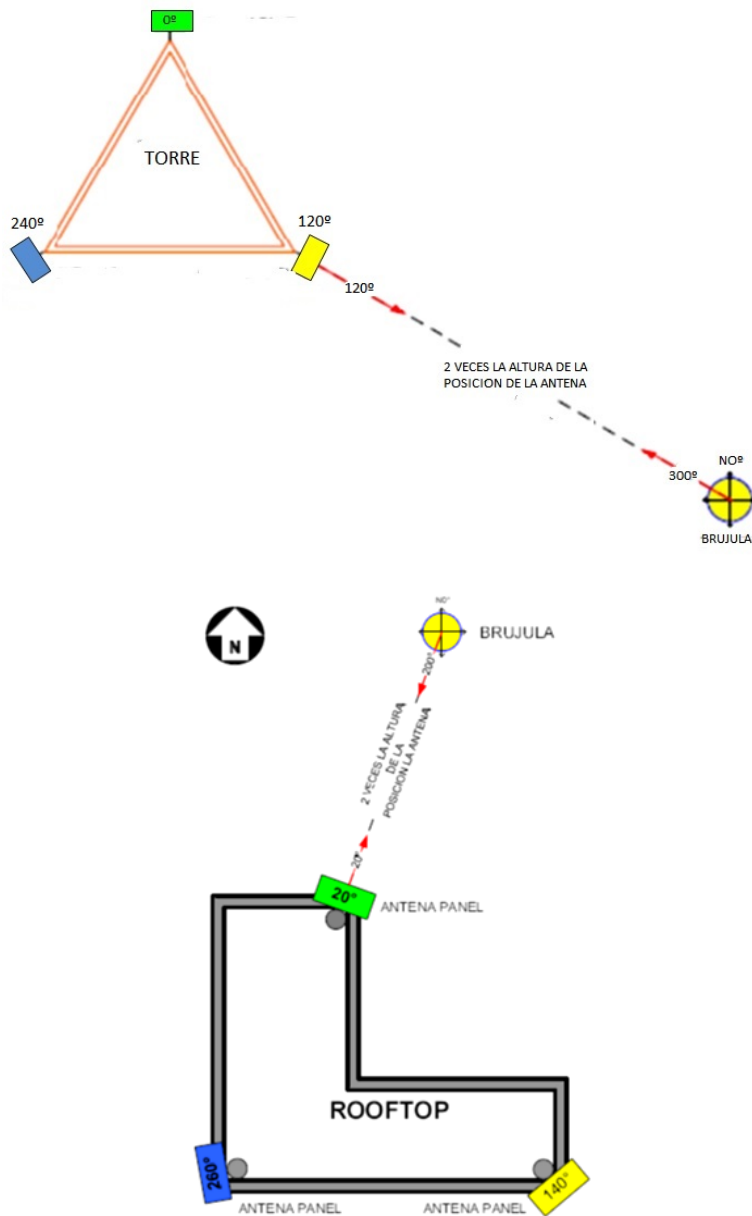


Figura 4.29 Implementación del Azimuth con el Método de ajuste frontal.

Se debe posicionar de manera frontal a la antena en medición y observar que el ángulo sea exactamente 180° mas o menos con respecto al ángulo deseado. Mediante el uso de los binoculares se debe pedir el ajuste de la antena logrando que este totalmente plana o frontal con respecto a la posición del compás. [28]

4.8.7 Azimut: Método de ajuste por punto de referencia

Este método sólo se debe usar si no se puede observar la antena directamente. Se debe establecer un punto de referencia sea este un edificio, una iglesia, una torre, etc., que este ubicada en el paso del azimuth a ajustar. Esta estructura de referencia debe estar mínimo a una distancia igual a la altura de la posición de la antena y no a más de 200[m] de la misma, ya que mientras más lejos este la estructura, mayor será el error introducido, así mismo es preferible tomar un punto específico de la estructura referencial al cual apuntar. En la figura 4.30, se muestra como se mide el azimuth con el método de ajuste por punto de referencia. [29]

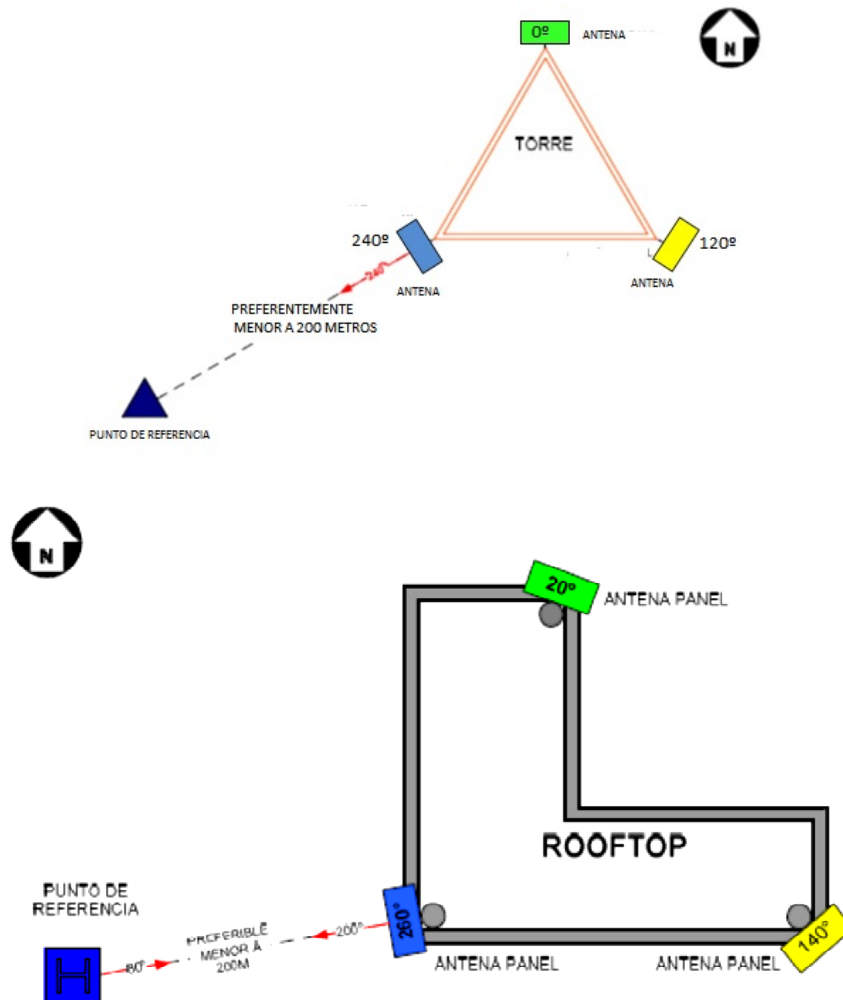


Figura 4.30 Implementación del Azimuth por ajuste por punto de referencia.

4.9 Interconexión directa Antena–RRU

La antena se conecta al RRU mediante dos puentes o *Jumper*. Estos cables tienen la función de transmitir señal de RF entre el RRU y la antena. En la figura 4.31, se muestra la disposición física de la conexión entre la RRU y la antena.

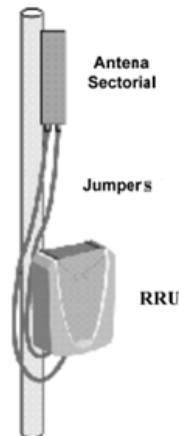


Figura 4.31 Conexión física entre Antena y el RRU.

Los jumpers constan de un cable coaxial y es la forma de cableado preferida entre la antena y el RRU por el simple hecho de que es barato y fácil de manejar (debido a su peso, flexibilidad, etc.).

Las características principales de estos cables en cuanto a lo que para diseño se refiere es la impedancia, las pérdidas y el radio de curvatura. La impedancia será de 50Ω .

Los *jumper* ya vienen pre-fabricados para la conexión entre la Antena y RRU. Estos están hechos con conectores de $\frac{1}{2}$ tipo DIN 7/16 y viene en longitudes de 3, 6 y 9 mts principalmente.

Las pérdidas de los *jumper* son dependientes de la frecuencia y aumentan a medida que sube la misma. Ante ello, se recurre a la alternativa de que entre más se aumenta la sección del feeder, se disminuirá las pérdidas pero se complicará la instalación de los mismo, debido a que mas sección tengan los feeders menor es la flexibilidad de este y por lo tanto aumentara el radio de curvatura. El radio de curvatura es el radio mínimo al que se puede doblar el cable cuando se enrolla el sobrante de un jumper o se hacen curvas durante su trayectoria hacia la antena, sin dañarlo ni acortar su vida útil. También si se excede aunque sea por muy poco ese radio mínimo de curvatura, ocasiona un efecto espurio llamado VSWR.

Las medidas usuales de los feeder en la telefonía móvil serán de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{7}{8}$ " y $1\frac{5}{8}$ ".

Un cable coaxial consta de un núcleo de hilo de cobre rodeado por un aislante, un capa de metal trenzado y una cubierta externa. Esta capa protege los datos transmitidos absorbiendo las señales electrónicas espurias, llamadas ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos.

El núcleo de un cable coaxial transporta señales electromagnéticas que forman los datos. El núcleo de conducción y la malla de hilos deben estar separados. En la figura 4.32 se muestra como se conforma un cable coaxial de un jumper.

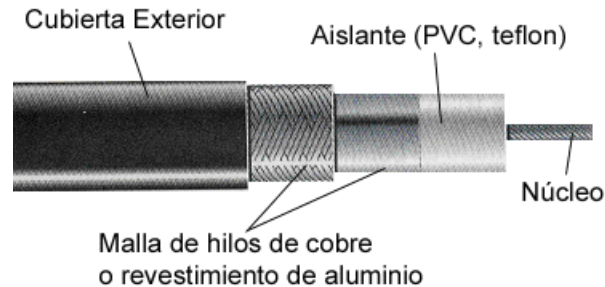


Figura 4.32 Composición física del cable coaxial de un jumper.

4.9.1 VSWR

Toda línea de transmisión ordinaria es bidireccional, por lo que la potencia puede propagarse igualmente bien en ambas direcciones. Se denomina voltaje incidente al voltaje que se propaga desde la fuente hacia la carga y voltaje reflejado al que va desde la carga hasta la fuente. En términos de potencia, la potencia reflejada es la porción de potencia aplicada pero que no fue absorbida por la carga. Estas dos ondas viajeras (potencia aplicada y reflejada) están presentes en la línea de transmisión todo el tiempo y ambas, en conjunto, establecen un patrón de interferencia conocido como onda estacionaria.[30]

Las ondas estacionarias son señales que resultan de la interferencia y de la resonancia de ondas. Cuando las ondas de igual amplitud y longitud de onda se cruzan en sentidos opuestos, se forman las ondas estacionarias, que a simple vista parecen inmóviles. Se producen en las líneas de transmisión que no están bien adaptadas, por lo que si no está bien adaptada, parte de la energía que le llega rebota y regresa a la entrada. Entonces a lo largo de la línea, la señal en lugar de viajar en su totalidad desde entrada a la salida, una fracción regresa, que al ser de la misma frecuencia y en oposición de fase. Al superponerlas ocasiona el efecto de que parte de la onda no se moviera, como si esta fuera estacionaria.[31]

En la figura 4.33 se muestra como se producen las ondas estacionarias en una línea de transmisión.

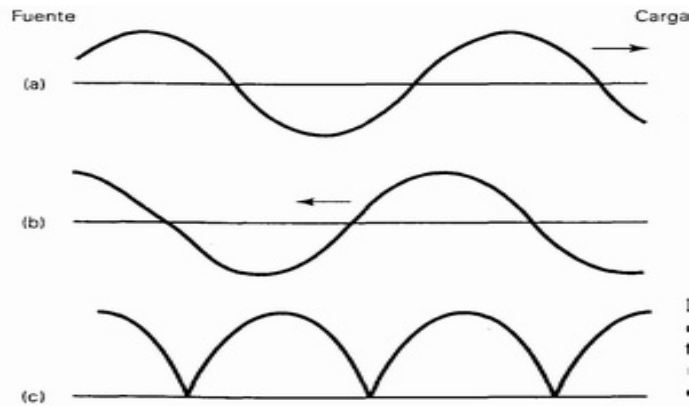


Figura 4.33 Comparación de los efectos de una señal que viaja a través de un medio de transmisión: a) Onda transmitida; b) onda reflejada; c) onda estacionaria generada.

El regreso de parte de la onda al origen cuando se intenta enviarla a la carga, es decir la antena, representa una falta de rendimiento, e introduce problemas al generador y en este caso la RRU. Por esta razón se conocen como **pérdidas de retorno**. [32]

Esencialmente, el VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) describe la potencia reflejada desde la antenas a la fuente de la señal que radia la antena. Es una medida del desacoplamiento de todos los componentes del sistema radiante (*feeders*, *jumpers*, conectores, antenas, y otros dispositivos que formen parte del sistema radiante). Por lo tanto el VSWR da una idea de la calidad de la transmisión, y es cero cuando la transmisión es óptima (bien adaptada). [33]

Capítulo 5. Interfaces de comunicación interna en una radiobase

Todo sistema tanto electrónico como computacional; que maneje y procese información, se debe de valer de interfaces de comunicación. Esto para la operación entre los módulos que componen dicho sistema, o para la comunicación con otros sistemas con los que interactúa.

Además de lo anterior, tanto en una radiobase como en cualquier sistema de comunicaciones en red, la conexión se basa en protocolos y topologías de redes que sirven para enlazar el nuevo nodo de acceso de dicha radiobase con el resto de la red. En este capítulo se revisaran las interfaces y protocolos que son utilizados de la operación de una radiobase.

5.1 Interfaz de comunicación entre BBU y RRU

Una BBU puede dar soporte a varias RRU, recibiendo la señal en banda base de estas en forma de tramas IQ. Las tramas se transmiten por medio de fibra óptica encapsuladas a través de la Interfaz Común de Radio Pública (CPRI).

5.1.1 La interfaz CPRI

CPRI(*Common Public Radio Interface*) es una interfaz digital estándar que se utiliza para la transferencia de datos en serie a alta velocidad entre las dos partes que procesan la información en las radiobases: el control de los equipos de radio (REC), también conocido como una unidad de banda base (BBU); y el equipo de radio (RE), también conocido como control remoto unidad de radio (RRU).

Con el CPRI en una radiobase, provee una interfaz digital estándar para transportar señales provenientes de los móviles de los usuarios, así como de gestión y de sincronización con lo que trabaja internamente la radiobase con la red de telefonía móvil. [33]

CPRI es un enlace de datos en serie, lo que significa que los bits se envían como una cadena. En la figura 5.1, se muestra la aplicación de la interfaz CPRI.

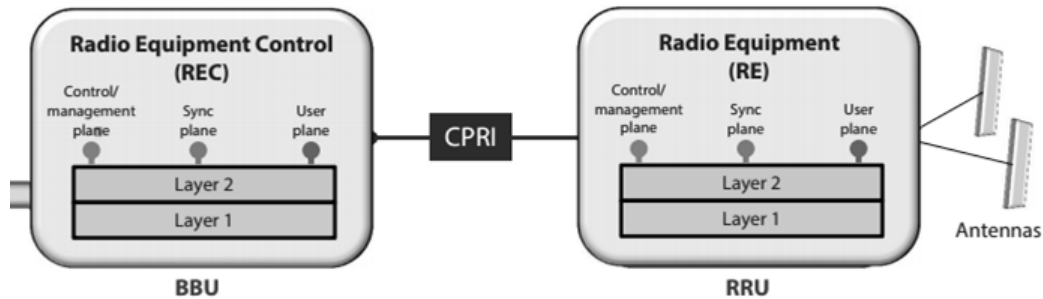


Figura 5.1 Comunicación entre la BBU y el RRU mediante el CPRI.

5.2 Interfaz de comunicación entre un nodo nuevo y la Red Móvil

Se entiende por conmutación en un nodo a la conexión física o lógica de un camino de entrada al nodo con un camino de salida del nodo, con el fin de transferir la información que llegue por el primer camino al segundo.

En telefonía móvil, la conmutación o estructura de la red es el subsistema encargado de llevar las comunicaciones por tierra desde una radiobase a la que se conecta un móvil, hasta su conexión al destino de la llamada, bien sea la red fija o hacia otra radiobase a la que se encuentra conectado otro móvil. En la parte de datos, la conmutación permite la conexión a los servidores de la nube de internet. Se incluyen dentro de los sistemas de red todas aquellas bases de datos que apoyan a las distintas funciones del sistema.

5.2.1 Redes conmutadas

Analizando una red de telefonía móvil desde el punto de referencia enfocado a redes informáticas, esta consiste en un conjunto de nodos interconectados entre sí, a través un medio de transmisión. Con la adición de mas nodos se forma, la mayoría de las veces, una red con una topología en malla, donde la información se transfiere direccionándola desde un nodo de origen hasta un nodo destino mediante conmutación entre nodos intermedios.[34]

Teniendo en cuenta lo anterior, las redes conmutadas trabajan bajo dos principales protocolos de comunicación:

- Conmutación de paquetes.
- Conmutación de circuitos.[35]

Para el caso de una red basada en el protocolo IP como es la tecnología de LTE, se utiliza la conmutación por paquetes.

5.2.2 Conmutación de paquetes

Se trata del procedimiento mediante el cual, cuando un nodo quiere enviar información a otro, la divide en paquetes. Un paquete es un grupo de información que consta de dos partes: los datos propiamente dichos y la información de control, en la que se especifica la ruta a seguir a lo largo de la red hasta el destino del paquete. Mil octetos es el límite de longitud superior de los paquetes, y si la longitud es mayor el mensaje se fragmenta en otros paquetes. En cada nodo intermedio por el que pasa el paquete, éste se detiene el tiempo necesario para procesarlo. Otras características importantes de su funcionamiento son:

- Los paquetes forman una cola y se transmiten lo más rápido posible.
- Los paquetes se numeran para poder saber si se ha perdido alguno en el camino.
- Todos los paquetes de una misma transmisión viajan por el mismo camino.
- Pueden utilizar parte del camino establecido en más de una comunicación de forma simultánea.[35]

En la figura 5.2 se muestra un ejemplo de conmutación por paquetes entre nodos.

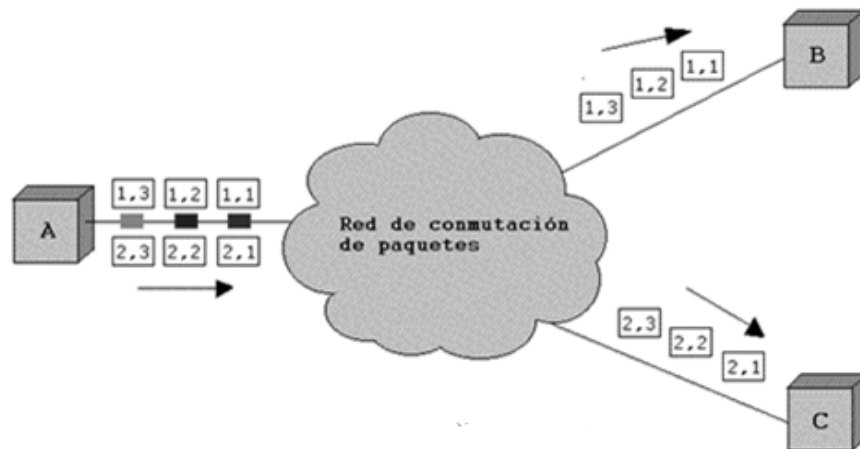


Figura 5.2 Transmisión por conmutación de paquetes entre nodos.

En la conmutación de paquetes, los datos se transmiten en paquetes cortos. Para transmitir grupos de datos más grandes, el emisor trocea estos grupos en paquetes más pequeños y les adiciona una serie de bits de control. En cada nodo, el paquete se recibe, se almacena durante un cierto tiempo y se transmite hacia el emisor o hacia un nodo intermedio.[37]

5.2.3 Criterios de enrutamiento sobre prestaciones en la red

Hay dos formas de elegir un enrutamiento eficiente: una es elegir el camino directo (entre el nodo emisor y el destino) y otra es elegir el menor número de saltos (entre el nodo emisor y el destino haya el menor número de nodos intermedios). En la figura 5.3, se muestra un ejemplo de posibles rutas a analizar para el enlace entre nodos

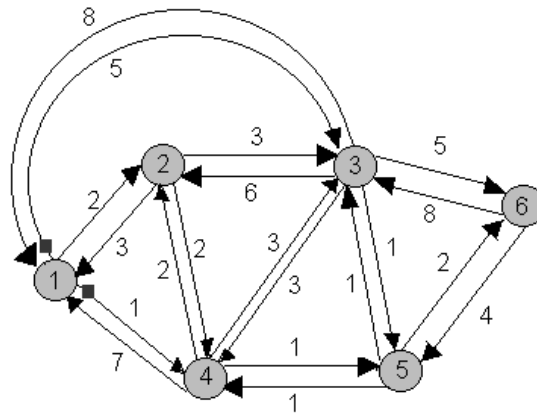


Figura 5.3 Ejemplo de posible rutas en el enrutamiento entre nodos.

Es la parte más compleja y crucial que se debe analizar previo a una transmisión de datos para lograr el rendimiento más efectivo. Se puede optar en la elección de la ruta por los siguientes aspectos:

- Camino con el menor número de saltos y que el enlace sea el más directo.
- Camino que implique el mínimo costo, por ende es el más utilizado. (para esto, se asocia un costo a cada enlace y se elige la ruta con el menor costo).

5.2.4 Topología basada en VLAN

Una red de área local virtual VLAN(Virtual Local Area Network) forma una subred conmutada, lógicamente segmentada por funciones o aplicaciones, que parte dentro de una red más extensa y compleja, sin tener en cuenta la ubicación física de los nodos que conforman la red. Las VLAN también se puede considerar como dominios de difusión. Un dominio de difusión es aquél en el cual la transmisión es enviada.

La tecnología de las VLAN se basa en el empleo de Switches, en lugar de hubs, de tal manera que esto permite un control más inteligente del tráfico de la red. Con el uso de los switch, se crean pequeños dominios, llamados segmentos. Esto genera a su vez una conexión dedicada dentro de la red, es decir una segmentación con solo un grupo específico de nodos de todos los que conforman

una red conmutada para conformar una subred virtual. Con esto se consigue aumentar considerablemente el ancho de banda a disposición de cada nodo.

Otra de las ventajas que se pueden notar en con el uso de redes VLAN es la reducción en el tráfico de la red, puesto que solo se transmiten los paquetes a los nodos que estén incluidos dentro del dominio de cada VLAN.[38]

Los administradores de red configuran las VLANs mediante software en lugar de hardware, lo que las hace extremadamente flexibles. Cada puerto de un switch se le puede asignar una VLAN. También se puede configurar todos los puertos de un switch para que transfieran datos para una única VLAN o para varias VLAN, según el diseño de configuración VLAN. En la figura 5.4 se muestra un ejemplo práctico del uso de VLAN.[39]

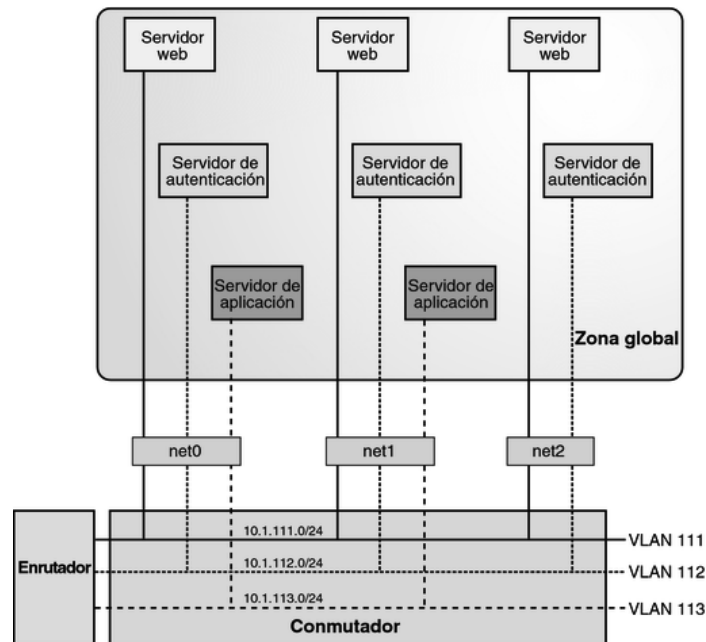


Figura 5.4 Ejemplo de segmentación de una red con el uso de las VLAN.

Conforme a lo desplegado en el ejemplo mostrado en la figura 5.5, sin la aplicación de un topología basada en VLAN, se tendría que configurar diferentes sistemas para realizar funciones específicas y conectarlos a redes separadas. Como se muestra en este ejemplo, los servidores web tendrían que conectarse a una LAN; los servidores de autenticación a otra y los servidores de aplicaciones a una tercera. Con las VLAN y las zonas, se pueden contraer los ocho sistemas y configurarlos como zonas en un único sistema. Luego, se puede usar ID de VLAN para asignar una VLAN a cada juego de zonas que realiza las mismas funciones. [40]. La información proporcionada en la Figura 5.5 se puede tabular y constituye las posibles rutas de acceso con su respectiva VLAN, dicha tabla se denomina Tabla de Enrutamiento.

Función	Nombre de zona	ID de VLAN	ID de VLAN	Dirección IP	NIC
Servidor web	webzone1	web 1	111	10.1.111.0	net0
Servidor de autenticación	authzone1	auth 1	112	10.1.112.0	net0
Servidor de aplicaciones	appzone1	app1	113	10.1.113.0	net0
Servidor web	webzone2	web2	111	10.1.111.0	net1
Servidor de autenticación	authzone2	auth 2	112	10.1.112.0	net1
Servidor de aplicaciones	appzone2	app2	113	10.1.113.0	net1
Servidor web	webzone3	web3	111	10.1.111.0	net2
Servidor de autenticación	authzone3	auth3	112	10.1.112.0	net2

Figura 5.5 Ejemplo de tabla de Enrutamiento.

La función principal de un switch es reenviar un paquete hacia un punto destino dentro de una red. Para hacerlo, el switch necesita buscar la información de enrutamiento almacenada en su tabla de enrutamiento.

Una tabla de enrutamiento es un archivo de datos que se encuentra almacenada y se usa para almacenar la información de la ruta sobre redes remotas y conectadas directamente. La tabla de enrutamiento contiene asociaciones entre la red y el siguiente salto. Estas asociaciones le indican al switch que un destino en particular se puede alcanzar mejor enviando el paquete hacia un switch en particular, que representa el "siguiente salto" en el camino hacia el destino final. La asociación del siguiente salto también puede ser la interfaz de salida hacia el destino final.

5.2.5 Protocolo IEEE 802.1Q

Es un protocolo usado en redes de enlace troncal, debido permite encapsular múltiples redes interconectadas con puentes o switches, para compartir el mismo medio físico sin problemas de interferencia. Además, establece un estándar que permite conectar switches de diferentes fabricantes, para que puedan trabajar juntos e integrarse sin problemas.

Este protocolo permite identificar a una trama proveniente de un equipo conectado a una red determinada. Esto debido a que se basa en la utilización de las VLAN que por su parte subdividen las redes en segmentos dedicados, por lo que se diferencian los datos que transitan por este segmento del resto de la red.

5.2.6 Formato de una trama 802.1Q

El protocolo 802.1Q propone insertar un campo de 4 bytes dentro de la trama Ethernet para identificar a que VLAN pertenece la información que se está transportando entre dispositivos de capa 2. Su función se basa en un etiquetado simple, puesto que no se añade cabecera ni cola. En la figura 5.6 se muestra el formato de la trama 802.1Q. [41]

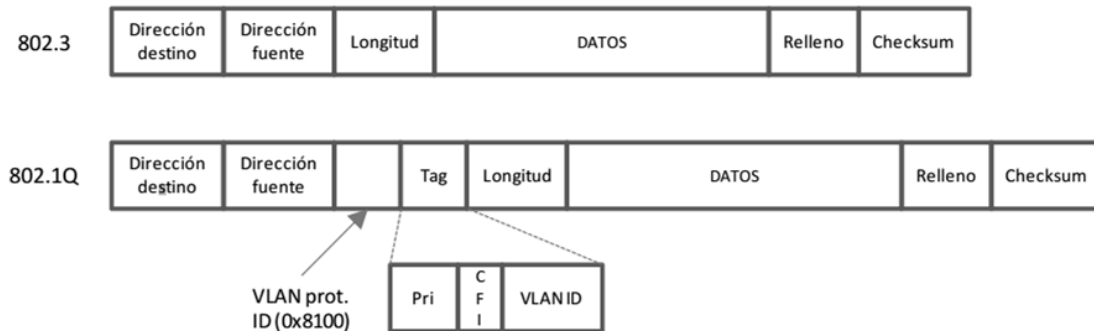


Figura 5.6 Formato de una trama 802.1Q.

Como se puede apreciar en la figura 5.7, en el campo de 4 bytes se inserta entre el campo Dirección fuente y el campo de Longitud. Los primeros 2 bytes son el TPID(Tag Protocol Information) y siempre tendrá el valor de a 0x8100, indicando que se trata de una trama IEEE 802.1Q. Los últimos 2 bytes contienen la siguiente información:[42]

- Los primeros 3 bits son el campo User Priority Field que pueden ser usados para asignar un nivel de prioridad.
- El próximo bit es el campo *Canonical Format Indicator* (CFI) usado para indicar la presencia de un campo *Routing Information Field* (RIF).
- Los restantes 12 bits son el *VLAN Identifier* (VID) que identifica de forma única a la VLAN a la cual pertenece la trama Ethernet.[43]

Capítulo 6. Resultados de campo

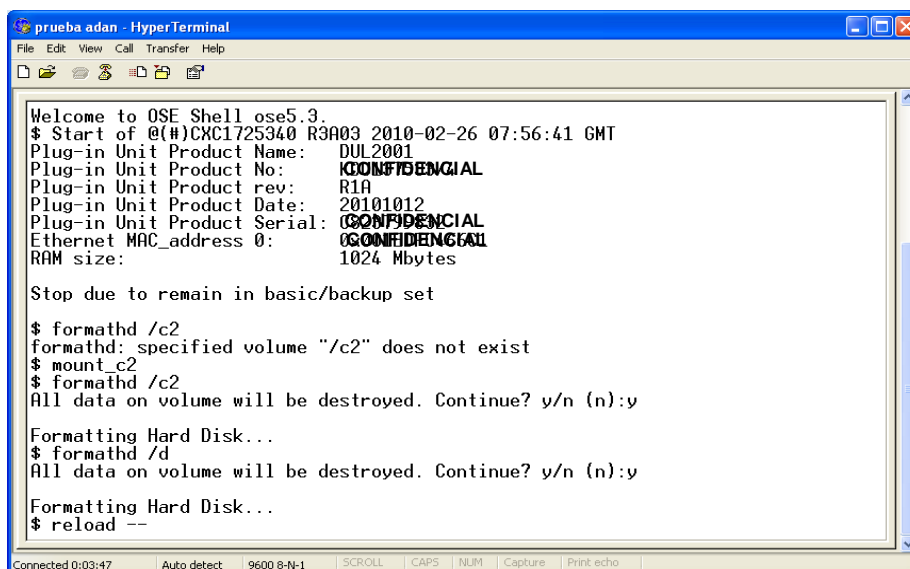
En este capítulo se presentan los resultados del trabajo realizado en campo para la configuración de la radiobase, así como las pruebas funcionales de esta una vez que esté operando.

6.1 Configuración de la radiobase

Como se reviso anteriormente, la BBU es el cerebro de la radiobase, así que es donde se realiza la carga de datos para el sitio. La configuración de una BBU se hace mediante una conexión de consola (local), en la cual se cargan los datos desde una terminal (PC o laptop) hacia la BBU mediante un puerto Ethernet de comunicación que es específico para esa función.

En primer lugar se debía de formatear la BBU debido a que el software con la que venía cargada de fabrica no era el más actual en ese momento y ello acarrearía problemas de funcionamiento, para después cargarle el software más actualizado. Esto se conseguía usando *Hyperterminal*, que es un programa de emulación de terminal para hacer conexiones telnet por medio de los puertos serie (por ejemplo, COM1) con dispositivos externos.

Mediante una serie de comandos, se formateaban ambas unidades de almacenamiento de software que conformaban la BBU. En la figura 6.1 se muestra la pantalla durante el reseteo de las unidades de almacenamiento.



```
prueba adan - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help

Welcome to OSE Shell ose5.3.
$ Start of @(#)CXC1725340 R3A03 2010-02-26 07:56:41 GMT
Plug-in Unit Product Name: DUL2001
Plug-in Unit Product No: CONFIDENCIAL
Plug-in Unit Product rev: R1A
Plug-in Unit Product Date: 20101012
Plug-in Unit Product Serial: CONFIDENCIAL
Ethernet MAC_address 0: CONFIDENCIAL
RAM size: 1024 Mbytes

Stop due to remain in basic/backup set

$ formathd /c2
formathd: specified volume "/c2" does not exist
$ mount_c2
$ formathd /c2
All data on volume will be destroyed. Continue? y/n (n):y

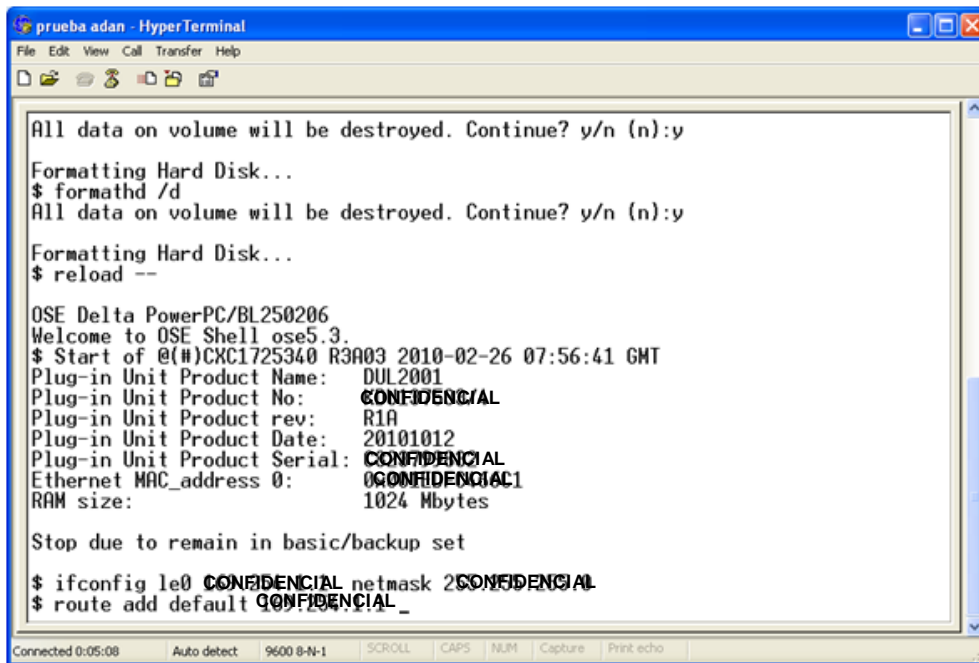
Formatting Hard Disk...
$ formathd /d
All data on volume will be destroyed. Continue? y/n (n):y

Formatting Hard Disk...
$ reload --

Connected 0:03:47 Auto detect 9600 8-N-1 SCROLL CAPS NUM Capture Print echo
```

Figura 6.1 Reseteando las unidades c2 y d.

Una vez formateadas ambas unidades, se realizaba un *reset* a todo el equipo para que se reconocieran los cambios que acababan de realizarse, para después empezar a cargar todo el software. Debido a que toda la información previa con la que venía la BBU era borrada, es necesario volverle a cargar la IP estática que debe llevar de fábrica y que es con la que se realizaba la conexión para los siguientes pasos. En la figura 6.2 se muestra la pantalla cuando se carga dicha IP.



```
prueba adan - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
All data on volume will be destroyed. Continue? y/n (n):y
Formatting Hard Disk...
$ formathd /d
All data on volume will be destroyed. Continue? y/n (n):y
Formatting Hard Disk...
$ reload --
OSE Delta PowerPC/BL250206
Welcome to OSE Shell ose5.3.
$ Start of @(#)CXC1725340 R3A03 2010-02-26 07:56:41 GMT
Plug-in Unit Product Name: DUL2001
Plug-in Unit Product No: CONFIDENCIAL
Plug-in Unit Product rev: R1A
Plug-in Unit Product Date: 20101012
Plug-in Unit Product Serial: CONFIDENCIAL
Ethernet MAC_address 0: CONFIDENCIAL1
RAM size: 1024 Mbytes
Stop due to remain in basic/backup set
$ ifconfig le0 CONFIDENCIAL netmask 2CONFIDENCIAL
$ route add default CONFIDENCIAL_
Connected 0:05:08 Auto detect 9600 8-N-1 SCROLL CAPS NUM Capture Print echo
```

Figura 6.2 Cargando la IP de acceso en la BBU.

Después, se procedía con la carga del software más actual que debía llevar la BBU, para ello se utilizaba un programa (*FILE ZILLA SERVER*), que fungía como gestor de transferencia de archivos entre terminales, y que servía para compartir varios archivos simultáneamente con un alta tasa de transferencia de datos teniendo ambos ordenadores o terminales conectados localmente. Otra de las ventajas de usar este gestor es está hecho para salvaguardar la privacidad en ordenadores con varios usuarios, permitiendo restricciones como filtros de IP y códigos de seguridad para los usuarios.

El software de los dos discos *c2* y *d* de la BBU se transferían desde la laptop hasta la BBU adjuntado en el gestor toda la información de origen y copiándola al destino, que era la BBU.

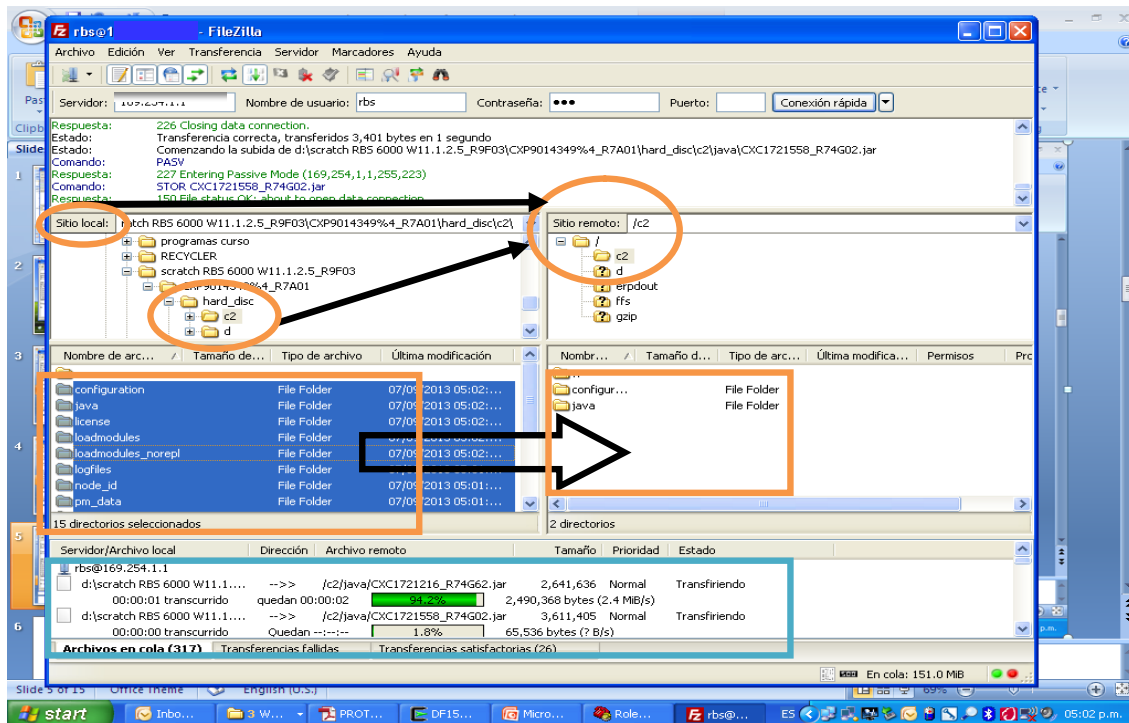


Figura 6.3 Transfiriendo una copia de los discos c2 y d a la BBU.

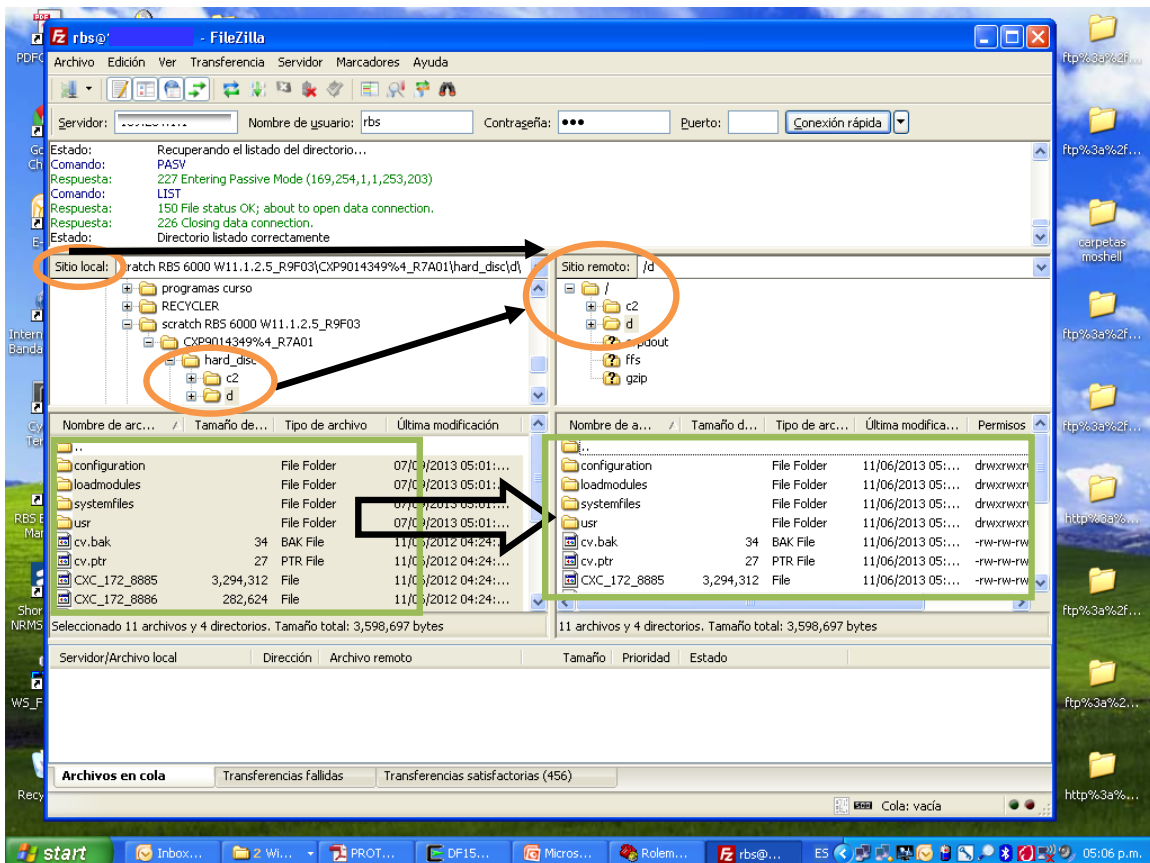


Figura 6.4 Transferencia de discos c2 y d completada.

Como se puede apreciar en la Figura 6.3 y la Figura 6.4, la fuente o sitio local era la laptop, pues de esta se descargaba el software actualizado que requería la radiobase. En el programa, es el sitio remoto que era el destino de la información descargada de la laptop, básicamente se hacía una copia exacta de las dos unidades de memoria desde la laptop a la BBU. Ya con esto la BBU contenía el software para que pueda ser configurado con los parámetros operativos específicos de cada sitio en cuestión.

Como en cualquier comunicación vía consola con un dispositivo en red, se configuran las IP de acceso en la laptop para que esta pueda tener acceso localmente a la BBU para que con ello se pueda cargar los datos restantes y se puedan también hacer pruebas de gestión y funcionamiento.

En la figura 6.5, se muestra la pantalla donde se hace la definición de la IP en la laptop con la cual se puede comunicar con la BBU.

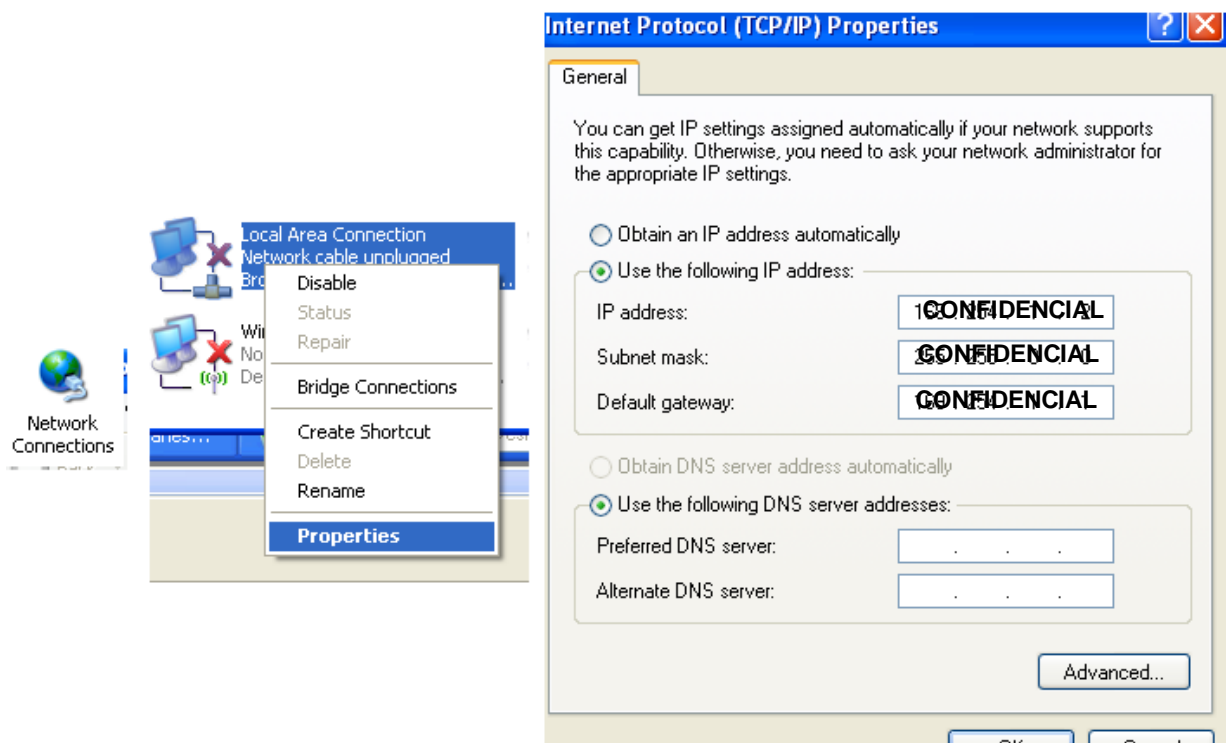


Figura 6.5 Configuración la IP de la laptop para conectarse a la BBU.

Después se procedía con la carga de datos para la definición de tipo de gabinete donde se instala la BBU, pues en una radiobase, la BBU es el módulo encargado de transmitir la información, no sólo concierne a la parte del servicio de telefonía móvil, sino también a las señales internas del sitio, tales como alta temperatura, niveles de alto y bajo voltaje, alarma de intrusión no permitida, falla en algunos de los módulos asociados en la función del gabinete, alarmas externas, etc.

Sin embargo, cada fabricante no maneja un solo tipo de gabinete, sino que tiene una gama de estos que sirven para adecuarlos a las condiciones del sitio, tales como sitios INDOOR o los que se encuentran en contenedores o *shelters* donde toda la parte eléctrica y el control de clima son proporcionadas por estos; o sitios OUTDOOR, los cuales son al aire libre y se deben considerar gabinetes con planta de alimentación y conversión de energía, así como un modulo de clima artificial, integrados dentro del gabinete. Por lo tanto se le debe configurar el tipo de gabinete a usar en el sitio en cuestión para que la BBU sepa en qué escenario se encuentra operando y así reconozca a las unidades auxiliares del gabinete. En la figura 6.6 se muestra la pantalla donde se configuran los parámetros del gabinete.

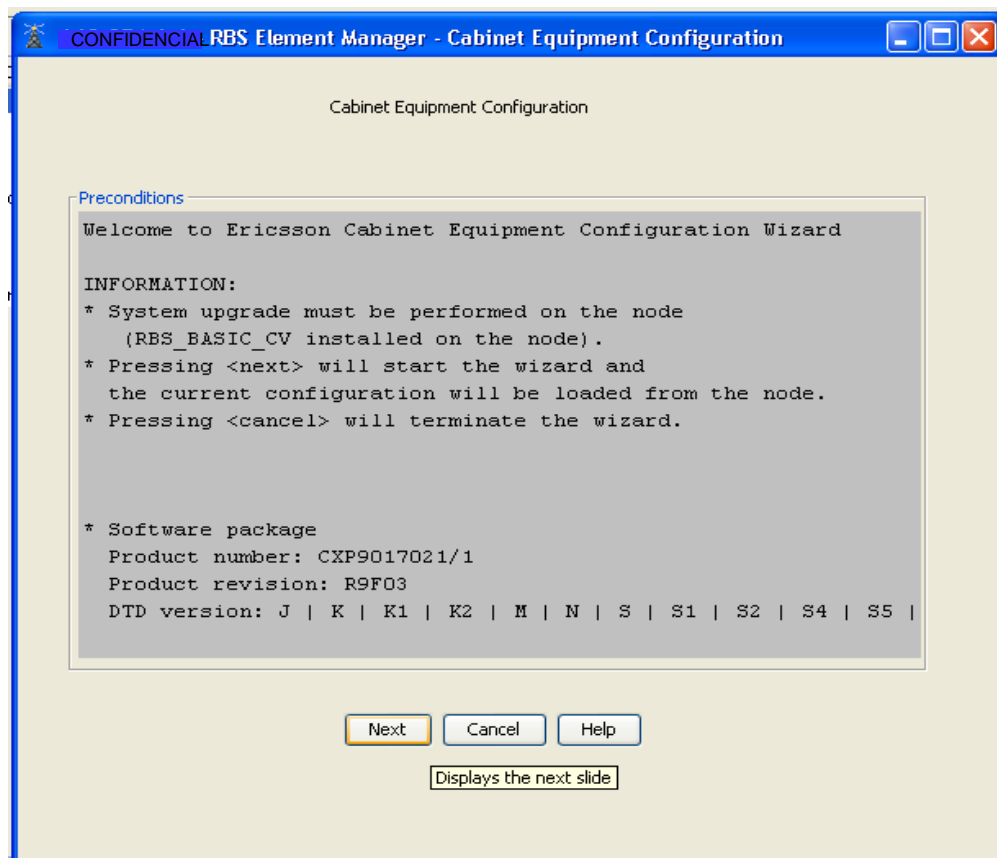


Figura 6.6 Configuración de los parámetros del Gabinete.

Posteriormente, se procedía a cargar tanto la IP privada que debía llevar el sitio así como las direcciones del ruteo IP que eran definidas por la parte de optimización, y que por lo mencionado antes, delimitaban la ruta en la red analizada y establecida por ellos, para que en la fase de implementación, a su vez, se le configurara a la nueva BBU y que con ello al nuevo nodo IP creado se definiera su enrutamiento IP, por el que se va a comunicar con la red móvil. En la figura 6.7 se muestra la pantalla de la configuración de las direcciones de IP antes mencionadas.

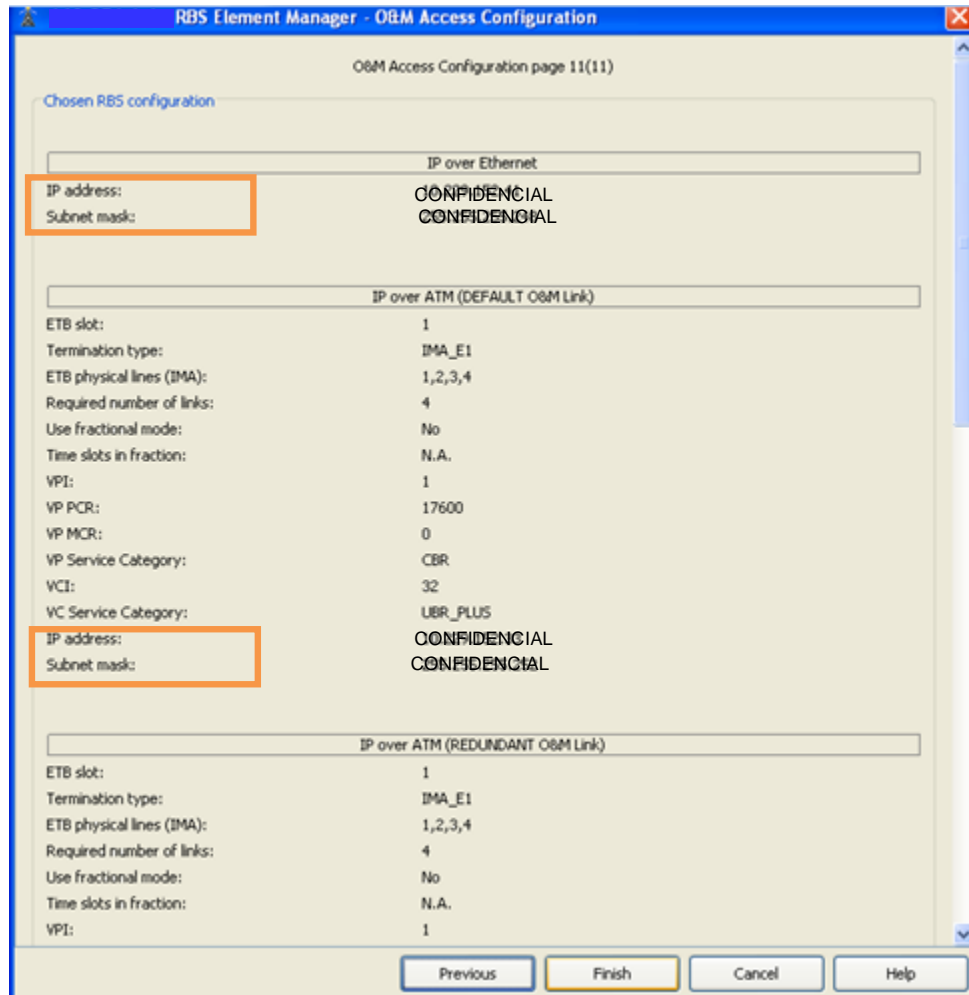


Figura 6.7 Configuración de los parámetros del ruteo IP .

El siguiente paso era configurar el sistema radiante y los dispositivos que lo conformaban. En esta parte se configuraban parámetros como: cuántos sectores iba a llevar ese sitio, los tipo de antena que llevaba, los *tilt* propuestos en la parte de optimización, la potencia a la que iban a radiar los RRU, entre otros. Era importante definir esto a la BBU, puesto que cada sitio lleva sus parámetros particulares y diferentes para cada uno de ellos.

En la figura 6.8 se muestra la pantalla cuando se configura el hardware externo de la radiobase.

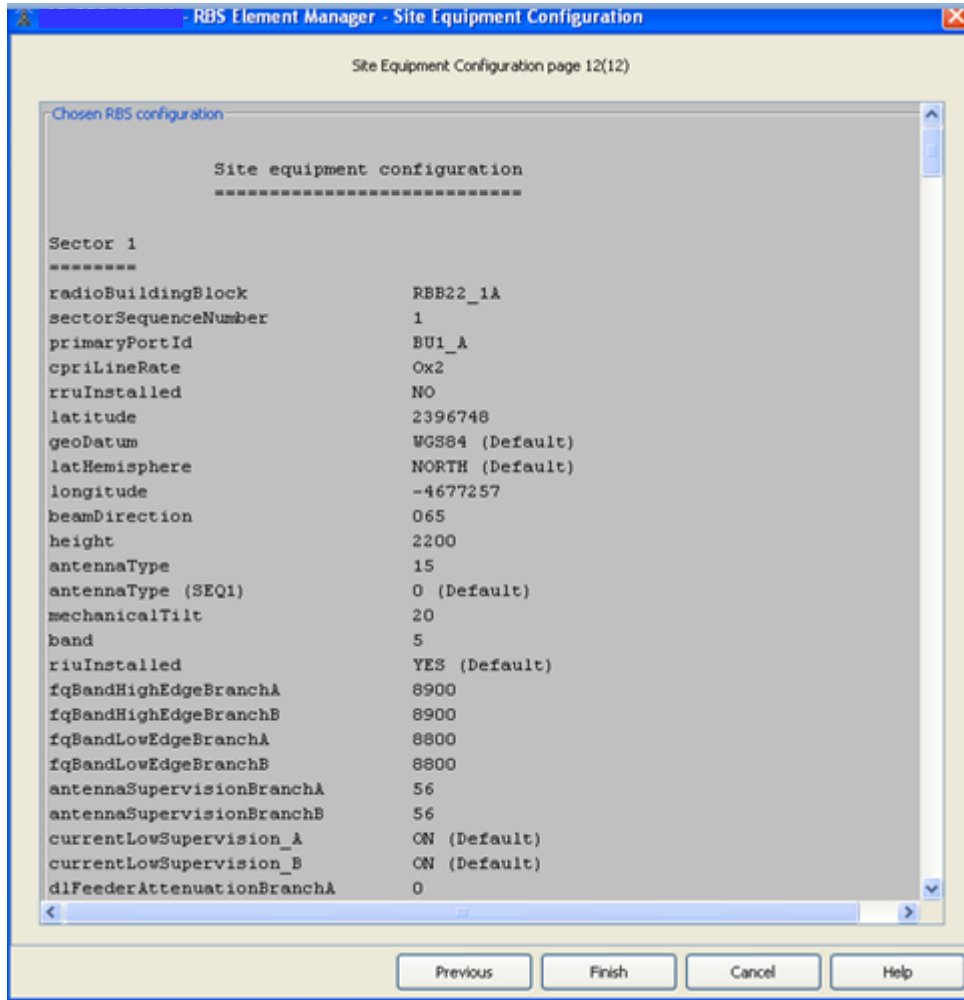


Figura 6.8 Configuración de los parámetros del hardware externo.

Uno de los principales deberes a realizar era verificar el proceso de montaje del sitio, ya que si algún dispositivo fallaba o se dañaba durante la instalación, se debía reemplazar antes de la finalización del montaje. El montaje en el sitio no se podía quedar con alguna falla de hardware, pues afectaría la operación del mismo.

6.2 Pruebas de Transmisión y gestión remota de la radiobase

Cuando el montaje estaba terminado, toda la configuración local del sitio estaba completada, y todos los dispositivos que conformaban el sitio quedaban funcionando correctamente, se procedía a conectar la BBU con el equipo de transmisión del cliente, ya fuera la microonda(en el caso de radio-enlace) o por ONT (en caso de transmisión por fibra), y se realizaban la pruebas de TX para saber si era posible establecer la comunicación entre el nuevo sitio y la red. Como cualquier otro sistema computacional, se hacía uso de las pruebas de envió de un ping o señal de prueba hacia una dirección IP destino, que era un punto en la red con la que se quería enlazar.

Para saber qué puntos de acceso tenía que verificar, hacia uso de la tabla de ruteo de red que se generaba a partir de los análisis de ruteo IP , y que es donde se almacena la información de la ruta sobre la red, es decir de los siguientes saltos IP dentro de la red conmutada. Esta constituía uno de los principales deberes que realizaba la parte de Optimización y que en base a su estudio de campo era la ruta más óptima. En la figura 6.9 se muestra un ejemplo de tabla de ruteo en un sitio nuevo.

```

List OM Channel Configuration Data
-----
Standby Status = Master
Local IP = 255.255.255.255
Local Mask = 255.255.255.255
Peer IP = 255.255.255.128
Peer Mask = 255.255.255.128
Bearer Type = IPV4
Binding Route = No
Binding Secondary Route = No
Check Type = NONE
User Label = NULL
(Number of results = 1)

---  END

+++  MBTS-HMEX1301      2016-03-04 16:10:54
O&M  #1100
%%LST IPRT:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

```

Route	Slot No.	Subboard Type	Port Type	Port No.	Route Type	VRF Index	LOCAL IP	Mask	Next Hop IP	Preference	Description Info
01	7	Base Board	NULL	NULL	Next Hop	0	255.255.255.255	255.255.255.255	10.201.33.17	60	SAEGW CORE MEGACENTRO
02	7	Base Board	NULL	NULL	Next Hop	0	255.255.255.255	255.255.255.255	10.201.33.17	60	SAEGW CORE GUADALAJARA
03	7	Base Board	NULL	NULL	Next Hop	0	255.255.255.128	255.255.255.128	10.201.33.17	60	RNC91
04	7	Base Board	NULL	NULL	Next Hop	0	255.255.255.128	255.255.255.128	10.201.33.19	60	11000 NEW

Figura 6.9 Ejemplo de tabla de Ruteo de una radibase.

Como se menciono anteriormente, en redes se hacen segmentaciones de la red mediante el uso de las VLAN, es decir se generen subredes dentro de la misma red conmutada separadas de manera lógica, y que dicha segmentación contiene a los distintos recursos de la red que se requieren y que son definidos administrativamente. Con esto se agrupa un conjunto de nodos que nos establecen una ruta de acceso o una conexión dedicada, que es lo que se necesita para hacer la integración de la nueva radiobase a la red conmutada de telefonía móvil.

En base a esto, la parte de optimización definió estas subredes virtuales, para que se estableciera el enrutamiento del nuevo sitio, por ende en cada segmento de la red donde se diseño la ruta, definió su respectiva VLAN, las cuales nos servían para enlazar nuestra radiobase.

En la siguiente figura, se muestra la direcciones IP privadas de los siguientes saltos IP donde va ir la transmisión de la radiobase, pero donde se definieron las VLAN que sirven para separar esta ruta de acceso de los demás sistemas que intervienen en cada salto IP. En la figura 6.10 se muestra la pantalla donde se muestran las VLAN asignadas en un sitio.

```

%%LST VLANMAP:;%
RETCODE = 0 Operation succeeded.

List Next Hop VLAN Mapping Configuration
-----
VRF Index  Next Hop IP      Mask           VLAN Mode      VLAN ID  Set VLAN Priority  VLAN Priority  VLAN Group No.
0          10.2.255.255    255.255       Single VLAN    808      Disable           NULL          NULL
0          10.3.255.128    255.128       Single VLAN    1608     Disable           NULL          NULL
(Number of results = 2)

```

Figura 6.10 Definición de VLAN para establecer la segmentación lógica de la red.

Y mediante un programa propiedad de la compañía proveedora de los equipos se hacían las pruebas de ping hacia los puntos en la red definidos en la tabla de ruteo. También en la figura 6.11, en la parte de abajo se muestra como se ocupa la conmutación por paquetes en la transmisión de la radiobase con la red.

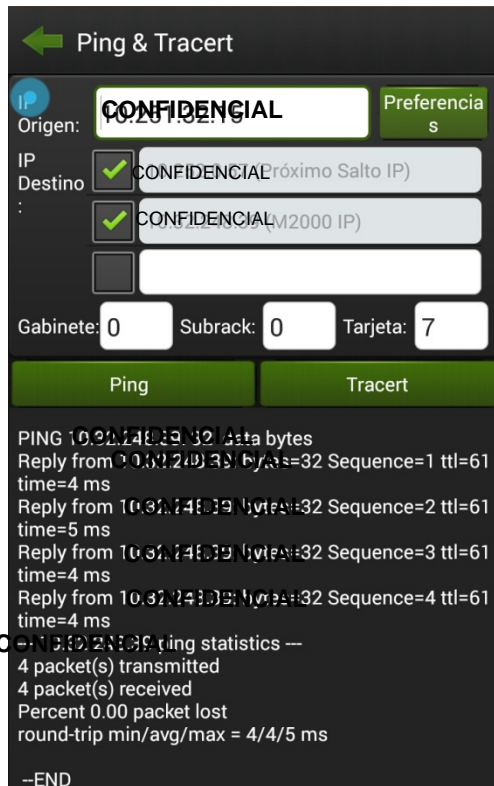


Figura 6.11 Realización de la prueba de transmisión.

Si en algún punto el ping no respondía la prueba, el área de transmisión de la compañía proveedora del servicio móvil, debía encontrar en la parte de TX la falla que ocasionaba la perdida de la transmisión; esta podía ser, desde físicamente si el puerto o equipo de TX del siguiente punto en la red no estaba habilitado o simplemente algún problema en la configuración local, o la que se le había cargado al equipo de transmisión del siguiente salto IP.

Habiendo resuelto lo anterior o no encontrando falla alguna, significaba que el nuevo sitio tenia gestión por parte de compañía proveedora del servicio y que estaba listo para su integración a la red de telefonía móvil. En esta última parte se contaba con el apoyo del departamento de control y mantenimiento remoto de sitios, conocido como NOC. Este se encarga de cargar las licencias del sitio, software y parámetros complementarios para agregar el sitio a la red.

Una vez que el NOC terminaba con la integración del sitio y este ya podía empezar a operar, se procedían a la verificación de los servicios que proveía a fin de medir si cumplía los requerimientos funcionales para los cuales fue desarrollado.

6.3 Pruebas funcionales de la radiobase en operación.

Los sitios implementados LTE deben cumplir con una velocidad mínima de transferencia de datos para ser aceptados de conformidad por la compañía proveedora del servicio y pueda operar en su red celular.

La verificación del *Throughput* constituye el parámetro funcional más importante a medir de la nueva radiobase, debido a que este representa la velocidad real de transporte de datos a través de una red de telefonía móvil, el cual normalmente se mide en bit/s o múltiplos y siempre será inferior al ancho de banda(*bandwidth*). Midiendo la capacidad del nuevo nodo, se verifica si cumple con los objetivos para los cuales fue diseñado e implementado.

Cada compañía proveedora del servicio estipula los rangos mínimos a los cuales debe de correr esta prueba, según la tecnología del nuevo sitio. Para el caso de LTE se solicitaba que se cubrieran, al menos en los tres sectores, los siguientes valores en la velocidad de *Uplink* y *Downlink* en una red móvil. En la figura 6.12 se muestra un tabla ejemplo donde aparecen los rangos mínimos que debe de cumplir el nuevo sitio.

PRUEBA	Downlink	Uplink
LTE 10/15 Mhz SIM tope 20000kbps/8000kbps	19000	6104
LTE 10 Mhz SIM abierta MIMO 2X2 Región 2,3,4,6,9 [referencia]	29190	6104
LTE 15 Mhz SIM abierta MIMO 2X2 Región 1 [referencia]	44108	9915

Figura 6.12 Rangos establecidos para la prueba de *Throughput*.

Para lo anterior era necesaria una BAM 4G y una computadora portátil para probar el servicio, debido a que la segunda no tenían la limitante de procesamiento de datos en su hardware; misma que si presentaban los celulares de ese entonces, en los que sólo los de gama alta y de más alto costo podían conseguir la velocidad de transmisión de datos que se solicitaban. En la figura 6.13 se muestra la pantalla donde se conecta la laptop a la red LTE usando una BAM.

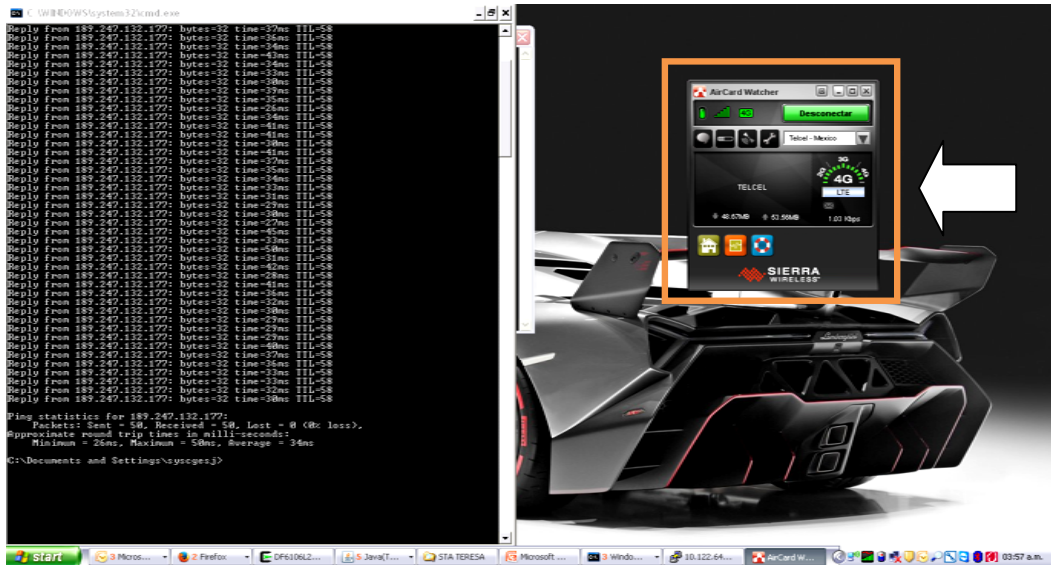


Figura 6.13 Conexión a la red LTE con el uso de una BAM.

Primero, el cliente pedía la utilización de una herramienta de su propiedad que servía para medir la capacidad del sitio, que establecía en sus resultados si los valores de *uplink* y *downlink* eran los adecuados. En caso de ser positivos, el sitio podía ser aceptado. En la figura 6.14 se muestra una pantalla de este programa.

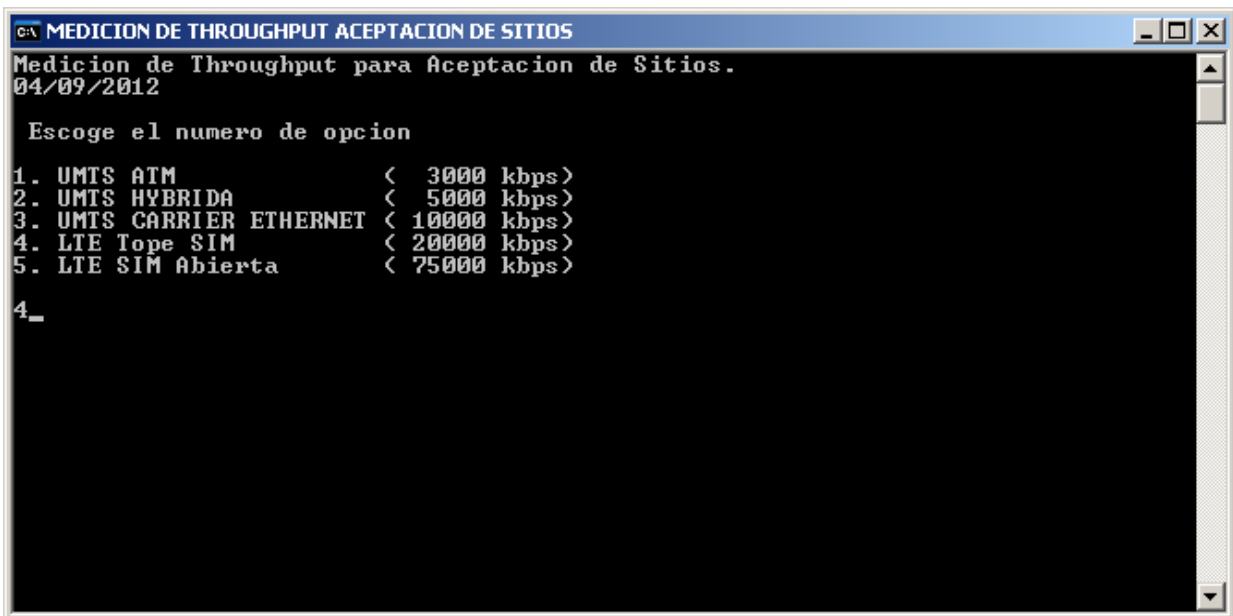


Figura 6.14 Herramienta de medición del Throughput.

La herramienta enviaba paquetes de prueba a servidores privados de la red de la compañía proveedora del servicio móvil. Esta medía la tasa de velocidad de conexión de un nuevo nodo en carga/descarga de datos y arrojaba el resultado comparándolo versus el rango mínimo establecido por ellos. De ser exitosa la prueba, la herramienta mostraba que el sitio era aceptado en la prueba de *Throughput*, en caso contrario también mostraba que la velocidad del sitio no era la suficiente y por lo tanto el nuevo sitio era rechazado. Bajo este último escenario, se reportaba al área de Optimización para que revisara el enrutamiento diseñado por ellos, pues la causa probable de la baja tasa de transferencia de datos era provocada por el alto tráfico del servicio en algunos sitios vecinos a los cuales se conectaba el nuevo sitio y que ocasionaban que una determinada ruta se saturase. Ante ello, se realizaba un nuevo enrutamiento en los nodos donde el tráfico fuera menor y proporcionara un mayor ancho de banda para esa nueva ruta de acceso a la red. En la figura 6.15 se muestra el resultado de la prueba de Throughput usando el programa proporcionado por el cliente.

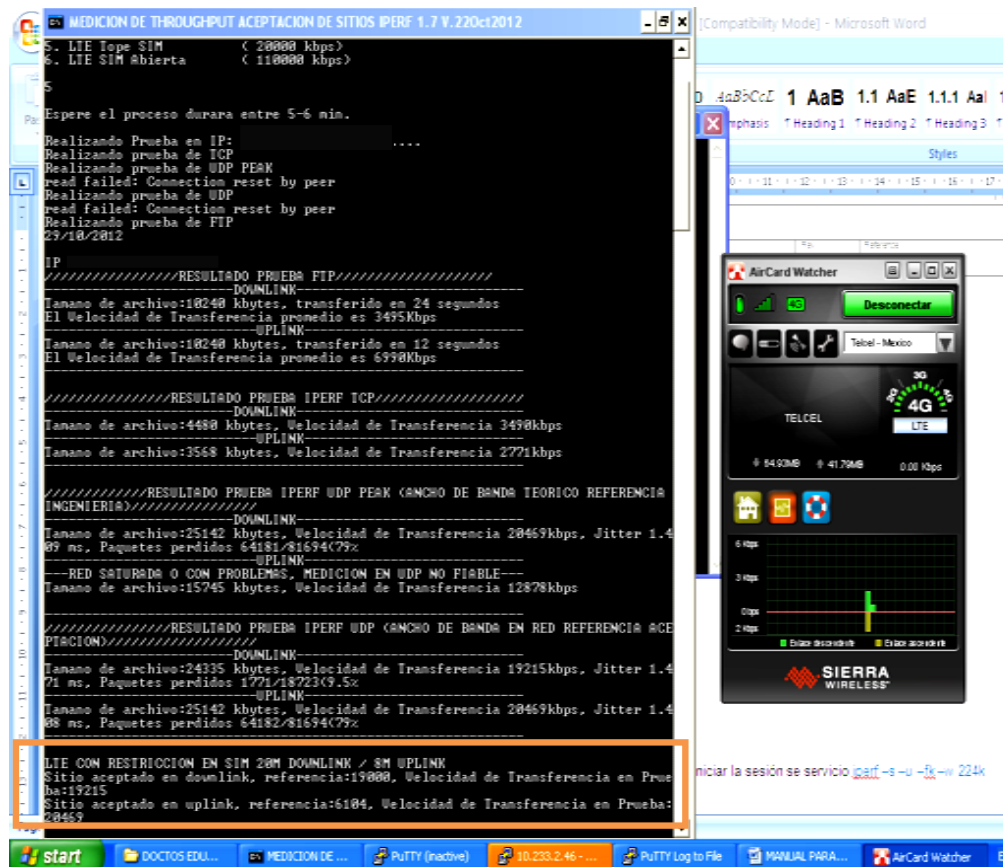


Figura 6.15 Resultado de la prueba de Throughput con la herramienta.

Si la prueba anterior era exitosa, se hacía la misma medición de velocidad de conexión de la computadora desde algún servidor de acceso público de internet para hacer este tipo de mediciones (como *Speedtest.net*). En la prueba también se enviaba un ping de prueba a dicho servidor y se medía la capacidad de carga y descarga de dicho ping. Usualmente, si la primera prueba era exitosa, esta segunda prueba también, sin embargo, en ambas dependía de lo congestionada que estuviera la red. En la figura 6.16 se muestra un ejemplo del resultado obtenido al haber hecho una prueba de ping en un servidor público de internet.

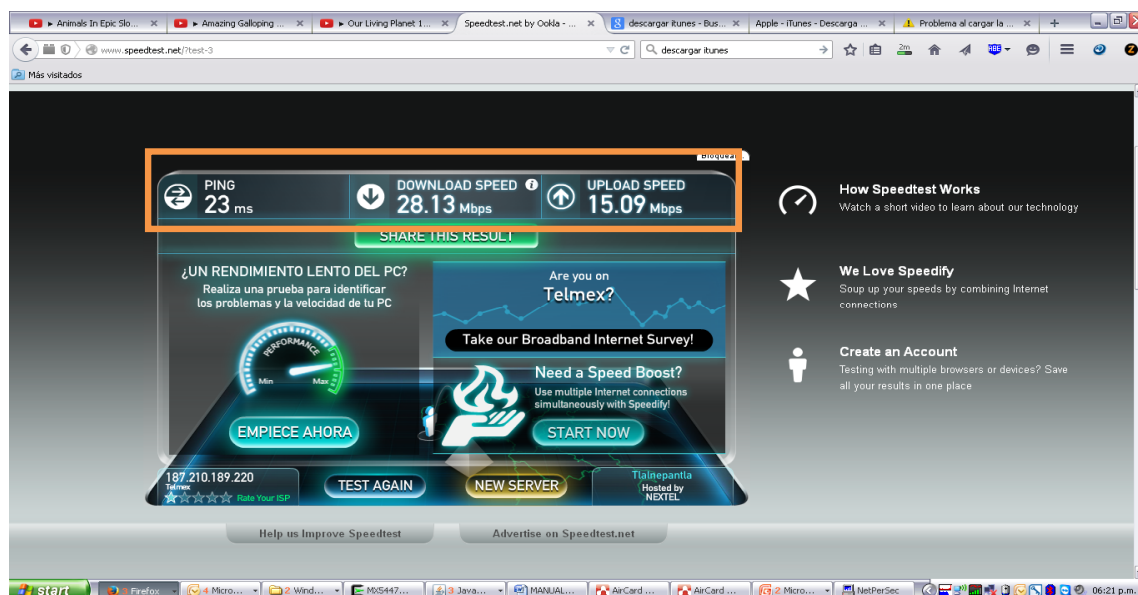


Figura 6.16 Prueba de ping desde Internet.

Después, para probar la velocidad tanto de *Uplink* como *Downlink* por separado, se utilizaba un programa que mide la velocidad de transferencia de información en internet, llamado *NetPerSec*. Para el caso de *Downlink*, se realizaba una descarga de un video en HD de internet debido a que exige grandes tasas de velocidad de conexión, condición idónea para medir la capacidad del nuevo sitio. En la figura 6.17 y 6.18 se muestra el ejemplo del resultado de la prueba de Downlink y Uplink respectivamente usando el programa antes mencionado.

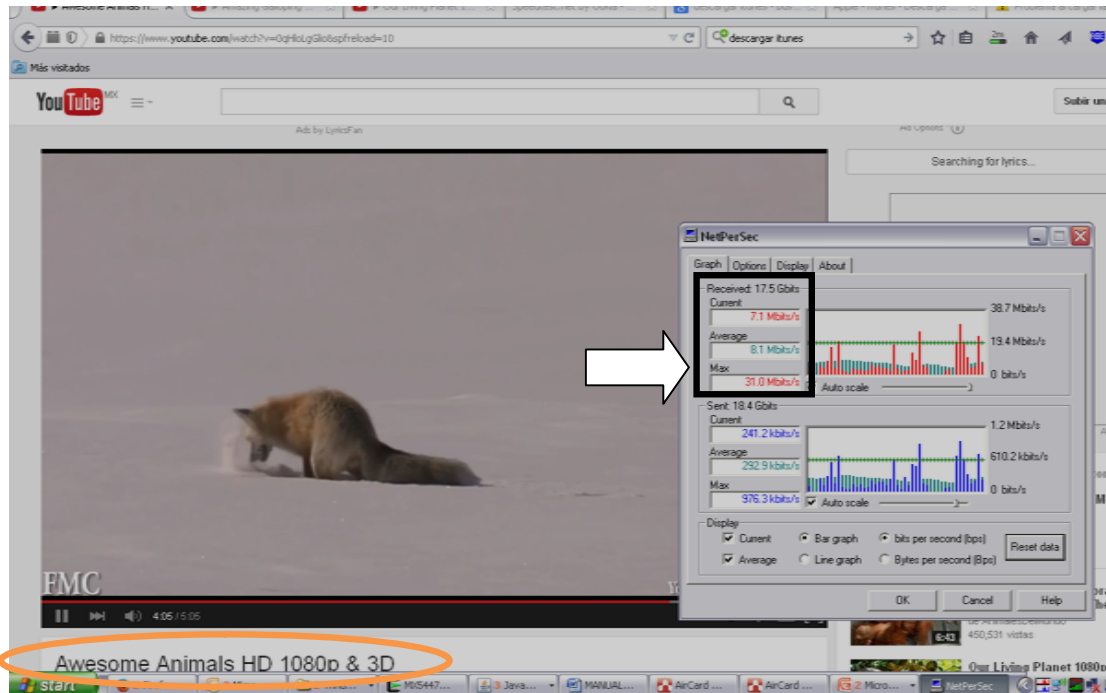


Figura 6.17 Prueba de Downlink .

Para el caso de *Uplink*, al igual que en caso anterior, se requería de subir un archivo a la nube lo suficientemente grande para demandar más velocidad de carga. Se enviaba un correo electrónico adjuntándole un archivo de tamaño considerable.

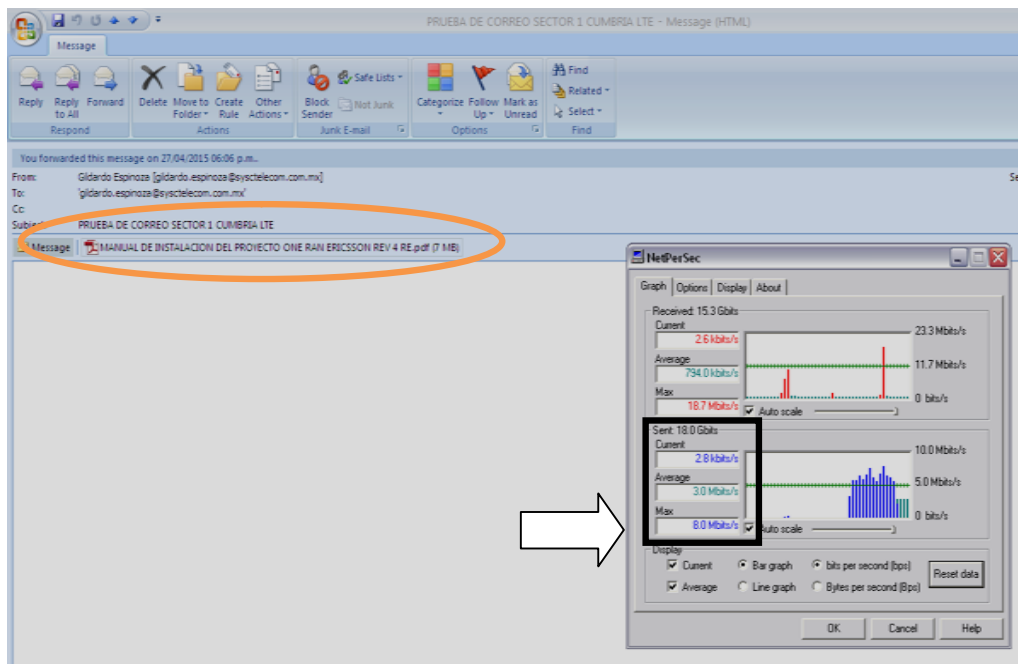


Figura 6.18 Prueba de Uplink.

Por último, cabe mencionar que todas estas pruebas debían realizarse por cada sector, para comprobar que la radiobase cumplía totalmente la velocidad de *Throughput* y no sólo parcialmente. Todos los sectores debían quedar funcionando correctamente. En la figura 6.19 se muestra la pantalla de la mediación por separado de los sectores que conforman una radiobase.

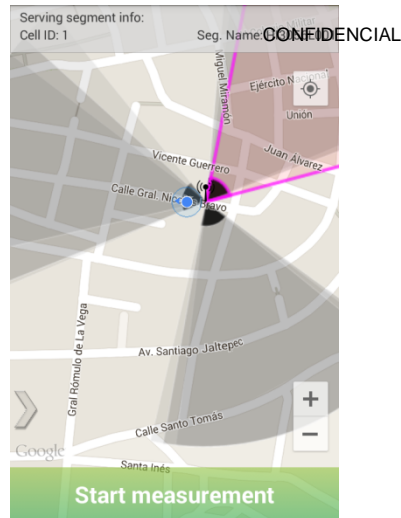


Figura 6.19 Pruebas funcionales de los 3 sectores de una radiobase.

Si alguno de los sectores no cumplía con la velocidad mínima, se rechazaba todo el sitio hasta que se hicieran modificaciones técnicas para que alcanzaran los rangos deseados. En base a mi experiencia, el problema más común que generaba la baja velocidad de *Throughput* era la congestión de la red, pues como se menciona anteriormente, en enlace del nuevo sitio o nodo con la red de telefonía móvil y de esta con la nube de internet, dependía de sitios intermedios, y si en alguno de estos se presenta un gran tráfico de datos o sus recursos para transmitir no sean los suficientes para soportar la demanda de nuevos nodos, el ancho de banda se saturaba, lo que ocasionaba que los recursos disponibles para el nuevo sitio fueran insuficientes. Bajo este escenario, se reportaba al área de optimización, para que analizara la ruta y si se detectaba esta falla, propusiera otra ruta más óptima la cual no presentara problemas de saturación del servicio. Contando con un ruteo mejorado normalmente los niveles de velocidad de *Throughput* aumentaban y se conseguían los rangos mínimos solicitados por el cliente y este aceptaba la implementación de la radiobase. En ese punto para nuestros alcances, se concluían las labores y responsabilidades en dicho sitio.

Sin embargo, también los problemas en la señal se podían derivar de factores físicos en el sitio nuevo. Por lo tanto, se hacía una revisión de la configuración, después se hacía una revisión de los dispositivos asociados en el sector.

Conforme a lo antes estipulado, se tiene que cumplir los requisitos marcados en la ingeniería de diseño, en la cual analizo el mejor valor de los parámetros acorde a las necesidades en ese sitio, por lo cual dicha revisión constituía uno de mis principales deberes y debía comprobar que se ejecutaran a cabalidad. Cualquier desviación a los parámetros señalados por ingeniería podrían ocasionar fluctuaciones que no estaban consideradas y que a la larga provocarían huecos en el área de cobertura.

Otro aspecto que afecta considerablemente al nivel de la señal emanada por la radiobase es tener niveles VSWR en rangos no aceptables. Durante la implementación del sitio, el supervisor debía verificar que se tuvieran las precauciones pertinentes en el momento de instalar los *jumper*, puesto que alguna desperfecto en el jumper aumentaría el valor de VSWR. Por ejemplo, se evitar doblar los *jumper*, si los *jumper* no eran de medida exacta entre la antena y el RRU, se debían de resguardar dicho exceso formando rollos, tratando de no doblar el jumper haciendo vueltas lo más suave como sea posible. También es importante apretar correctamente los conectores que se conectan en los puertos correspondientes del RRU y la antena, así como de aislar estos para protegerlos de la intemperie y evitar las filtraciones de agua o polvo. Ello conlleva realizar el debido recubrimiento con cintas de hule plásticas y vulcanizadas. El no cubrir correctamente significaría que aumenten las limitantes físicas del sistema radiante lo que eleva el valor de VSWR.

Si se encontraba una falla técnica, se corregía, pero antes se verificaba que todo el hardware y su configuración estaban correctos. Si persistía la baja velocidad del servicio, aun con todo los problemas en el montaje solucionados y el cumplimiento correcto de los parámetros establecidos para el sitio, se revisaban factores externos, tales como interferencias en la radiación de la antena por algún objeto físico de gran tamaño cercano al sitio que afectara la línea de vista; o que el sitio sufriera interferencia con algún otro sitio cercano. En caso de encontrar un problema, se pedía apoyo al área de Optimización para que se hicieran cambios físicos o técnicos para librar dicha falla.

Para detectar la interferencia de radiobases vecinas, se realizaba la prueba de handover, dando vueltas alrededor de sitio la terminal de prueba se debía de enganchar a la radiobase con el sector que le correspondía por ubicación de la terminal, este se verificaba mediante el Site-ID y este se veía cuando se usaba la terminal de prueba en el modo de ingeniería o de servicio. En la figura 6.20 se muestra un ejemplo de la prueba de handover usando la terminal de pruebas en modo de ingeniería.



Figura 6.20 Prueba de Handover usando la terminal en modo de ingeniería

Si al estar cerca de la radiobase la terminal se enganchaba a otro nodo, significaba que dicho sitio estaba causando la interferencia con el nuevo sitio, por lo que en ese escenario le correspondía revisar los parámetros de ingeniería no solo del nuevo sitio, sino también de los vecinos para hacer modificaciones físicas en los sitios implicados a modo de que se distribuyera de forma eficiente la cobertura de cada sitio. Bajo estas condiciones, cuando se decidía hacer un cambio en el tilt para corregir el problema, se tenía que realizar con precaución. Aunque variando los valores del tilt se consigan reducir problemas tales como las interferencias con radiobases vecinas, también puede reducir la cobertura, especialmente en lugares indoor.

El cambio de altura de la antena se realizaba en casos extremos donde no se puede alcanzar el mismo efecto variando el *tilt* o la potencia ya que implica un mayor trabajo y recursos para realizar. Los ajustes de potencia se hacen de forma remota, conectándose remotamente con la BBU la cual controla las funciones de toda la radiobase. Modificando la potencia radiada se consigue aumentar o reducir la cobertura, sin embargo esto solo es posible una vez que se haya instalado en su totalidad el nuevo nodo y este operativo.

Para concluir, no cabe más que aclarar que todos estos problemas eran inherentes en la ejecución de la solución, así que no había más que estar al pendiente de todas las potenciales fallas que pudiesen ocasionar un problema y tratar de resolverlas en el menor tiempo posible. Hasta no cumplir con el rango de velocidad deseado no se aceptaba el sitio.

Capítulo 7. Conclusiones

En base a los resultados antes mostrados, cuando las pruebas funcionales daban los rangos aceptados por la compañía proveedora del servicio móvil, se aceptaba completamente el nuevo sitio para la Tecnología de LTE, por lo que este respondía directamente la falla de cobertura en la área geográfica para la cual fue desarrollado, cumpliendo su propósito de implementación. Por supuesto, como se mencionó antes, el proceso de Optimización de la red no acaba con la implementación de la nueva radiobase, debido a se debe ir ajustando a la magnitud de la demanda del servicio en dicha área, la cual siempre está en constante cambio; pero al modificar los parámetros técnicos de la nueva radiobase, ésta se puede adaptar a los cambios físicos en la área en la que trabaja.

Durante esta experiencia, puse a prueba mis capacidades y conocimientos como ingeniero, apoyado claramente de muchos de los conocimientos y recomendaciones que se me impartieron durante mi formación profesional que recibí en la Facultad de Ingeniería, y que han cosechado frutos laboralmente.

El conocimiento adquirido en los procesos que llevó la implementación de una radiobase para la Tecnología de LTE, amplió significativamente mi experiencia, aplicándolo lo aprendido en la solución de problemas y toma de decisiones, que sin duda son indispensables en mi desarrollo profesional.

Durante el trabajo que desempeñe, tuve la oportunidad de intervenir en un problema real en el campo de la ingeniería, y que en base de toda un proceso de diseño e implementación de un sitio celular y la colaboración de muchas personas involucradas en las Telecomunicaciones, comprobé que es posible encontrar la vía de solución ante una necesidad tecnológico.

Sin embargo, el área en el que me desempeño se actualiza constantemente, lo que me obliga a mí mismo a actualizarme constantemente.

Finalmente, se cumplió con el objetivo planteado en este informe, ya que fue posible describir el proceso de implementación de una radiobase de acuerdo con los conocimientos y experiencia adquiridos en mi formación profesional y experiencia laboral.

Anexo A. Características de las antenas sectoriales

En este primer anexo se presentan las características principales de las antenas sectoriales, con las cuales se trabaja en la implementación de radiobases para tecnología LTE.

A.1 Diagrama de radiación

El diagrama de radiación o patrón de radiación es una gráfica de la potencia de la señal transmitida en función del ángulo espacial, en ellos podemos apreciar la ubicación de los lóbulos laterales y traseros, los puntos en los cuales se irradia potencia (NULOS) y adicionalmente los puntos de media potencia.

Los diseñadores de antenas se esmeran por reducir al mínimo los lóbulos secundarios, laterales y traseros ya que generalmente son perjudiciales, esto se logra mediante la modificación de la geometría de la antena. Desde el punto de vista formal, el campo electromagnético producido por una antena a gran distancia corresponde a la transformada de Fourier en dos dimensiones de la distribución de cargas eléctricas de la antena. En la figura A -1 se muestra el diagrama de radiación de una antena sectorial

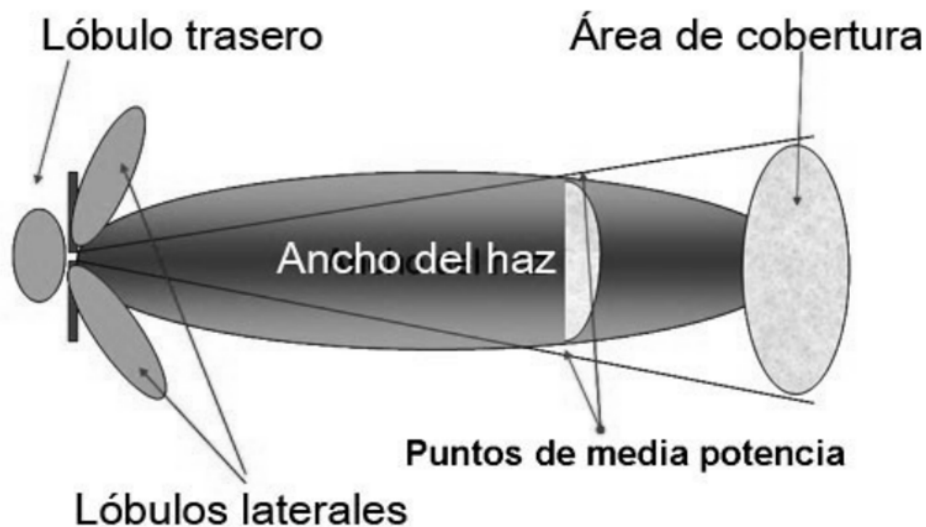


Figura A - 1 Diagrama de radiación de una antena sectorial.

Los diagramas de radiación son volúmenes y como tal se representan en forma tridimensional. Sin embargo, normalmente los diagramas de radiación se representan de forma bidimensional en dos planos, el vertical y el horizontal. Estos

planos son representados en coordenadas rectangulares o en coordenadas polares. En la figura A - 2 se muestra el rango de dispersión de la señal de una antena

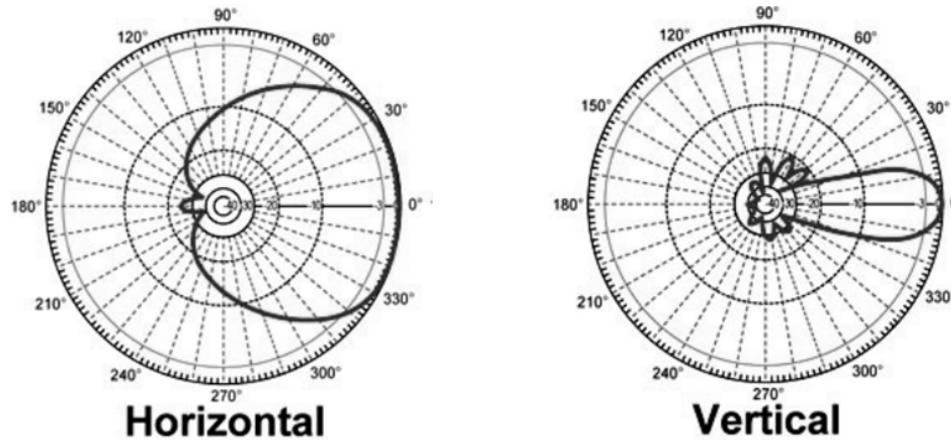


Figura A - 2 Rango de dispersión de la señal en una antena sectorial.

Estos diagramas se muestran los lóbulos principales y secundarios en función de la ganancia según el ángulo que forma el eje de los mismos con el punto emisor. El lóbulo principal que coincide con el eje de la antena, es el de mayor tamaño y alcanza el círculo de coordenadas polares correspondiente a 0dB. El ángulo de radiación está en el lóbulo principal y abarca todo el ancho del lóbulo que tenga una ganancia por encima de 3dB que es lo que se denomina anchura del haz. Los lóbulos secundarios que envuelven al principal disminuyen de tamaño a medida que se acercan al ángulo de 180° y típicamente están unos 20dB por debajo del principal. Todo esto es bajo la suposición del campo lejano.

El campo lejano es la zona de campo alejada de la antena (se produce a una distancia equivalente al cuadrado de la dimensión de la antena) en la que la propagación de los campos electromagnéticos se asemeja a una onda plana cuya densidad de potencia disminuye con el cuadrado de la distancia a la antena.

El ancho de haz a -3dB es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación ha caído 3dB y su valor se expresa en grados.

La directividad o ganancia específica es la capacidad que tiene una antena de concentrar potencia absorbida o radiada en la dirección de máxima ganancia. El ancho de banda es el margen de frecuencias para la cual la antena mantiene sus características.

La relación entre la densidad de potencia radiada por la antena en la dirección útil y la que radia por el lóbulo trasero se conoce como relación del ante/atrás o *Front*

to *Back Ratio*, y es un importante parámetro de diseño de la antena en lo relativo a interferencias.

El ángulo que hace referencia al diagrama de radiación del lóbulo principal en el plano horizontal de la antena se denomina *azimut* y para el diagrama de radiación vertical se denomina "*ángulo de elevación*", se diseña para concentrar el máximo de radiación para aquellos ángulos por debajo de la horizontal, que es donde se agrupan los abonados.

Otro de los parámetros que hay que tener en cuenta es la impedancia característica, que es la resistencia que presenta la antena en la frecuencia a la que ha sido sintonizada, que toma un valor típico de 50Ω .

Para proteger los elementos radiantes de las inclemencias del tiempo y otros agentes como pueden ser los pájaros o insectos se cubren con una carcasa o radomo de un material que permite el paso de las ondas sin afectar a sus propiedades de propagación.

En la telefonía móvil se suelen usar antenas de panel formadas por arrays de dipolos y que funcionan en base a una doble polarización $+45/-45$ o *crosspolar*, que permite tener diversidad en recepción.

Los datos importantes para un ingeniero de diseño de RF son:

- *Input*: son las entradas a la antena. Dice el tipo y cantidad de conectores.
- *Connector position*: Indica en qué posición de panel se encuentran los conectores. En este caso se encuentran en la base del mismo.
- *Frequency Range*: Especifica el rango de frecuencias en el que la antena conserva sus características y en el que debe funcionar.
- *VSWR*: Es la ROE o razón de onda estacionaria que nos indica cuanta parte de la energía enviada por el transmisor regresa al mismo reflejada. Una ROE de 1.5% implica un regreso del 4% de la potencia. Esta suele estar bastante bien controlada en este tipo de antenas para no provocar problemas a los transmisores. Es un parámetro dependiente de la frecuencia.
- *Gain*: Es la ganancia de una antena. Suele ser dependiente de la frecuencia. Aparece como 2x debido a que este tipo de antenas tiene dos entradas, una por cada polarización y que se transmiten al mismo tiempo. Se expresa en dBi.
- *Polarization*: Es la polarización a la que va a transmitir la antena. Lo normal es tener siempre que sea posible antenas con dos polarizaciones, a $+45$ y -45 para así dotar a la señal recibida de diversidad sin necesidad de montar

dos antenas. Se tendrá un conector de entrada por cada polarización que tenga la antena.

- *Front to back ratio, copolar*: Es la relación entre la potencia de la señal que va por el lóbulo principal y la que radia el lóbulo trasero.
- *Half-power beam width*: Es la anchura del haz a -3dB. Se observa en los diagramas de radiación que vienen adjuntos en las características de la antena.
- *Isolation*: Va a indicar el aislamiento entre las entradas del panel. Suele ser dependiente de la frecuencia.
- *Max power per input*: Es la máxima potencia que puede soportar el panel por entrada. Hay que tener en cuenta que una misma antena puede ser utilizada por una conexión en cascada de transmisores de deberán tener en cuenta este parámetro cuando se limita la potencia de los mismos.

A.2 Elementos radiantes en una antena sectorial

Dado lo anterior, se precisa de un arreglo de elementos diferente para cada banda de frecuencia sobre la que se desea transmitir. De este modo se dan distintas configuraciones de antenas base en función de las frecuencias que soportan. Si la frecuencia de trabajo de la antenas múltiplo de otra, cabe la posibilidad de intercalar los elementos radiantes para radiar en ambas dentro del mismo array. La disposición de los elementos radiantes y las fases con las que se transmite/recibe la señal conforman el haz de radiación con el que la antena transmite información a los equipos móviles. La antena debe cumplir una serie de especificaciones que garanticen su correcto funcionamiento:

Impedancia de entrada: Se puede definir la impedancia de entrada de la antena (Z_e) mediante la relación de los fasores de tensión y corriente en el punto de acceso a la misma. La impedancia de entrada de la antena constara de parte real (resistencia) y parte imaginaria (reactancia), sendos parámetros dependientes, en general, de la frecuencia

$$Z = R_a + jX_a$$

Idealmente será la compleja conjugada de la salida que se conecte a la antena, normalmente este valor es de $Z = 50\Omega$ por lo que la componente imaginaria debe ser nula.

Perdidas de retorno: Relaciona la amplitud de la onda reflejada con la amplitud de la onda incidente, debe de tener un valor menor de -14 dB o una ROE de 1.5

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

$$ROE = \text{Ratio de una onda estacionaria} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$RL = 20 \log_{10}(\Gamma) = 20 \log_{10} \left(\frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right)$$

Por otro lado también se deben de tener en cuenta los siguientes parámetros relativos al diagrama de radiación de la antena:

Ancho del haz horizontal: Es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo en el corte horizontal. Su valor típico se encuentra entre los 60° - 65°.

Ancho de haz vertical: Es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo en el corte vertical. Su forma depende del número de elementos en el array, la distancia entre ellos y las amplitudes con las que son alimentados.

Supresión de lóbulos secundarios: Mide el nivel de potencia que hay entre el haz principal y los lóbulos secundarios. El objetivo es minimizar este valor para aprovechar la potencia disponible y radiar la señal dentro del área deseada.

Factor de polarización cruzada: La radiación de una antena en una polarización especificada se denomina polarización de referencia o copolar, mientras que a la radiación en la polarización ortogonal se la conoce como polarización cruzada. El cociente de las potencias contenidas en ambas polarizaciones es el factor de polarización cruzada, una medida de la pureza de polarización.

Ganancia de la antena: La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiara una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

$$G = \eta DG(\text{dBi}) = D(\text{dBi}) - L(\text{dB})$$

donde G es la ganancia, η es la eficiencia y D la directividad de la antena. Expresándola en función de la frecuencia:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e$$

donde G es la ganancia, λ la longitud de onda y A_e el área efectiva de la antena.

Anexo B. Cálculo de la inclinación de la antena o *downtilt*

Dotar de cobertura optima es el objetivo principal de un sistema radiante. Dependiendo de las características y la situación del emplazamiento con respecto al objetivo de cobertura, es muy posible que se necesite aplicar un cierto *downtilt* a las antenas.

Este tipo de cálculos se suele hacer en el mismo replanteo técnico aunque se puede haber hecho un estudio previo sobre plano para ir visualizando los posibles resultados. Aunque existen unas tablas lo ideal es hacer el cálculo a mano.

También se suelen hacer simulaciones de cobertura con herramientas informáticas para ello donde se pueda observar los cambios que se producen al dotar a las antenas de una u otra inclinación.

$$R_{interior}(Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan\left(\alpha(^{\circ}) + \frac{BW(^{\circ})}{2}\right)}$$

$$R_{exterior}(Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan\left(\alpha(^{\circ}) - \frac{BW(^{\circ})}{2}\right)}$$

$$R_{centro}(Km) = \frac{H(m) + c_1(m) - c_2(m)}{1000 \cdot \tan(\alpha(^{\circ}))}$$

$$\alpha(^{\circ}) = \tan^{-1}\left(\frac{H(m)}{1000 \cdot R_{centro}(Km)}\right)$$

$\alpha(^{\circ})$ es el *downtilt* de la antena.

$R_{interior}(Km)$ es el radio interior de la celda.

$R_{exterior}(Km)$ es el radio exterior o de mayor alcance de la celda

$R_{centro}(Km)$ es la distancia al centro de la celda

$H(m)$ es la altura sobre el terreno de la antena

$c_1(m)$ es la cota AMSL del emplazamiento

$c_2(m)$ es la cota AMSL del objetivo de cobertura

$BW(^{\circ})$ es el ancho de haz a -3dB de la antena.

En la figura B - 1 se muestra todos los parámetros antes mencionados ubicados de manera visual, para poder entender cómo se aplican estas formulas:

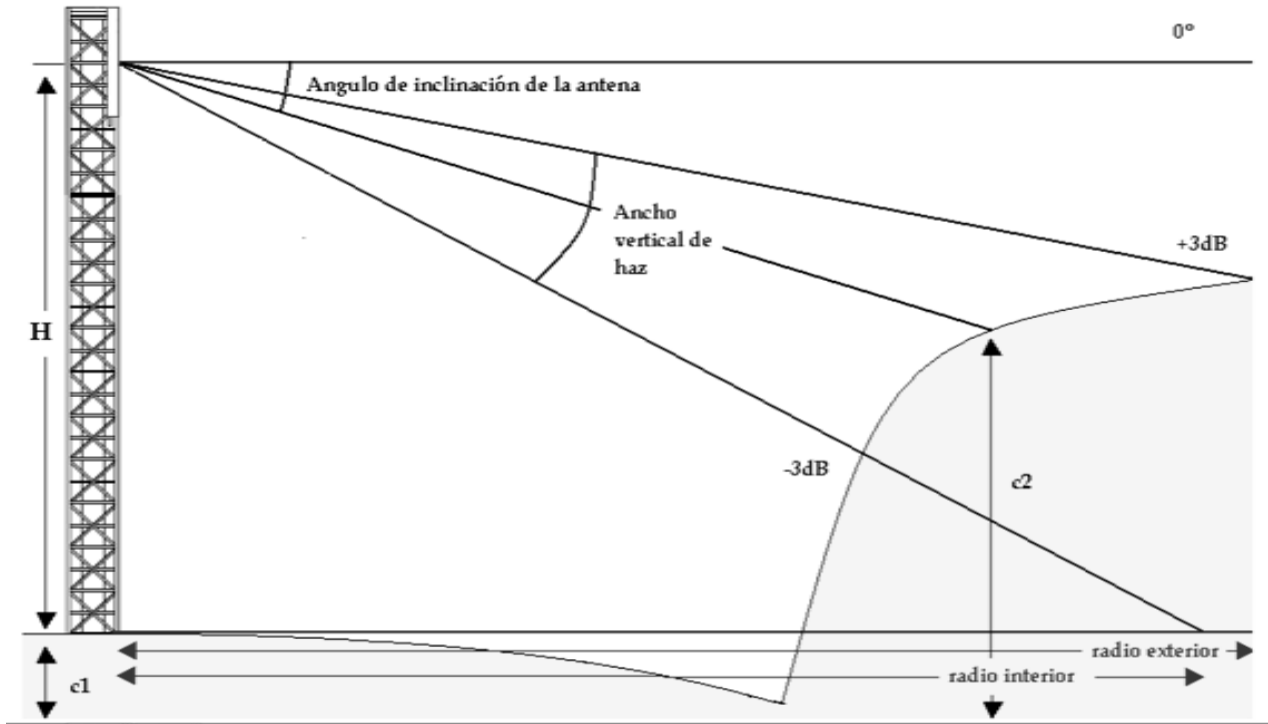


Figura B - 1 Parámetros a considerar en el cálculo del Downtilt.

Si tenemos en cuenta una torre de $H(m)= 40$, con cota $c_1(m)=400$ y un pueblo a $R_{centro}(km)=2$ con cota en su centro $c_2(m)=300$, el cálculo resultaría:

$$\alpha (^{\circ}) = \tan^{-1} \left(\frac{40 + 400 - 300}{1000 * 2} \right) = 4$$

El anterior resultado muestra que habría que dotar a las antenas de una inclinación de 4° para cubrir de forma óptima el área para el servicio.

Ahora calculando los radios interior y exterior con ambos extremos:

$$R_{interior}(Km) = \frac{40 + 400 - 300}{1000 * \tan \left(4 + \frac{7}{2} \right)} = 1063$$

$$R_{exterior}(Km) = \frac{40 + 400 - 300}{1000 * \tan \left(4 - \frac{7}{2} \right)} = 16420$$

En la práctica, la mayoría de los casos el *downtilt* mínimo que se coloca es la mitad del ancho de haz vertical, con idea de no radiar nada hacia arriba.

En la parte frontal se disponen los elementos radiantes. Éstos acostumbran a ser dipolos o parches fabricados en materiales conductores como el aluminio.

Dependiendo de cada fabricante es como se construyen el sistema radiante en una antena, en esto unos muy usados son los parches fractales basados en la geometría del copo de nieve de Koch. Los parches son alimentados de manera diferencial, usando una alimentación individual para cada una de las dos polarizaciones. Los puntos de alimentación están dispuestos según la polarización del parche. Se utilizan dos polarizaciones cruzadas (ortogonales) de $+45^\circ$ y -45° en los puntos de alimentación. Su frecuencia de resonancia, es decir, la frecuencia a la que pueden transmitir los datos depende de las dimensiones en los parches.

En una primera aproximación simplificada se puede definir la frecuencia de resonancia en base a la longitud y la altura sobre el bastidor o plano de masa en la que se posicionan. Dada c la velocidad de propagación de las ondas en el vacío, L la longitud del parche, h la altura del parche y ϵ_e la constante dieléctrica efectiva del material que compone el parche, la frecuencia de resonancia, aproximando el parche a uno rectangular, es:

$$f_r = \frac{c}{2(L + h)\sqrt{\epsilon_e}}$$

donde

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Por lo tanto, se precisa de un arreglo de elementos diferente para cada banda de frecuencia sobre la que se desea transmitir. De este modo, se dan distintas configuraciones de antenas base en función de las frecuencias que soportan. Si la frecuencia de trabajo de la antena es múltiplo de otra, cabe la posibilidad de intercalar los elementos radiantes para radiar en ambas dentro del mismo array. La disposición de los elementos radiantes y las fases con las que se transmite/recibe la señal conforman el haz de radiación con el que la antena transmite información a los equipos móviles.

Anexo C. Desplazadores de fase en una Antena

Uno de los desplazadores de fase más sencillos y menos precisos se muestra en la Figura C - 1, en el cual se utiliza una lámina o barra hecha de un material dieléctrico. El grosor de la barra es aproximadamente 0.1 de la base de la sección transversal de la guía, el defasamiento máximo se obtiene cuando la barra queda colocada en el centro de la guía ya que es en el centro donde la intensidad del campo eléctrico es máximo (modo TE₁₀), mientras que es mínimo cuando coincide con la pared lateral. En la figura C -1 se muestra el ejemplo de un desplazador de fase simple.

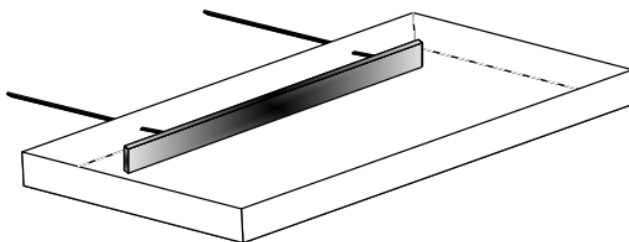


Figura C - 1 Desplazador de fase simple.

El principio de operación es simple y se basa en que en un medio de propagación hecho de material dieléctrico de bajas pérdidas cambia la velocidad de propagación de una onda. Por lo tanto la barra dieléctrica no atenúa a la señal dentro de la guía, pero si cambia su fase. Mientras mayor sea la permitividad relativa del material dieléctrico, mayor será el cambio de fase producido en la onda.

C.1 Desplazador de fase Giratorio

Un desplazador de fase mecánico de mucha mayor precisión consiste de tres secciones de guía de onda circular, dos transiciones de guía de onda rectangular a circular y viceversa, además de dos secciones extremas de guía rectangular, tal como muestra la figura 1.5. Se considera que el modo fundamental TE₁₀ que se propaga en la guía rectangular se transforma en el modo fundamental TE₁₁ de la guía de onda circular, dentro de esta, una placa de material dieléctrico colocada en el centro de longitud $\lambda/4$ y que está inclinada 45° con relación al eje vertical, descompone en el inicio a la onda original polarizada verticalmente en dos nuevas ondas polarizadas con inclinación de 45° con amplitud y fase idénticas. El campo eléctrico que coincide con el plano de la placa es retrasado con relación al campo perpendicular a la placa, conforme ambos avanzan hacia el otro extremo; a la salida de la placa dieléctrica el desfase total entre ambas componentes de

campo es de 90° . De esta manera, la onda polarizada linealmente al inicio de la guía de onda rectangular se transforma al final de la guía de onda circular en una onda de polarización circular izquierda o derecha dependiendo de la inclinación de la placa. En la figura C - 2 se muestra un ejemplo de desplazador de fase giratorio.

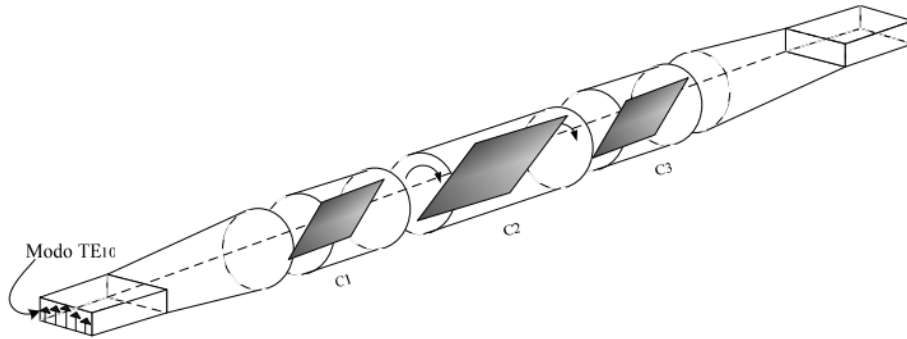


Figura C - 2 Desplazador de fase giratorio.

De esta manera, una onda de polarización circular derecha entra al inicio de sección giratoria C2 que en su interior tiene ahora, una placa dieléctrica de longitud $\lambda/2$, el efecto que tiene esta sobre las componentes del campo eléctrico con polarización circular es similar al que se tuvo en la sección anterior con la placa de $\lambda/4$, solo que ahora el desfase entre ellas es de 180° . Este desfase causa que la onda de polarización circular derecha al inicio de la sección giratoria salga con polarización circular izquierda y esta será la onda de entrada en la última sección circular que es fija y con una placa dieléctrica de $\lambda/4$. Al igual que la primera sección, convierte la polarización circular de nuevo a polarización lineal bajo el mismo principio. Considerando que la sección C2 es girada sobre su eje un cierto ángulo θ con relación al plano horizontal, el desfase neto entre la componente del campo a la salida de C2 y la componente a la entrada de C1 sería igual a 2θ [7]. No hay límite en el rango del control de fase de como la rotación continua de la placa de $\lambda/2$ causará una variación continua en el corrimiento de fase.

Los desplazadores de fase giratorios del tipo descrito anteriormente se encuentran comercialmente disponibles. El dispositivo ofrece pérdidas de inserción muy bajas (menores a 1 dB) y provee una gran precisión en posicionamiento y lectura para variaciones suaves. Por lo que este dispositivo también es ampliamente usado en mediciones de microondas.

Anexo D. Tecnología LTE

LTE, que se comercializa como 4G LTE, es un estándar de comunicación inalámbrica de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos.

LTE nació para cubrir principalmente las siguientes necesidades:

- Rendimiento y capacidad: Uno de los requisitos de LTE es ofrecer velocidades de descarga de al menos 100Mbps.
- Simplicidad: Los fabricantes y operadores quieren un estándar menos complejo y que reduzca costos.
- Latencia: La latencia en LTE es menor que en 3G consiguiéndose así una gran ventaja en los servicios interactivos como, por ejemplo, juegos multijugador, comunicaciones multimedia. La generación actual de telefonía móvil, 4G ha sido creada como ya se ha comentado con el objetivo de proveer tasas de transmisión hasta unos 20Mbps.

D.1 Características eNodeB LTE.

- Velocidad de *Downlink*: 299.6 Mbps.
- Velocidad de *Uplink*: 75.4 Mbps.
- *Circuit Switched Fallback* (CSFB): En este enfoque, LTE sólo proporciona servicios de datos, y cuando una llamada de voz se ha de iniciar o recibir, va a caer de nuevo al dominio UMTS o GSM.
- Frecuencia: 2.1 GHz
- Ancho de banda: 20MHz
- Alcance de radiación: 50Km²

Anexo E. Gestores y plataformas de monitoreo en la red de telefonía móvil.

Los operadores de telecomunicaciones hoy en día tienen una amplia red compuesta por equipos y aplicaciones de varios proveedores. Para la gestión de estas redes complejas se da un enfoque por capas. La idea es que las decisiones de gestión en cada nivel sean diferentes pero relacionadas entre sí.

E.1 OSS (Operation & Support System)

Hay una tendencia a que la funcionalidad de gestión de red esté en continuo cambio y estos cambios o ajustes se dejan ver en los elementos de la red. Normalmente, el operador de red no quiere trabajar con los elementos de la red uno por uno ya que es algo poco intuitivo. La solución es trabajar con unos pocos sub-administradores de la red en la capa de sub-red. A este nivel trabaja OSS. OSS permite una visión completa de la red y la posibilidad de gestionarla automáticamente sin tener que entrar en comandos propios de los nodos y de la red.

OSS es un administrador de red. OSS es un producto de gestión de la red que permite en términos generales la configuración, supervisión, gestión de estadísticas y de alarmas de los diferentes elementos de la red, tanto para móvil como para fija. El OSS está compuesto por una serie de servidores que conforman una solución que permite la gestión y monitorización del estado real de la red.

El OSS es un producto muy complejo ya que está formado por varios servidores, cada uno de ellos realiza una función diferentes ya sea para gestión de la red, configuración, gestión de usuarios, procesamiento de estadísticas, servidores de presentación, etc.

E.2 M2000

El sistema unificado de gestión de red iManager M2000 (U2000) ha sido diseñado para gestionar en forma eficaz y uniforme el transporte, el acceso y los equipos IP tanto en la capa de elementos de red (NE) como en la capa de red. El M2000 ofrece gestión unificada y operación y mantenimiento visuales para ayudar a los operadores a reducir los costos de operación y mantenimiento (O&M) y a transformar las redes a redes All-IP.

E.3 MME (Mobility Management Entity)

El MME es una entidad de control encargada de la señalización en la red LTE. Proporciona gestión de sesiones de movilidad para LTE, además da soporte a la autenticación de abonado o usuario de la red, roaming y traspasos a otras redes. Por ella no hay tráfico de paquetes de datos de los usuarios, gracias a un elemento de la red dedicado a la señalización y separado funcionalmente de los gateways. Los operadores poseen la ventaja de poder crecer la capacidad de señalización de forma independiente del tráfico del usuario.

La MME realiza las siguientes funciones:

- Control de acceso a red: Gestiona la autenticación y la autorización para los equipos de usuario. También facilita a los equipos obtener conectividad IP.
- Administración de radio: Encargado de gestionar los recursos de radio.
- Administración de Roaming :Soporta la entrada y salida de los suscriptores móviles de otras LTE y redes tradicionales.
- Administración de seguimiento de zona: Asigna y reasigna la identificación de área de zona.

Anexo F. Interfaz CPRI

La interfaz digital CPRI es un estándar para encapsular las muestras de señales de RF entre un equipo radio (RRU) y una unidad de procesamiento de banda base digital (BBU). Con la interfaz CPRI, se obtiene una conexión punto a punto en el que ambos extremos están funcionando a la misma velocidad de reloj.

La interfaz no está basada en comunicaciones de paquetes. Por el contrario, las señales se multiplexan de una forma similar a la multiplexación en el dominio del tiempo con un bajo retardo. La interfaz CPRI define un retardo máximo, un *jitter* próximo a cero, y una tasa de errores próxima a cero. En la práctica, un valor de 0.4 milisegundos en el transporte deja un margen de retardo aceptable para el retardo de la propagación y los requerimientos de procesamiento. La capacidad requerida es de hasta 10 Gb/s, con distancias de hasta 40 Km. entre las cabeceras remotas y la unidad BBU.

Las interfaces eléctricas y ópticas son compatibles con la CPRI; sin embargo, la mayoría de las implementaciones se han hecho con interfaces ópticas, debido a sus propiedades de inmunidad a interferencias, su pérdida mínima, su costo de implementación y su capacidad para soportar un gran ancho de banda.

En base a lo anterior, la interfaz CPRI se divide en dos capas:

- Capa 1. Cubre todos los aspectos físicos de transmisión entre la BBU y RRH incluyendo medios eléctricos y ópticos, y sus velocidades de línea correspondientes.
- Capa 2. Define los principales flujos de datos, control y gestión, sincronización, y planos de usuario (que transportan la señal de RF mediante componentes en fase y en cuadratura).

En la figura F - 1 se muestra el modelo en capas de la interfaz CPRI.

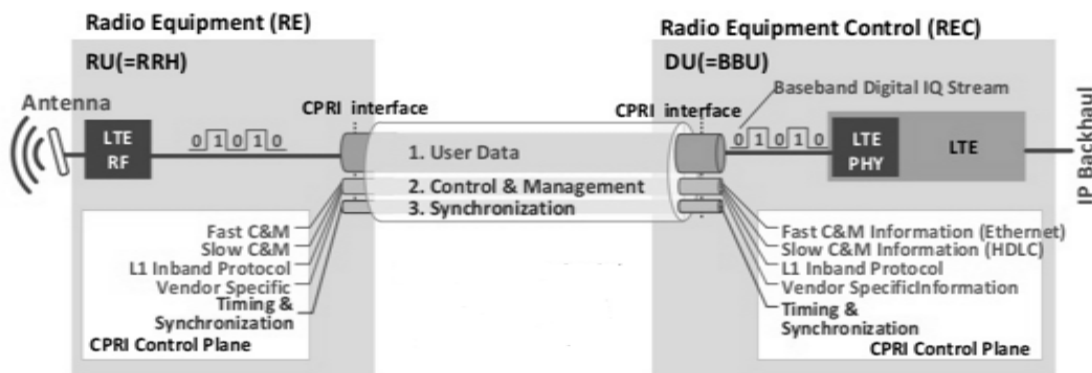


Figura F - 1 Modelo en capas de la interfaz CPRI.

La CPRI comunica los siguientes flujos de datos que son multiplexados a través del enlace de fibra:

- Plano de usuario: las señales de RF recibidas por el RRU que provienen del móvil de los usuarios. La información se transporta en forma de flujos de datos IQ que reflejan los datos de una antena para una portadora.
- Plano de Control y gestión: proporciona el flujo de datos que se utiliza para la gestión de llamadas y datos para su administración en la BBU. Además se encarga del sostenimiento del enlace CPRI.
- Plano de sincronización: transfiere la información de sincronización y temporización entre módulos.

El control del reloj y el tiempo asegura que el REC (maestro) y RE (esclavo) están sincronizados. La información de temporización se incluye en los datos de banda base. El dispositivo esclavo (RE) sincroniza su reloj y el marco de tiempo a la referencia maestra (recuperación del reloj). Esto es esencial para el código o decodificar los datos digitales correctamente.

Para una CPRI se han definido cuatro mediciones clave en relación con el mantenimiento del enlace:

- La pérdida de señal (LOS). Capacidad para detectar e indicar la pérdida de la señal.
- La pérdida de trama (LOF). Capacidad para detectar e indicar la pérdida de la trama, que incluye la sincronización de trama.
- Indicación de alarma remota (RAI). Capacidad para indicar una alarma remota que se devuelve al remitente como respuesta a errores de enlace (LOS y LOF).
- SAP indicación de defecto (SDI): Posibilidad de enviar una indicación remota cuando cualquiera de los puntos de acceso de servicio no son válidos debido a un error del equipo.

Si cualquiera de las alarmas anteriores ocurren, una indicación de alarma se transmite por el enlace CPRI al elemento remoto. Estas alarmas son el conjunto básico de indicadores utilizados para evaluar el estado del enlace, y las pruebas del plano de usuario pueden llevarse a cabo una vez que el enlace está funcionando correctamente y sin ninguna alarma.

F.1 Estructura de la trama IQ de la interfaz CPRI

Una estructura de trama básica de CPRI consta de 16 palabras, indexados por $W = 0, \dots, 15$ que se utiliza la primera palabra $W = 0$ para una palabra de control . El tamaño de la palabra en la CPRI depende de la velocidad del enlace (que es también la velocidad de bits de línea) , donde cinco diferentes tasas se definen con el fin de lograr la eficiencia flexibilidad y el coste requeridos. Es obligatorio que cada soporte REC y el RE al menos una de las tasas de bits línea enumeran a continuación.

Una trama básica de CPRI tiene una duración de $T_c = 1/ f_c = 1/3,84 \text{ MHz} = 260,41667 \text{ ns}$, la estructura básica de una trama se muestra a continuación en la figura F - 2:

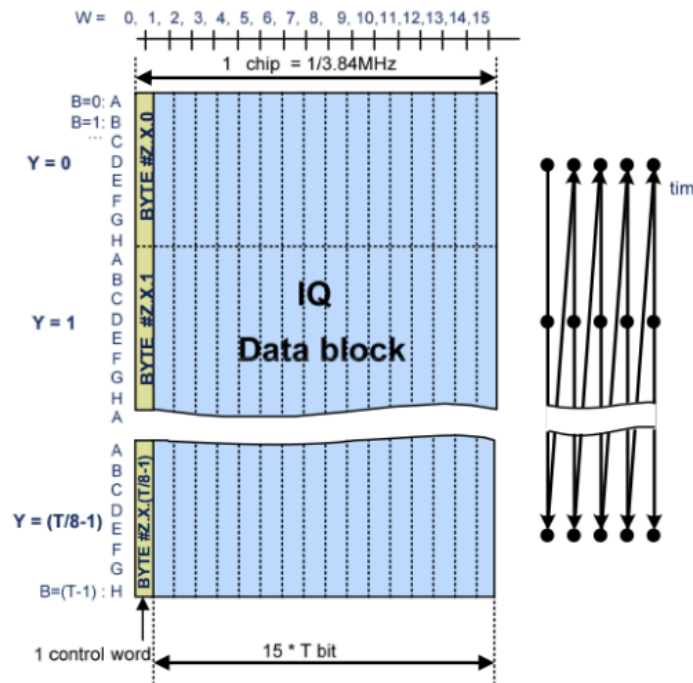


Figura F - 2 Esquema de funcionamiento de WDM.

T es la duración de la palabra dada por la tasa de línea en Mbps entre 76.8 por lo que varía dependiendo de la velocidad, de aquí la flexibilidad y el aprovechamiento de CPRI respecto a OBSAI. Una hipertrama esta formada por 256 tramas básicas y a su vez una trama CPRI de 10 ms contiene 150 hipertramas.

Anexo G. Conexión por E1/T1

Las líneas "dedicadas" posibilitan la transmisión de datos a velocidades medias y altas (de 64Kbps a 140 Mbps) a través de conexiones de punto a punto o multipunto

Una conexión T1 es un paquete compuesto por 24 canales de multiplexado por división de tiempo (TDM) de 64 kbps (DS0) a través de circuito de cobre de cuatro hilos. Esto crea un ancho de banda total de 1.544 mbps. En Europa y en otras partes del mundo, un circuito E1 es un paquete compuesto por 32 canales de 64 kbps, dando un total de 2.048 mbp

En Europa, existen cinco tipos de líneas que se distinguen según sus velocidades:

- E0 (64 Kbps)
- E1 = 32 líneas E0 (2 Mbps)
- E1 = 128 líneas E0 (8 Mbps)
- E3 = 16 líneas E1 (34 Mbps)
- E4 = 64 líneas E1 (140 Mbps)

En Estados Unidos, el concepto es el siguiente:

- T1 = (1,544 Mbps)
- T2 = 4 líneas T1 (6 Mbps)
- T3 = 28 líneas T1 (45 Mbps)
- T4 = 168 líneas T1 (275 Mbps)

Anexo H. Multiplexación WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

En telecomunicaciones, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, del inglés *Wavelength Division Multiplexing*) es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED.

La técnica de WDM consiste en transmitir por una misma fibra varias señales cada una en una longitud de onda diferente y con la misma tasa binaria, sin que interfieran entre sí ya que están lo suficientemente separadas. De este modo la capacidad del enlace se multiplica por el número de canales.

El dispositivo que une las señales se conoce como multiplexor mientras que el que las separa es un demultiplexor. Con el tipo adecuado de fibra puede disponerse un dispositivo que realice ambas funciones a la vez, actuando como un multiplexor óptico de inserción-extracción. En la figura H-1 se muestra el funcionamiento de la multiplexación por WDM.

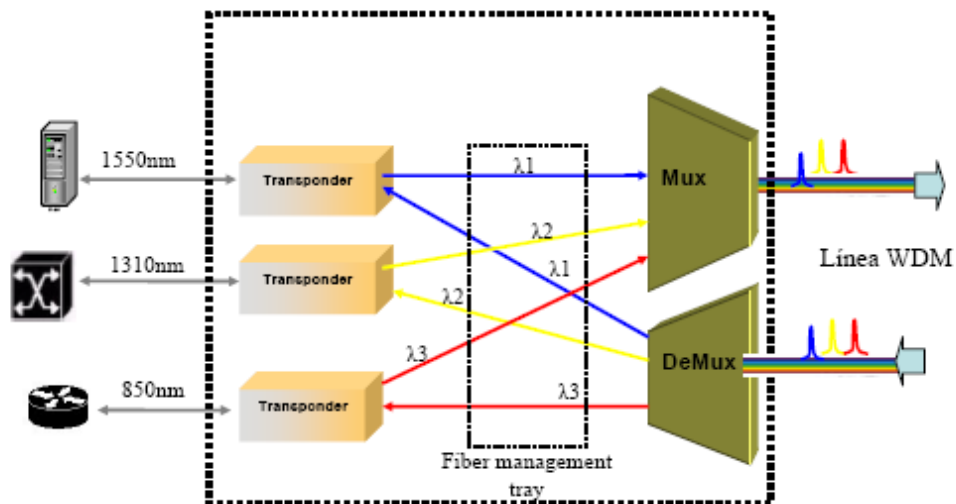


Figura H - 1 Esquema de funcionamiento de WDM.

El mecanismo de WDM es una tecnología muy compleja, pero sin embargo la idea es muy simple. Se quiere combinar múltiples haces de luz dentro de una única luz en el multiplexor y hacer la operación inversa en el demultiplexor. Combinar y dividir haces de luz se resuelve fácilmente un prisma. Como la física básica que un prisma curva un rayo de luz basándose en el ángulo de incidencia y la frecuencia.

Usando esta técnica, se puede hacer un multiplexor que combine distintos haces de luz de entrada, cada uno de los cuales contiene una banda estrecha de frecuencia, en un único haz de salida con una banda de frecuencia mas ancha. También se puede hacer un demultiplexor para hacer la operación para revertir el proceso.

Anexo I. Técnicas de Conmutación por paquetes

Cuando un emisor necesita enviar un grupo de datos mayor que el tamaño fijado para un paquete, éste los trocea en paquetes y los envía uno a uno al receptor.

Hay dos técnicas básicas para el envío de estos paquetes:

1. Técnica de datagramas: cada paquete se trata de forma independiente, es decir, el emisor enumera cada paquete, le añade información de control (por ejemplo, número de paquete, nombre, dirección de destino, etc.) y lo envía hacia su destino. Puede ocurrir que por haber tomado caminos diferentes. También puede ocurrir que se pierda algún paquete. Todo esto no lo sabe ni puede controlar el emisor, por lo que tiene que ser el receptor el encargado de ordenar los paquetes y saber los que se han perdido para su posible reclamación al emisor), y para esto, debe tener el software necesario.
2. Técnica de circuitos virtuales: antes de enviar los paquetes de datos , el emisor envía un paquete de control que es de Petición de Llamada. Este paquete se encarga de establecer un camino lógico de nodo en nodo por donde irán uno a uno todos los paquetes de datos. De esta forma se establece un camino virtual para todo el grupo de paquetes. Este camino virtual será numerado o nombrado inicialmente en el emisor y será el paquete inicial de Petición de Llamada el encargado de ir informando a cada uno de los nodos por los que pase de que más adelante irán llegando los paquetes de datos con ese nombre o número. De esta forma, el encaminamiento sólo se hace una vez (para la Petición de Llamada). El sistema es similar a la conmutación de circuitos, pero se permite a cada nodo mantener multitud de circuitos virtuales a la vez.

Ventajas de los circuitos virtuales:

- Son los más usados.
- Su funcionamiento es similar al de redes de conmutación de circuitos.
- Previo a la transmisión se establece la ruta previa a la transmisión de los paquetes por medio de paquetes de Petición de Llamada (pide una conexión lógica al destino) y de Llamada Aceptada (en caso de que la estación destino esté apta para la transmisión envía este tipo de paquete); establecida la transmisión, se da el intercambio de datos, y una vez terminado, se presenta el paquete de Petición de Liberación(aviso de que la red está disponible, es decir que la transmisión ha llegado a su fin).
- Cada paquete tiene un identificador de circuito virtual en lugar de la dirección del destino.

- Los paquetes se recibirán en el mismo orden en que fueron enviados.
- Los datos deben ser convertidos de Analógicos a Digitales por medio de un circuito virtual antes de la transmisión.
- Tienen bits suplementarios relativos.
- Existe retardo previo a la transmisión.

Desventajas de los circuitos virtuales frente a los datagramas :

- En datagramas no hay que establecer llamada (para pocos paquetes , es más rápida la técnica de datagramas) .
- Los datagramas son más flexibles , es decir que si hay congestión en la red una vez que ya ha partido algún paquete , los siguientes pueden tomar caminos diferentes (en circuitos virtuales , esto no es posible) .
- El envío mediante datagramas es más seguro ya que si un nodo falla , sólo un paquetes se perderá (en circuitos virtuales se perderán todos).

Mesografía y Bibliografía

- <http://www.telecomhall.com/es/que-es-drive-test-testing-de-rf.aspx> [1],[2],[3]
- <http://telecomunicados.com.ve/2015/07/07/principios-basicos-optimizacion-rf-rno/>[4],[5]
- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Muñoz_Jiménez_Laura.pdf?sequence=1 [6],[7],[8]
- <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4234/PROPUESTARQUITECTURA.pdf?sequence=1> [9],[10],[11],[12],[13]
- <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>
- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz_Jim%C3%A9nez_Laura.pdf?sequence=1 [14],[15],[16]
- <http://www.telequismo.com/2013/02/gpon-operador.html> [17],[18],[19]
- <http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx> [20],[21],[24]
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1635/ese%C3%B1amartinez.pdf?sequence=1> [22],[23]
- <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://server2.docfoc.com/uploads/Z2015/11/28/9tyE0oAL0T/f1d0730c7082245e703b3b019cbdcdc6.pdf> [25],[26],[27],[28],[29]
- <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.mx/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html> [30]
- <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.mx/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html> [31],[32],[33]
- http://www.cpri.info/downloads/CPRI_v_6_0_2013-08-30.pdf [33]
- <http://luzmihernandez.blogspot.mx/> [34],[35]
- http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/conmutacion_paquetes.htm [36],[37]

https://docs.oracle.com/cd/E37929_01/html/E36606/fpjve.html [38],[39],[40]

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16310/Art%C3%ADculo%20docente%20configuraci%C3%B3n%20b%C3%A1sica%20VLANs.pdf> [41],[42],[43]

Anexo A. Características de las antenas sectoriales:

<https://zaguan.unizar.es/record/13437/files/TAZ-PFC-2014-084.pdf>

Anexo B. Cálculo de la inclinación de la antena o downtilt:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11856/>.

Anexo C. Desplazadores de fase:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1635/ese%C3%B1amartinez.pdf?sequence=1>

Anexo F. Tramas 1Q:

<https://zaguan.unizar.es/record/13437/files/TAZ-PFC-2014-084.pdf>

Anexo H. Multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing):

<http://documents.mx/documents/multiplexacion-por-division-de-longitud-de-onda.html>

Anexo I. Técnicas de Conmutación por paquetes:

<http://www.dednet.net/institucion/itba/cursos/000183/demo/unidad01/conmutaciond epaquetes.htm>

Sallent Roig Oriol, Jordi Perez Romero - "Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares", editorial Iniciativa Digital Politécnica, Julio 2014

"Telecomunicaciones Modernas" , sin autor, editorial Marcombo, S.A, 1998

Philippe Atelin, Jose Dordoigne, " Redes informaticas Conceptos fundamentales", editorial Editions Eni, Noviembre 2006

