

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DE ENLACES ENTRE RADIOBASES DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS).

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN**

ISABELA DEL ROCÍO ASTUDILLO MENDOZA

DIRECTOR: ING. FERNANDO FLORES

QUITO, JULIO 2006

DECLARACIÓN

Yo, Isabela del Rocío Astudillo Mendoza, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Isabela del Rocío Astudillo Mendoza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Isabela del Rocío Astudillo Mendoza, bajo mi supervisión.

Ing. Fernando Flores.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios y a la Virgen por todas las bendiciones que recibo cada día.

A mi familia, por todo el apoyo y el amor que me han brindado durante toda mi vida.

Al Ing. Fernando Flores por su acertada colaboración en la dirección de este proyecto.

A la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones por su colaboración en la realización de este proyecto de titulación en especial al Ing. Byron Pabón quien me ayudó con sus sabios consejos.

A todas aquellas personas que estuvieron siempre a mi lado brindándome apoyo como son mis profesores que supieron ser grandes consejeros, a mis amigos quienes siempre han estado junto a mi en mis alegrías tristezas y hemos aprendido y crecido juntos, y a David ,quien siempre ha estado junto a mi para brindarme su apoyo

DEDICATORIA

A las personas que mas quiero y respeto empezando por mis hermanos, Rafael el mayor, Alejandra que aunque estés lejos siempre estas en mi corazón, Carmen mi compañera en cada momento, Miguel mi pequeño adorado y mis padres Julio César mi viejito querido y mi negrita preciosa Rocío.

Índice de Contenido

CAPÍTULO 1	1
1.1 ESTUDIO DE INGENIERÍA PARA ENLACES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR.	1
1.1.1 BASE TEÓRICA DE UN SISTEMA CELULAR	1
1.1.2 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE INGENIERÍA	16
1.1.3 DISEÑO DE ENLACES	18
1.2 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DE ENLACES ENTRE RADIOBASES DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS).....	40
1.2.1 VISUAL C#.NET 2003	41
1.2.2 SQL SERVER	42
1.2.3 INFRAGISTICS NETADVANTAGE 2003	43
1.2.4 ANÁLISIS DE POSIBLES HERRAMIENTAS GIS	45
1.3 MARCO REGULATORIO APLICABLE A LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA ENLACES ENTRE RADIOBASES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR	51
1.3.1 EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL PAÍS	51
1.3.2 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ECUADOR	58
1.3.3 LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES	58
1.4 PROCEDIMIENTO DE CONCESIÓN.....	64
CAPÍTULO 2	67
2.1 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS	67
2.1.1 REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT	68
2.1.2 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS DEL ECUADOR	72
2.2 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE FRECUENCIAS SOLICITADAS	77
2.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO. PROCEDIMIENTOS	81
2.4 HERRAMIENTA GIS A UTILIZAR	83
2.5 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA GIS A UTILIZAR	84
2.5.1 MAPOBJECTS 2.3	84
2.5.2 ARCVIEW 9.1	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.6 ELEMENTOS NECESARIOS QUE INTERACTÚAN CON GIS.....	86
CAPÍTULO 3	90
3.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	90
3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO.....	90
3.2 DISEÑO	93

3.2.1	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS	93
3.2.2	DIAGRAMA DE CASOS DE USO	95
3.2.3	DIAGRAMA DE ACTIVIDAD	96
3.2.4	DIAGRAMA DE CLASES	98
3.2.5	DIAGRAMA DE DATOS	98
3.3	IMPLEMENTACIÓN.....	100
3.3.1	PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD.	103
CAPÍTULO 4.....		115
4.1	PRUEBAS DEL SISTEMA.....	116
4.2	INGRESO ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.	121
4.3	LIMITACIONES DEL SISTEMA.	122
CAPÍTULO 5.....		125
5.1	CONCLUSIONES.....	125
5.2	RECOMENDACIONES	128

Índice de Tablas

Capítulo 1

TABLA 1. 1 TABLA DE PÉRDIDAS DE COEFICIENTES DE REFLEXIÓN.	35
TABLA 1. 2 PÉRDIDAS DE CABLES Y CONECTORES.....	38
TABLA 1. 3 CUADRO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS GIS.....	50

Capítulo 2

TABLA 2. 1 NOMENCLATURA DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA Y LONGITUDES DE ONDA.....	73
TABLA 2. 2 CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS	76
TABLA 2. 3 EJEMPLO CANALIZACIÓN UIT-R F.385-8.....	80

Capítulo 4

TABLA 4. 1 PRUEBAS DEL MÓDULO INGRESO DE DATOS	117
TABLA 4. 2 PRUEBAS DEL MÓDULO LINKBUDGET	118
TABLA 4. 3 PRUEBAS DEL AGNACIÓN DE FRECUENCIAS.	119
TABLA 4. 4 PRUEBAS DEL MÓDULO CONCESIÓN.....	121

Índice de Figuras.

Capítulo 1

FIGURA 1. 1 ELEMENTOS BÁSICOS	3
FIGURA 1. 2 CELDAS TRIANGULARES.....	4
FIGURA 1.3 CELDAS CUADRADAS ²	4
FIGURA 1. 4 CELDAS HEXAGONALES ²	4
FIGURA 1. 5 COBERTURA IRREGULAR DE LAS CELDAS	5
FIGURA 1. 6 SOLAPAMIENTO DE CELDAS PEQUEÑAS EN OTRAS GRANDES	5
FIGURA 1. 7 DIVISIÓN DE UNA CELDA EN TRES SECTORES	6
FIGURA 1. 8 REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS	6
FIGURA 1. 9 SISTEMAS DESARROLLADOS	17
FIGURA 1. 10 TIPOS DE ENLACES	20
FIGURA 1. 11 REFRACCIÓN.....	21
FIGURA 1. 12 REFLEXIÓN DE ONDAS.	23
FIGURA 1. 13 SUMA DE TRAYECTORIAS DE REFLEXIÓN	23
FIGURA 1. 14 AUMENTO DEL HORIZONTE DE ÓPTICO Y DE RADIO CON EL TAMAÑO DE LAS ANTENAS	26
FIGURA 1. 15 GRÁFICA DE RADIACIÓN	27
FIGURA 1. 16 ELIPSOIDE DE FRESNEL.....	30
FIGURA 1. 17 CORTE TRANSVERSAL DEL ELIPSOIDE DE FRESNEL	30
FIGURA 1. 18 ILUSTRACIÓN DEL CONCEPTO DE DESPEJE Y DE SU VARIACIÓN RESPECTO A K	32
FIGURA 1. 19 CÁLCULO DE DESPEJE.....	33
FIGURA 1. 20 REFLEXIÓN SOBRE TIERRA PLANA	34
FIGURA 1. 21 PUNTO DE REFLEXIÓN	36
FIGURA 1. 22 MARGEN DE DESVANECIMIENTO	38
FIGURA 1. 23 ORGANISMOS DE REGULACIÓN Y CONTROL DE TELECOMUNICACIONES EN EL PAÍS.....	51

Capítulo 2

FIGURA 2. 1. DIVISIÓN DEL MUNDO PARA ATRIBUCIÓN DE BANDAS	70
FIGURA 2. 2 ELEMENTOS NECESARIOS QUE INTERACTÚAN CON GIS	86
FIGURA 2. 3 TIPO DE DATOS GIS.....	87

Capítulo 3

FIGURA 3. 1. CREACIÓN DE INICIO DE SESIÓN 1.....	104
FIGURA 3. 2. CREACIÓN DE INICIO DE SESIÓN 2	105
FIGURA 3. 3. CREACIÓN DE INICIO DE SESIÓN 3	106
FIGURA 3. 4. CREACIÓN DE INICIO DE SESIÓN 4	106
FIGURA 3. 5. CREACIÓN DE INICIO DE SESIÓN 5	107
FIGURA 3. 6. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS	94

FIGURA 3. 7. DIAGRAMA DE CASOS DE USO.....	95
FIGURA 3. 8. DIAGRAMA DE CASOS DE USO, OBTENCIÓN DE PERFIL TOPOGRÁFICO.....	97
FIGURA 3. 9. DIAGRAMA DE CASOS DE USO, REALIZAR CÁLCULOS.....	97
FIGURA 3. 10 DIAGRAMA DE CASOS DE USO, BUSCAR FRECUENCIAS.....	98
FIGURA 3. 11 DIAGRAMA DE DISEÑO DE DATOS	101
FIGURA 3. 12. CAPAS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	102

RESUMEN

La finalidad del Sistema de Información para la Administración del Espectro Radioeléctrico de Enlaces entre Radiobases de los Sistemas de Telefonía Móvil Celular utilizando Sistemas de Información Geográfica (GIS), que se plantea es la de llegar a implementar efectivamente, una herramienta capaz de optimizar la asignación de frecuencias para los sistemas antes mencionados y mejorar el tiempo de respuesta a las solicitudes ingresadas.

En el primer capítulo se desarrolla la base teórica de los sistemas móviles de telecomunicaciones y los enlaces de microonda, orientando el mismo a la descripción del estudio de ingeniería para enlaces entre radiobases. Adicionalmente, se analizan las herramientas informáticas para el desarrollo del sistema. Finalmente se hace referencia al Marco Regulatorio aplicable al caso de estudio y el procedimiento de concesión derivado de éste.

En el capítulo dos, se detallan los aspectos bases dentro de la asignación del espectro radioeléctrico como son el Plan Nacional de Frecuencias y la normativa de la UIT. Además, se indican las consideraciones para determinar la disponibilidad de frecuencias solicitadas, y se establecen los procedimientos mediante los cuales se determinará la factibilidad técnica para la operación de un enlace. Para concluir con este capítulo se expone la herramienta GIS y los elementos con los que interactúa.

El capítulo tres constituye el diseño e implementación del sistema, tomando en cuenta los requerimientos del usuario, y describiendo las partes más importantes del mismo.

Una vez implementado el sistema el capítulo cuatro contiene las pruebas desarrolladas, así como las limitaciones encontradas y detalla las características referentes al ingreso y actualización de la información

Finalmente se presenta como compendio del presente proyecto, las conclusiones y recomendaciones referidas a todo el trabajo realizado.

PRESENTACIÓN

La administración y gestión del espectro radioeléctrico es uno de los aspectos más importantes en el área de las telecomunicaciones para cualquier administración; la atribución y asignación de frecuencias se debe realizar de manera que se garantice el acceso a la mayor cantidad de usuarios y la correcta operación de sus sistemas.

Dado el enorme crecimiento experimentado por los servicios de telefonía móvil, así como por otros servicios de radiocomunicaciones y considerando que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado, se hace necesaria la implementación de una herramienta que ayude a flexibilizar y optimizar la asignación de este recurso.

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS), brindan la posibilidad de hacer un análisis mucho más real de las características de operación de los sistemas de radiocomunicaciones, mediante un manejo gráfico de la ubicación de las diferentes estaciones, así como la obtención de datos georeferenciados respecto del área de influencia de un sistema específico.

Microwave Link Analyzer es el sistema que se implementará como resultado de este proyecto, el cual automatizará el proceso de asignación de frecuencias para enlaces entre radiobases de sistemas móviles celulares, tecnificando este proceso que hasta el momento se lo lleva de forma manual, coadyuvando de esta forma a una mejor gestión del espectro para estos sistemas.

De la misma forma, se genera una base de datos con la información de los enlaces de microondas en la banda de 7GHz y 15GHz, para finalmente llegar a establecer información estructurada de forma adecuada y que cumpla con los estándares previstos por la normativa correspondiente.

La visualización gráfica de los posibles enlaces interferentes ayudará al analista a tomar mejores decisiones respecto a los parámetros de operación de los enlaces, reducirá considerablemente los tiempos de respuesta y los errores producidos en una asignación manual.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 ESTUDIO DE INGENIERÍA PARA ENLACES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR.

1.1.1 BASE TEÓRICA DE UN SISTEMA CELULAR

1.1.1.1 Introducción

La evolución de las comunicaciones móviles se ha convertido en una pieza clave para el desarrollo de la economía mundial. Desde sus inicios a finales de los 70 ha revolucionado enormemente las actividades que se realizan diariamente. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la sociedad.

A pesar de que la telefonía celular fue concebida estrictamente para la transmisión de voz, con el desarrollo de la tecnología, se han implementado servicios de comunicación de datos tales como: multimedia, e-mail, comercio electrónico, con algunas limitaciones al momento pero con grandes perspectivas.

Según la UIT, se habla de comunicaciones móviles cuando existe al menos un terminal cuya ubicación se desplaza, manteniéndose el servicio durante ese desplazamiento.

1.1.1.2 Conceptos Básicos

1.1.1.2.1 Composición de un Sistema de Radiocomunicaciones Móviles.

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información entre terminales móviles, a bordo de vehículos o transportados por

personas y terminales fijos a través de un medio de transmisión radioeléctrico con unas características de calidad determinadas.¹

A continuación se describirán los elementos básicos que conforman estos sistemas.

1.1.1.2.2 Elementos Básicos de los Sistemas Móviles

- **Estación fija (FS):** las cuales pueden ser de distintos tipos:
 - Estación base (BTS *Base Terminal Station*): Son estaciones fijas que pueden ser comandadas directamente desde una unidad de control. Este control puede ser fijo o remoto mediante líneas telefónicas o radioenlaces. La BTS está constituida básicamente por un conjunto de transceptores, ubicados en el centro físico de cada celda. Su función es la de emitir las señales de radio de manera que se convierte en el interfaz radioeléctrico entre el usuario y la red.
 - Estación de Control (BSC *Base Station Control*): Es una estación fija operacional, las transmisiones de esta estación se utilizan para controlar automáticamente el funcionamiento o las emisiones de otra estación de radio, generalmente se utilizan para controlar una BTS o una repetidora.
- **Estación Móvil (MS).** Como su nombre lo indica es la estación que va a tener movilidad, además es la única parte del sistema que esta directamente manejada por el usuario. La diversidad de este tipo de estaciones se extiende cada día de la mano con los servicios a los usuarios.
- **Central de conmutación móvil (MSC).** Conocida también como MTSO (Mobile Telephone Switching Office), tiene como función primordial el controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la realización de las mismas. El MSC proporciona también una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la Red de Telefonía

¹ Tomado de: TRANSMISIÓN POR RADIO, José María Hernando Rábanos, Colección E.T.S.I.

Pública Conmutada (PSTN). Es el responsable de gestionar, encaminar y tarifar las conversaciones entre terminales móviles y la PSTN.

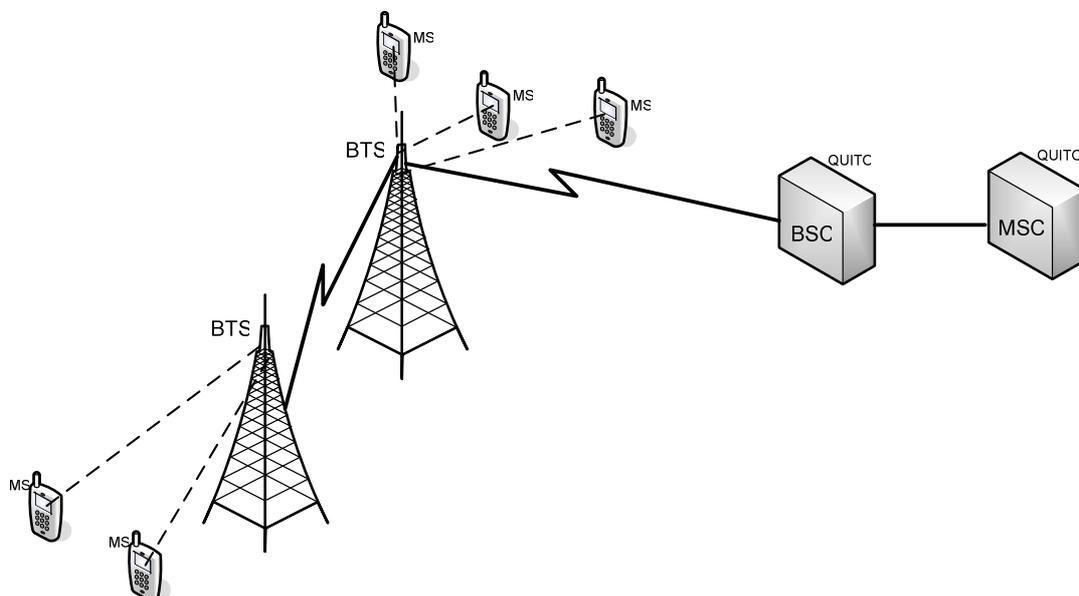


Figura 1. 1 Elementos Básicos

1.1.1.3 Organización Celular.

El estudio teórico de los sistemas celulares trata de atender los siguientes problemas:

- Forma geométrica más conveniente para la celda.
- Análisis de interferencia y determinación de parámetros básicos de la geometría celular en conexión con la asignación de canales.

En primera instancia se debe dividir la zona de cobertura deseada en zonas más pequeñas, lo cual se hace mediante celdas, se han tomado polígonos regulares para que no exista solapamiento entre estas, se pueden considerar los siguientes tipos:

- **Celdas Cuadradas y Triangulares:** Este tipo de celdas no son las más apropiadas ya que geoméricamente presentan problemas de radiación uniforme dentro de la celda, dado que la distancia entre el punto central y sus

extremos no es el mismo, y determinar una radiación de este tipo para que la señal sea igual en todos los puntos resulta complicado como se muestra en las figuras 1.2 y 1.3.

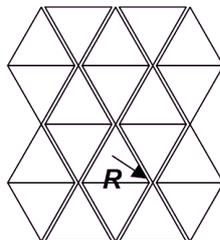


Figura 1. 2 Celdas Triangulares²

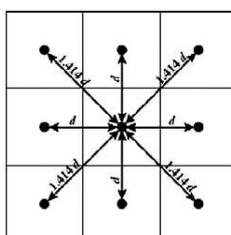


Figura 1.3 Celdas Cuadradas²

- **Celdas Hexagonales:** Se puede decir que esta es la opción mas adecuada para la determinación del tipo de celdas a usar en telefonía móvil celular ya que el radio de la celda es similar al radio del círculo que lo circunscribe, como se muestra en la figura 1.4.

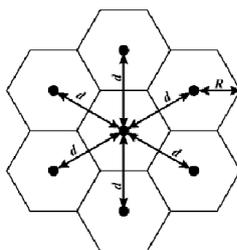


Figura 1. 4 Celdas Hexagonales²

En la práctica, las celdas no son exactamente hexagonales, ya que su zona de cobertura depende de muchos factores y la geometría real de este sistema es irregular y se vería como en la figura 1.5:

² Presentaciones Comunicaciones Inalámbricas, Ing. Fernando Flores, EPN, Septiembre 2003

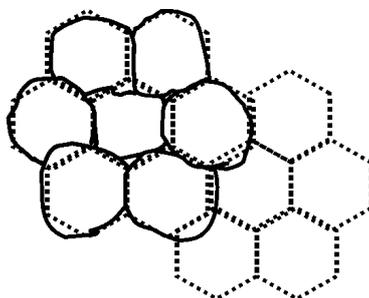


Figura 1. 5 Cobertura Irregular de las Celdas³

En la práctica, la división celular depende directamente del tráfico en el área de cobertura, es por esto que existe el solapamiento⁴ de celdas pequeñas en otras grandes lo cual hace que el mapa de celdas no sea homogéneo como se muestra en la figura 1.6.

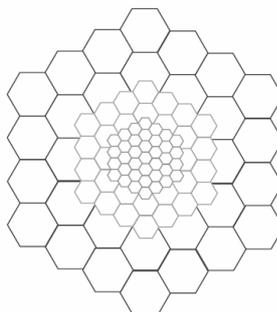


Figura 1. 6 Solapamiento de Celdas Pequeñas en otras Grandes⁵

Generalmente se suele dividir una celda en tres sectores, a los que se da el servicio desde los vértices alternos del hexágono, mediante tres estaciones de base con haces de antenas direccionales. La ventaja de estos emplazamientos es que pueden cubrir sectores de estaciones vecinas, lo cual brinda una economía relacionada a los costos de infraestructura.

³ Presentaciones Comunicaciones Inalámbricas, Ing. Fernando Flores, EPN, Septiembre 2003

⁴ Solapamiento: se produce cuando parte de una celda se sobrepone a otra adyacente.

⁵ Transmisión por Radio, Jose María Hernando Rábanos, Editorial Centro de Estudios Ramón Araces S.A, 1993

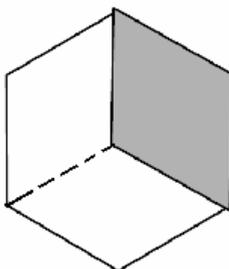


Figura 1. 7 División de una celda en tres sectores

- **Reutilización de Frecuencias** La reutilización de frecuencias consiste en seleccionar y colocar grupos de canales en cada celda dentro de un sistema, al utilizar la misma banda de frecuencias varias veces se produce un aumento de la capacidad del sistema para un determinado ancho de banda. Los sistemas de radio celulares se basan en la asignación inteligente así como en la reutilización de los canales a lo largo de una región de cobertura.

El objetivo es conocer cuantas celdas intermedias debe haber entre dos que utilizan la misma banda de frecuencias para que no haya interferencia a lo que se denomina distancia cocanal.

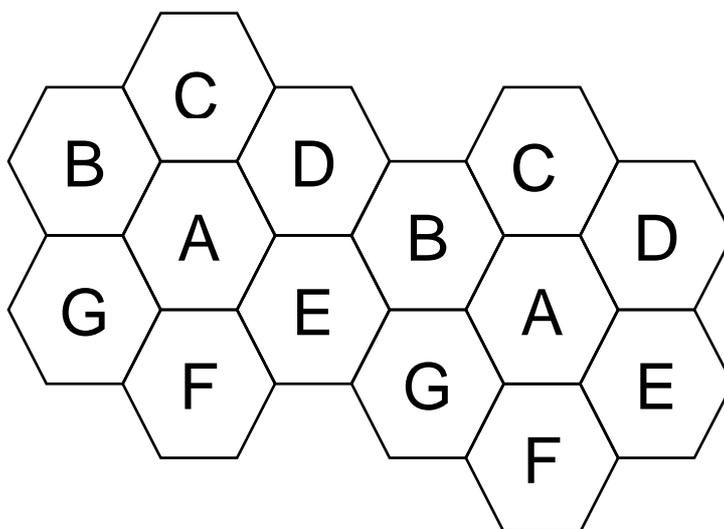


Figura 1. 8 Reutilización de Frecuencias

En la figura 1.8 se puede observar la división de frecuencias por letras donde celdas con la misma letra utilizan el mismo grupo de canales.

- **Movilidad:** La movilidad de los usuarios en un sistema celular es la diferencia básica con la telefonía fija, ya que el encaminamiento de la llamada en estas últimas se realiza únicamente con el número de teléfono.

Mientras que en un sistema celular, la celda con la que se debe establecer el contacto hacia el usuario cambia cuando éste se mueve. Para recibir llamadas, primero se debe localizar al usuario móvil y después el sistema debe determinar en qué celda está actualmente. Este traspaso de una celda a otra debe ser transparente para el usuario, es por esto que se utilizan varias funciones y dentro de ellas se tiene:

- **Handoff (función de traspaso)** Básicamente se trata de la transferencia de una llamada de una estación base a otra cuando el usuario se mueve de una celda a otra mientras una llamada está en progreso, la movilidad del usuario puede inducir la necesidad de cambiar de celda, en particular cuando la calidad de la transmisión cae por debajo de un umbral. Con un sistema basado en celdas grandes, la probabilidad de que ocurra esto es pequeña y la pérdida de una llamada podría ser aceptable. Sin embargo, si se quiere lograr grandes capacidades se tiene que reducir el tamaño de la celda, con lo que el mantenimiento de las llamadas es una tarea esencial para evitar un alto grado de insatisfacción en los abonados.
- **Roaming (función de seguimiento)** Esta función abarca el traspaso del servicio (*handoff*) entre áreas atendidas por operadores diferentes con sistemas compatibles. Diferentes operadores de red, pueden usar esta posibilidad para ofrecer a sus abonados un área de cobertura mucho mayor a la que cualquiera de ellos pudiera ofrecer por sí mismo.

Esta se puede proporcionar mediante acuerdos administrativos y técnicos. Que permiten al usuario acceder a todas las redes con la misma estación móvil.

1.1.1.4 Tecnologías

La telefonía celular se ha caracterizado por pasar varias etapas a las cuales se les denomina generaciones.

- **Primera Generación:** En la primera generación de telefonía móvil celular se adoptó la técnica de acceso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), la cual utilizaba el Acceso Múltiple por División de Frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación en transmisión y recepción. Hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por lo siguiente:
 - Comunicación analógica.
 - Básicamente servicio de voz.
 - Baja capacidad
 - Cobertura Limitada: Local o Regional
 - Transferencia entre celdas muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad (Basadas en FDMA).
 - Las interfaces son propietarias.

- **Segunda Generación:** Utiliza protocolos de codificación más sofisticados. Se introduce las técnicas de acceso TDMA (*Time Division Multiple Access*) y CDMA(*Code Division Multiple Access*), las cuales son utilizadas para que un número de usuarios accedan a una radio frecuencia sin interferencia, para ésto se dividió cada canal analógico en 3 slots de tiempo, de esta manera 3 usuarios comparten el mismo canal. Esta generación se incorporó en 1990 y las características más importantes de la misma son las siguientes:
 - Comunicación con información digitalizada.

- Conmutación por circuitos.
- Voz y datos básicos
 - Fax
 - SMS
- Cobertura regional con roaming transnacional.
- Estándares: GSM (Global System Mobile, 8 times slots pos cada 200KHz de canal de radio), D-AMPS(Digital AMPS), PDC(Pacific Digital Celular, es un estándar Japonés similar a IS-136), IS-95(CDMA, Code Division Multiple Access , soporta sobre los 64 usuarios en canales de 1,25MHz), IS-136(U.S. Digital Celular 3 time slots por cada 30KHz).
- Más interfaces abiertas.
- Mayor calidad de las transmisiones de voz.
- Mayor capacidad de usuarios.
- Mayor confiabilidad de las conversaciones.
- La posibilidad de transmitir mensajes alfanuméricos. Este servicio permite enviar y recibir mensajes cortos con capacidad de hasta 160 caracteres desde un teléfono móvil

Los estándares de la segunda generación representan el primer grupo de interfases aire inalámbrico que cuentan con una modulación digital y un sofisticado proceso de señalización digital tanto en el terminal de usuario como en la estación base

- **Generación 2.5:** Con el objeto de incorporar características más avanzadas sobre las redes de generación se implementaron nuevos estándares a los que se les denominó como 2.5G y que cuentan con las siguientes características:
 - Incrementar las tasas de transmisión de datos.
 - Soportar modernas aplicaciones de Internet como *e-mail*, comercio electrónico y localización basada en servicios móviles.

- Permite la coexistencia con los equipos de segunda generación.
 - Soporta lenguajes para navegación Web como WAP e I-mode.
 - Representan el paso intermedio de evolución hacia los sistemas avanzados de comunicaciones móviles (3G)
 - Estándares: Tres caminos de actualización fueron desarrollados para los operadores GSM los que son *HSCSD(High Speed Circuit Switched Data)*, *GPRS(General Packet Radio Services)*, *EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)*. Para el caso de tecnología CDMA la solución 2.5G fue denominada IS-95B.
-
- **Tercera Generación:** Se caracteriza por la convergencia de servicios voz, datos y video; esto quiere decir que estos servicios pueden coexistir simultáneamente. Es el punto de referencia en la evolución de la telefonía móvil, con el desarrollo de los servicios avanzados y personalizados, grandes volúmenes de información e interacción con el usuario. Las características más importantes de la misma son las siguientes
 - Comunicación Digital.
 - Datos avanzados Multimedia.
 - Acceso de alta velocidad.
 - Cobertura Global.
 - Estándares: UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)(WCDMA Wideband CDMA), CDMA 2000 EVDO/EVDV(Evolution Data Optimizad/ Evolution Data and Voice).
 - Altas velocidades.
 - Perspectiva mayor sobre la cantidad de usuarios en el mundo.
 - Poseer una interfaz de radio mejorada en capacidad de transferencia de información y en eficiencia espectral.

- Diseño de los protocolos de la interfaz de aire para soportar múltiples aplicaciones con requerimientos diferentes de tasas de transferencia y calidad de servicio.
- Un gran conjunto de nuevas funcionalidades
- Robustez y mecanismos para soportar intensa interferencia.
- Servicios de conexión en modo paquetes (fundamentalmente protocolo IP) como circuitos.
- Posibilidad de traspaso de redes 3G a 2G, para minimizar costos de implementación aprovechando cobertura existente en 2G.
- Posibilidad de compartir infraestructura de sitios con BTS⁶ de 2da generación. Se procura reutilizar la infraestructura de 2da generación tanto como sea posible.

La evolución del estándar CDMA hacia 3G SE orienta al uso de CDMA 2000 mientras que el estándar GSM tiene su eventual evolución hacia UMTS.

1.1.1.5 Sistemas Celulares Desarrollados

1.1.1.5.1 AMPS Advanced Mobile Phone System

Es un sistema analógico de primera generación, su experimentación y diseño empezó en los años 1970's y su uso fue popular en los 80's y 90's.

Para optimizar el uso de frecuencias de transmisión, AMPS divide áreas geográficas en celdas. Cada conexión utiliza su propia frecuencia dedicada. Dos celdas pueden usar la misma frecuencia para diferentes conexiones, siempre y cuando la distancia entre ellas sea mayor a la distancia cocanal.

⁶ BTS: Estación base

AMPS originalmente permitía 666 canales (40MHz en total). Luego se amplió a 832 canales (50MHz en total), estandarizándose a un canal físico con un ancho de banda de 30 kHz en cada sentido.

De estos 832 canales en AMPS hay 42 canales que son utilizados exclusivamente para control. Y estos son los canales 313-354 que son denominados de asignación fija, los demás son denominados canales de tráfico.

1.1.1.5.2 TDMA Time Division Multiple Access

TDMA (también conocido como D-AMPS) es una tecnología para transmisión digital de señales de radio. TDMA está basado en el estándar IS-136.

Es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que brinda servicios de alta calidad de voz y datos basados en las bandas más usadas del espectro, lo que incluye las de 850 y 1900 MHz.

TDMA divide al canal de 30KHz de "AMPS" en tres slots de tiempo, con lo que se ofrece tres veces más capacidad. A cada usuario que hace una llamada se le asigna un slot de tiempo específico para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferir entre sí.

La compatibilidad entre la tecnología analógica (AMPS) y TDMA y el uso de teléfonos duales (digital-analógico) así como la operación en dos bandas, les permite a los clientes de TDMA acceder a muchos de sus servicios de voz y datos mientras se encuentran viajando por áreas atendidas por otros operadores de TDMA o por áreas con cobertura únicamente analógica (AMPS).

1.1.1.5.3 GSM Global System for Mobile Communications

Es un sistema que buscaba la estandarización de toda la región europea, generado en el seno de la CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), su uso fue promovido por autoridades europeas desde inicios de 1982. Es un sistema totalmente digital y las metas del estándar son:

- Proveer el movimiento de los usuarios entre los países sin dificultad alguna mediante el *roaming* internacional.
- Brindar mucha flexibilidad en equipos.
- Ser abierto a la interacción con futuras redes avanzadas de telecomunicaciones.

En el estándar GSM se definieron una serie de requisitos básicos para el nuevo sistema, de los cuales cabe mencionar los siguientes:

- Capacidad de seguimiento total automático inclusive internacional.
- Portabilidad numérica.
- Gran capacidad de tráfico con una utilización del espectro optimizada.
- Mejoras en la calidad de servicio y mayores facilidades que en los sistemas anteriores.
- Posibilidad de coexistencia con los sistemas de primera generación en los mismos emplazamientos de las estaciones base.
- Posibilidad de interconexión con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Inclusión de servicios no telefónicos.
- Posibilidad de utilización de terminales de usuario de reducido tamaño, en especial aparatos portátiles de bolsillo.
- Terminales personales.
- Mejoras en la seguridad de transmisión de voz.
- Mayor eficacia de las baterías de los portátiles.
- Utilización de sistemas de señalización avanzados.
- Costo accesible para el usuario.
- Facilidades para contabilidad

Los teléfonos GSM incluyen un módulo SIM (*Subscribe Identity Module*) que guarda información sobre el usuario, su servicio y características básicas de seguridad como autenticación y códigos de bloqueo. Al remover el SIM de un

teléfono, éste queda deshabilitado y puede únicamente realizar llamadas de emergencia. La separación entre portadoras GSM es de 200KHz.

1.1.1.5.4 CDMA Code Division Multiple Access

CDMA es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro extendido (*spread spectrum*). Para telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple especificada en el estándar IS-95 definido por la TIA (*Telecommunications Industry Association*) de Estados Unidos.

Los dispositivos CDMA están programados con un pseudocódigo, el cual extiende una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencias amplio. La estación base cuando actúa como receptora utiliza el mismo código en forma invertida (los ceros son unos y los unos son ceros) para comprimir y reconstruir la señal original. Los otros códigos permanecen extendidos, distinguibles del ruido de fondo.

Dentro de las características de CDMA se pueden recalcar las siguientes:

- Información paquetizada; las redes basadas en CDMA están construidas para aplicaciones virtuales con protocolos basados en IP (*Internet protocol*; protocolo de Internet).
- Seguridad y privacidad; la técnica de espectro extendido es utilizada en importantemente en aplicaciones militares, donde la seguridad de las conversaciones y protección de los datos son cuestiones de suma importancia. En un ambiente de negocios también son vitales los aspectos de seguridad y privacidad. Diseñado con alrededor de 4.4 billones de códigos, considerando una secuencia de longitud 42 es decir $2^{42}-1$ secuencias pseudoaleatorias .CDMA virtualmente elimina la clonación de dispositivos y resulta muy difícil capturar y descifrar una señal.

- Control del nivel de potencia; éste es otro beneficio de los sistemas de CDMA. Empleando técnicas de procesamiento de señales, corrección de error, etc.
- Bajo consumo de potencia y baterías más duraderas en las terminales; debido al sistema de retroalimentación de CDMA que mantiene la potencia al más bajo nivel permisible, las terminales consumen menos potencia y son más pequeñas.
- Pocas llamadas caídas; la transferencia de celdas (*handoff*) de CDMA, método para transferir llamadas entre celdas, reduce inteligentemente el riesgo de interrumpirlas durante una transferencia. El proceso conocido como transferencia suave o transparente (*soft handoff*) entre celdas conduce a pocas llamadas caídas, ya que dos o tres celdas siempre monitorean la llamada. La transferencia entre celdas es transparente a los usuarios debido a que como, estos utilizan el mismo espectro, es más fácil moverse de una celda a otra sin que el suscriptor lo advierta.
- Debido al rehusó de frecuencias más eficiente, La capacidad aumenta de 8 a 10 veces respecto al sistema AMPS y de 4 a 5 veces respecto de GSM.
- Mejor calidad de llamada con sonido más claro.
- Sistema simplificado de reutilización que usa la misma frecuencia en cada sector de cada celda.
- Mejora las características de cobertura.

1.1.1.5.5 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

La tecnología UMTS evoluciona desde GSM y representa mejoras en términos de capacidad, velocidad de datos, y capacidad de nuevos servicios. UMTS ofrece:

- Facilidad de uso: proporciona servicios amigables al usuario, amplia gama de terminales para realizar fácil acceso a los distintos servicios.
- Nuevos y mejores servicios tales como videoconferencias, televisión en tiempo real, video interactivo, entre otros.
- Acceso rápido: La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil, es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos y 2 Mbit/s con baja movilidad (interior de edificios). Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video-telefonía y video-conferencia.
- Entorno de servicios amigable y consistente.
- Mayores mecanismos de seguridad.
- *Always on*: Se hereda esta importante funcionalidad del GPRS, que implica que el sistema esté las 24 horas del día disponible.
- USIM con diferentes perfiles: Son como las tarjetas SIM de GSM, pero con distintos modelos para que el usuario pueda utilizar el tipo de terminal que más le convenga.
- QoS (*Quality of Service*) muy desarrollada.

1.1.2 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE INGENIERÍA

El estudio de ingeniería es un documento que debe reflejar con mucha claridad los parámetros de operación de un sistema, normalmente los enlaces solicitados por las empresas móviles celulares están relacionados con sus respectivas

radiobases; por lo tanto, la aprobación de estas últimas se efectúa conjuntamente con la autorización del enlace correspondiente.

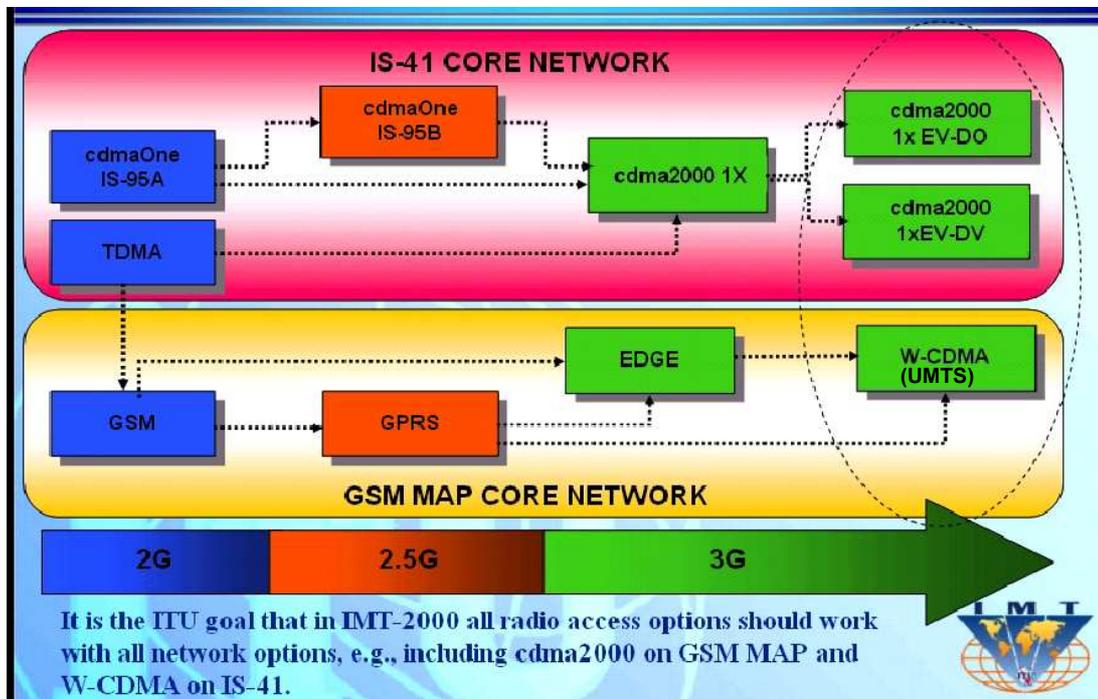


Figura 1. 9 Sistemas desarrollados⁷

Para manejar de forma óptima el espectro radioeléctrico asignado a estos servicios, los encargados de la aprobación deben manejar información veraz y completa, la cual deberá ser comprobable en las pruebas de campo que se realicen. Para esto, el estudio de ingeniería tiene que elaborarse siguiendo una estructura adecuada; a pesar de no existir un formato preestablecido, el estudio antes mencionado debe contener al menos los siguientes puntos:

- **Descripción Física del Sistema.-** en este ítem se presentan todas las características estructurales del enlace y radiobase en cuestión, lo que comprende diagramas de ubicación, tipo de estructuras (torres, mástiles, casetas, racks, etc); además se deben incluir, de ser necesario, fotografías de los sitios donde se ubicarán las antenas y equipos del sistema.

⁷ ITM - 2000

- **Ubicación Geográfica.-** es necesario que se indiquen con exactitud las coordenadas geográficas de los sitios en donde se ubicarán las estaciones con la respectiva mención de la división política a la que pertenecen, esto es provincia, cantón y localidad donde se encuentran.
- **Diseño del Enlace.-** este punto abarca todos los parámetros técnicos con los que se implementará un enlace, entre los que se hallan: el rango de frecuencias en el que se operará, ancho de banda, potencia de transmisión, longitud del enlace, polarización de las antenas, análisis de pérdidas y ganancias (Linkbudget), zonas de fresnel, perfil topográfico. El diseño de los enlaces se detalla en el punto 1.1.3.
- **Análisis de cobertura de la radiobase.-** las operadoras dentro del estudio de ingeniería deben hacer un análisis de propagación de cada radio base a instalar, el cual se efectúa por cada sector de celda y debe ser presentado analíticamente y gráficamente, a fin de constatar la cobertura esperada en un área. Esta información no será analizada en este proyecto porque el mismo se orienta al estudio de enlaces entre radiobases, sin embargo se la menciona por que generalmente se encuentra incluida dentro del mismo estudio.
- **Distribución de Frecuencias.-** el estudio contiene una propuesta de asignación de frecuencias para los enlaces, la cual debe cumplir con las canalizaciones estandarizadas que se detallan en el punto 2.2 del presente proyecto.

1.1.3 DISEÑO DE ENLACES

Los enlaces entre radio bases de sistemas de telefonía celular se realizan en bandas superiores a 1GHz, generalmente en el rango de 7-8 GHz y en la banda de 14-15GHz, por lo tanto pertenecen a la categoría de enlaces por microonda. Los enlaces de microonda son diseñados para transmitir datos a distancias grandes de decenas de kilómetros, con altos estándares de calidad y

confiabilidad, sin embargo son aplicables también para establecer conexiones con distancias más cortas.

Al operar en las bandas antes mencionadas los enlaces requieren de un sistema de línea de vista (LDV). Teóricamente un sistema de línea de vista puede extenderse por terrenos sin grandes barreras naturales, sin embargo las distancias oscilan entre 0 y 100 Km. Para mayores distancias se usa repetidoras a lo largo del trayecto.

Las ventajas de los sistemas de microonda para comunicaciones entre Radiobases son:

- Capacidad de expansión.
- Corto tiempo de instalación.
- Excelente adaptación a dificultades de terrenos y barreras naturales.
- Alta y flexible capacidad de enlaces

1.1.3.1 Determinación de los Tipos de Enlaces

Las redes de telefonía celular poseen dos tipos de enlaces, de backbone y de acceso los cuales se encuentran claramente identificados en la figura 1.10. Para este caso en particular se va a trabajar con la red de acceso y dentro de ella los enlaces entre Radiobases.

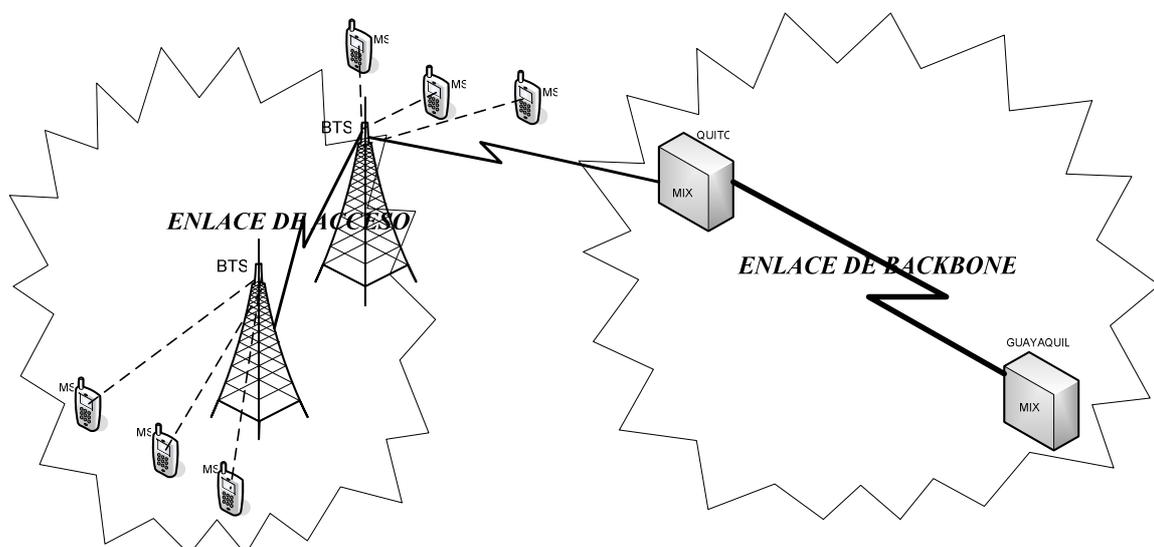


Figura 1. 10 Tipos de Enlaces

1.1.3.1.1 Backbone

El enlace de backbone es la columna vertebral de las redes, es un enlace de gran capacidad con una serie de nodos de conexión que forman un eje principal. Este tipo de enlace cubre, por lo general, una región o un país.

1.1.3.1.2 Acceso

La red de acceso de un sistema celular está básicamente constituida por dos elementos:

- La BTS que implementa el conjunto transmisor/receptor de radio de la red celular.
- El enlace entre radiobases.

Las BTS deben ser instaladas de tal forma que el enlace entre ellas brinde servicio al mayor porcentaje posible de suscriptores en el área de servicio de un operador, por su cantidad, y por las condiciones de localización necesarias para su emplazamiento, generalmente constituyen el conjunto de elementos más costoso de la implementación de una red celular.

Para el diseño de los enlaces se debe colocar las BTS tomando en cuenta los parámetros que faciliten su ubicación, por lo tanto es recomendable ubicar la BTS en un lugar con acceso a energía eléctrica pública ya que caso contrario se incurriría en gasto de plantas generadoras. Adicionalmente, es importante el tipo de acceso que se tenga hacia la BTS ya que al tener caminos en buenas condiciones permitirá instalar cómodamente esta estructura e incluso acceder de manera rápida ante una falla de la misma.

Al planificar la red de acceso se deben tomar en cuenta aspectos comerciales, tales como brindar cobertura en sitios donde el tráfico puede ser bajo pero donde resulta imprescindible para los usuarios tener servicio. Tal es el caso de las

carreteras y autopistas, donde el tráfico puede ser escaso, pero es necesario dar cobertura en la mayor parte posible del trayecto, atendiendo a la eventualidad que un usuario en caso de accidente o desperfecto mecánico pueda comunicarse.

Adicionalmente, las características de propagación son determinantes para el establecimiento de un enlace, como se analizará a continuación.

1.1.3.2 Propiedades de las ondas de Radio

El comportamiento de las ondas electromagnéticas dependerá de la naturaleza del terreno, la frecuencia y la polarización, así como también de los fenómenos climáticos y atmosféricos.

En la atmósfera de la tierra la propagación del frente de onda puede verse afectada por el comportamiento del espacio libre, por efectos ópticos como la refracción, la difracción, la reflexión, e interferencia.

1.1.3.2.1 Refracción.

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa oblicuamente de un medio a otro y en virtud del cual el rayo cambia de dirección y velocidad. Por lo tanto la refracción siempre ocurre cuando la onda de radio pasa de un medio a otro de diferente densidad.

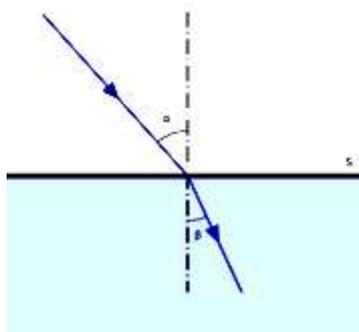


Figura 1. 11 Refracción⁸

⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Refracci%C3%B3n>

Cuando un haz incide sobre la superficie que separa dos medios, por ejemplo el aire y el agua, parte de la luz incidente se refleja, mientras que la otra parte se refracta y penetra en el segundo medio. Aunque el fenómeno de la refracción se aplica fundamentalmente a las ondas luminosas los conceptos son aplicables a cualquier onda incluyendo las electromagnéticas.

1.1.3.2.2 Reflexión

La reflexión electromagnética ocurre cuando un haz incide sobre una superficie pulida y lisa, produciéndose un rebote hacia el mismo medio, entonces se dice que se refleja y cumple las llamadas "leyes de la reflexión".

1. El haz incidente forma con la normal un ángulo que es igual al formado entre el rayo reflejado y la normal, el cual se denomina ángulo reflejado y posee la misma velocidad del haz incidente.

- 2.- El rayo incidente, el reflejado y la normal están en el mismo plano. (Si el rayo incidente se acerca al 2^{do} medio en el plano del papel, el reflejado estará en ese plano y no se irá ni hacia adelante ni hacia atrás).

- 3.- La intensidad del campo reflejado es menor que la del campo incidente. El haz se refleja también en las superficies que no son lisas pero lo hace originando rayos que no son paralelos entre sí, este tipo de reflexión se conoce como reflexión difusa. Cada rayo del haz cumple las leyes de la reflexión, pero las normales no son paralelas entre sí, los rayos reflejados no rebotan paralelos entre sí.

Este fenómeno se presenta en la propagación de microondas y puede afectar a la señal recibida, puesto que se transmite tanto la señal directa como reflejada, estas coincidirán en el receptor y dependiendo de si las mismas se encuentran en fase o no la señal puede cancelarse o reforzarse, las pérdidas en este caso se denominan desvanecimiento por múltiples trayectorias.

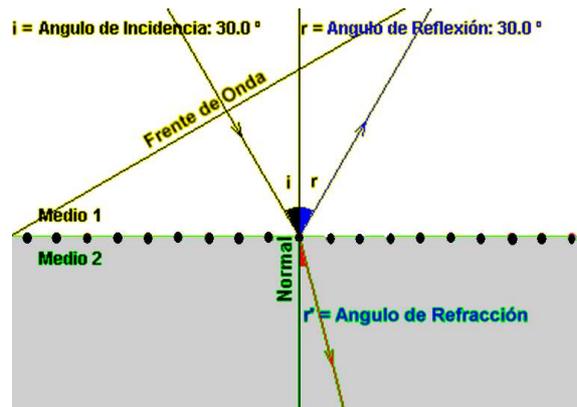


Figura 1. 12 Reflexión de ondas.⁹

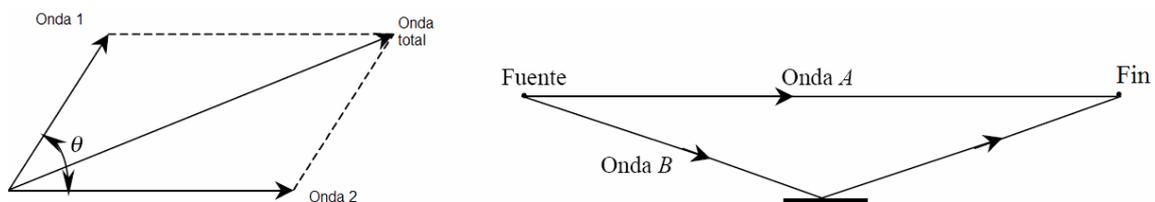


Figura 1. 13 Suma de Trayectorias de Reflexión¹⁰

1.1.3.2.3 Difracción.

Se define difracción como la modulación o redistribución de energía, dentro de un frente de onda, cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que cuando una onda electromagnética pasa por un obstáculo en el espacio la onda es desviada alrededor del objeto

La difracción sólo se observa si el obstáculo que encuentran las ondas es del mismo orden que la longitud de onda del movimiento ya que cuando es mayor, las ondas siguen la propagación rectilínea.

⁹ http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas3/ondas3_indice.htm

¹⁰ Tomasi, Wayne. "Sistemas de comunicaciones electrónicas", 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

1.1.3.2.4 Interferencia¹¹

Interferencia.- Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

Interferencia admisible.- Interferencia observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de interferencia y de compartición que figuran en el presente Reglamento o en Recomendaciones UIT-R o en acuerdos especiales según lo previsto en el presente Reglamento.

Interferencia aceptada.- Interferencia, de nivel más elevado que el definido como interferencia admisible, que ha sido acordada entre dos o más administraciones sin perjuicio para otras administraciones.

Interferencia perjudicial.- Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación explotado de acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones (CS)¹².

1.1.3.3 Cobertura

La planificación de la cobertura requiere que el operador posea mapas detallados del área del enlace con parámetros en tres dimensiones, con lo que se considerará la altura de las elevaciones edificaciones y cualquier otro elemento que puede llegar a interponerse en la propagación del enlace.

¹¹ Plan Nacional de Frecuencias (SENATEL)

¹² **CS:** Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

Es importante tomar en cuenta ciertos parámetros fundamentales para que el enlace se realice correctamente tales como potencia de transmisión, altura de la antena, ganancia de la antena, ubicación, distancia y directividad. También se tienen otros aspectos a ser considerados como colinas, edificios, etc, que afectan la cobertura radioeléctrica.

Al definir la ubicación geográfica de las BTS se determinará en qué lugar específico deben ser instaladas las antenas receptoras y transmisora de las estaciones de enlace.

La distancia es un parámetro muy importante en el diseño de un radio enlace ya que dependiendo de ésta se tendrán mayores o menores niveles de pérdidas, lo cual resulta crítico si se considera que los enlaces son usados para transmitir a varios kilómetros con altos estándares de calidad y confiabilidad, en distancias que pueden llegar hasta 80Km.

La directividad es una característica de una antena que nos muestra la relación entre la potencia que ésta emite en una dirección determinada respecto la potencia total que consume.

1.1.3.3.1 Polarización

La polarización de las antenas es una característica importante a tener en cuenta en el diseño de un enlace, la polarización se refiere a la orientación del campo eléctrico radiado respecto de la antena, esta puede ser lineal (horizontal o vertical), elíptica o circular. Los enlaces de microondas pueden efectuar transmisiones simultáneas utilizando la misma frecuencia pero con diferente polarización. Por lo tanto, el llevar un sistema de polarizaciones en la red de enlaces de una forma adecuada, incrementará notablemente el número de enlaces que pueden estar operativos.

1.1.3.3.2 Línea De Vista

Teóricamente, un sistema de línea de vista puede darse en terrenos sin grandes barreras naturales, estos sistemas soportan una gran gama de aplicaciones, desde un pequeño hasta un gran sistema de canales telefónicos o varios canales de televisión con altos niveles de calidad y confiabilidad.

Hay que tomar en cuenta que para los sistemas que requieren línea de vista las ondas concentran la energía radiada en pocos Kilómetros y viajan en línea recta desde la antena transmisora hacia la antena receptora, este tipo de ondas se las conoce como espaciales, las cuales se refractan en la tropósfera (capa de la atmósfera que está inmediatamente sobre la superficie terrestre, su altura es aproximadamente 10 km).

Las ondas espaciales se encuentran limitadas por la curvatura de la tierra, sin embargo, cuando viajan por la tropósfera, las ondas de radio se curvan o difractan más allá del horizonte óptico, distancia llamada horizonte de radio, que es de aproximadamente cuatro tercios del horizonte óptico. La refracción es causada por la tropósfera, debido a cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y conductividad relativa. El horizonte de radio depende de la altura de las antenas, y puede aumentarse simplemente elevando a las antenas transmisora o receptora, como se muestra en la figura 1.15

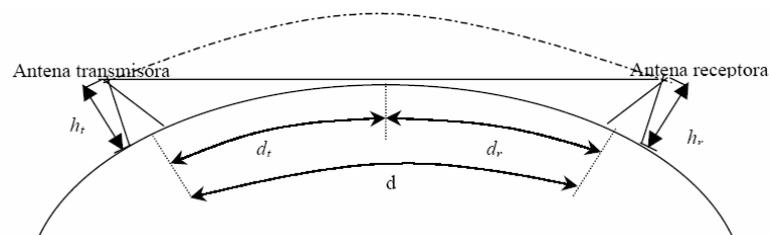


Figura 1. 14 Aumento del horizonte de óptico y de radio con el tamaño de las antenas¹³

¹³ Tomasi, Wayne. "Sistemas de comunicaciones electrónicas", 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

1.1.3.3 Gráficas de Radiación

Generalmente, el análisis de un sistema de radiocomunicaciones incluye la modelación gráfica del área que se encuentre cubierta por una señal determinada; esto con el objeto de establecer la zona geográfica donde se puede recibir la señal y principalmente la distancia de reutilización de una frecuencia dada. En el caso de los enlaces de microonda, los gráficos de radiación presentan una característica directiva que depende principalmente de la apertura de irradiación de la antena, cada una en particular presentará un patrón de radiación específico, sin embargo, en la mayoría de los casos tendrán aperturas pequeñas y azimut de radiación máxima donde se concentra la mayor parte de la energía como se muestra en el siguiente figura.

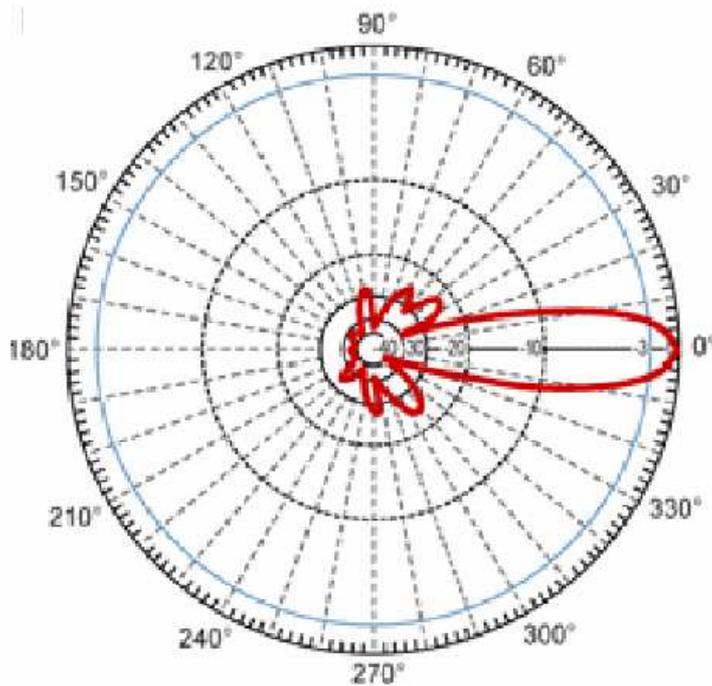


Figura 1. 15 Gráfica de radiación¹⁴

1.1.3.4 Capacidad

Uno de los factores del diseño de una red de telecomunicaciones es determinar los recursos a ser asignados para que todos los usuarios puedan establecer comunicaciones sin percibir falta de recursos.

¹⁴ Manual de equipo Hyperlink HG5824D

El hecho de determinar los recursos a ser asignados permitirá evitar inversiones en equipamiento adicional, lo cual afectaría económicamente a las perspectivas del negocio.

En telefonía celular no se puede predecir exactamente cuántos usuarios se van a tener en cada celda del área de servicio, y mucho menos cuándo se van a realizar llamadas, para esto se realiza un modelo estadístico de distribución de usuarios y de tasa de utilización individual del servicio.

El objetivo de modelar el tráfico es determinar qué capacidad de canales es necesaria en cada celda para atender las necesidades de los usuarios, de manera que la probabilidad que un usuario no encuentre recursos, en el momento en que establece su comunicación, debe ser muy baja. Esto se conoce como sobreasignación de recursos a los usuarios, lo que significa que un mismo canal radioeléctrico puede estar asignado simultáneamente a varios usuarios potenciales, de los cuales uno solo va a poder hablar a la vez.

Las comunicaciones generadas en una celda deben transmitirse hacia el resto de componentes de la red a través de los enlaces de microonda, por lo que estos deben soportar toda la capacidad establecida por la BTS.

1.1.3.4.1 Intensidad de Tráfico

La intensidad de tráfico cursada por un conjunto de canales resulta de sumar todos los tiempos de ocupación de cada uno de los canales durante un intervalo, y al valor resultante dividirlo por la duración de dicho intervalo de observación. Típicamente se mide en Erlangs, y se puede interpretar que 1 Erlang equivale a un canal ocupado durante el 100% del tiempo de observación. La forma de calcular el tráfico promedio cursado por un conjunto de canales durante un período de observación de una hora se muestra en la siguiente ecuación.

$$T(\text{Erlang}) = \frac{\text{No llamadas por hora} \times \text{Duración promedio llamadas(seg)}}{3600(\text{seg})} \quad \text{Ecuación 1. 1}^{15}$$

A los efectos de la determinación de la intensidad de tráfico no cuenta quién origina la comunicación, por lo que se deberán sumar tanto las llamadas terminadas como originadas.

1.1.3.4.2 *Grado de Servicio.*

El grado de servicio (GOS o *Grade of Service*) es la probabilidad de pérdida de llamadas que arriban a un conjunto de canales. Se puede decir que un grado de servicio de 1% es interpretado como que se bloquearán en promedio 1 de cada 100 llamadas ofrecidas a la red celular, esto se da por que la llamada bloqueada no dispone de un canal para cursarla en el momento de su ocurrencia, es por esto que se debe diseñar el sistema para que dicha probabilidad sea despreciable frente a otras causas posibles de que no se pueda realizar una llamada.

Todas las llamadas se perderían si el grado de servicio es 1, y todas las llamadas encontrarían recursos para cursarse si el grado de servicio es 0. Generalmente el grado de servicio definido en un sistema celular móvil es 0,02; es decir que por diseño no se deben perder más del 2% de las llamadas originadas o terminadas en una celda, por falta de canales libres.

1.1.3.5 **Diseño de Enlaces de Acceso**

1.1.3.5.1 *Zonas de Fresnel*

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de constatar una visibilidad directa entre las dos antenas.

Este factor se deriva de la teoría de ondas electromagnéticas, con respecto a la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión genera

¹⁵ José María Hernando Rábanos, "Comunicaciones Móviles", Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1997

reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de señal recibido.

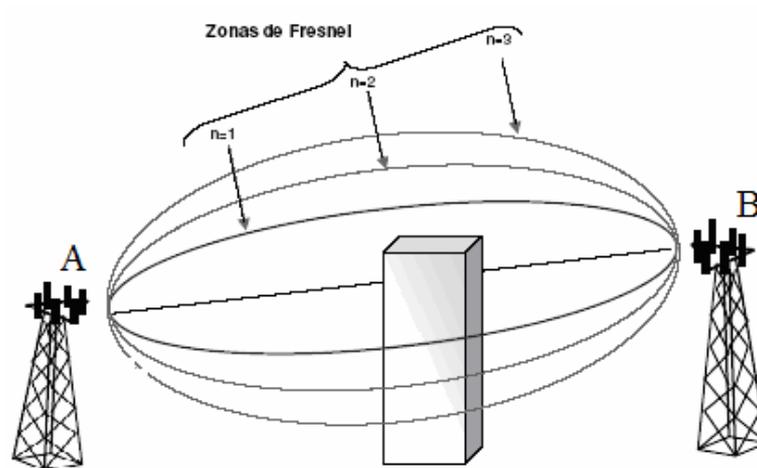


Figura 1. 16 Elipsoide de Fresnel

En la anterior figura se puede observar como se manifiestan los elipsoides de Fresnel, si se realiza un corte transversal a dicho elipsoide, se puede visualizar al plano resultante como se muestra en la figura 1.17.

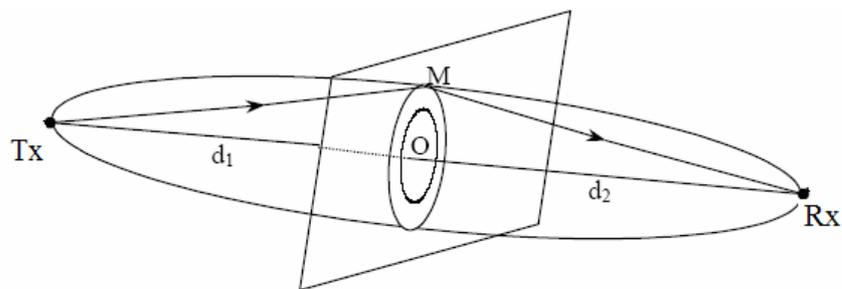


Figura 1. 17 Corte transversal del elipsoide de Fresnel¹⁶

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsiguientes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras.

¹⁶ Tomasi, Wayne. "Sistemas de comunicaciones electrónicas", 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

Huygens estableció el principio que considera a cada punto de un frente de onda como un manantial de nuevas ondas, tomando en cuenta esta consideración, cada punto del frente de onda "O" emite ondas secundarias en fase, que al llegar al destino Rx tendrán fases distintas ya que han recorrido diferentes distancias, el campo resultante debido a las ondas secundarias de las zonas n-ésimas, los valores sucesivos de los campos en la zona n tendrán signos alternados, dado que en un cambio de fase de π , la resultante de esta sumatoria es igual la mitad del de la primera zona. Por lo tanto. Esto permite definir la condición de propagación con visibilidad, la cual establece que es suficiente con dejar libre el 55% lo cual se generaliza a 60% del radio de la primera zona de Fresnel para que el nivel de la señal en el receptor sea igual al que se recibiría en el espacio libre.

Para establecer las zonas de Fresnel, se determina que radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio r se puede calcular como sigue.

$$r = 548 \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad \text{Ecuación 1. 2}^{17}$$

r = radio en metros.

d = distancia en km.

f = frecuencia transmitida en megahertz.

La ecuación genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 548 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} \quad \text{Ecuación 1. 3}$$

Donde:

¹⁷ José María Hernando Rábanos: " Transmisión por Radio". Editorial Centro de Estudios. Ramon Areces, S.A., Madrid 1993.

r_n = radio de la n ésima zona de Fresnel.

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km.

d = distancia total del enlace en km.

f = frecuencia en MHz.

1.1.3.5.2 El Despeje¹⁸

El despeje “*clearance*” se le denomina a la distancia entre la línea de vista “LDV” y el perfil del terreno a lo largo de un trayecto que permita la recepción del 60% de la primera zona de Fresnel. Para esto es necesario tomar en cuenta que a pesar que la energía de las ondas electromagnéticas tiende a viajar en línea recta, normalmente se curva hacia abajo debido a la refracción atmosférica. La magnitud del radio de esta curvatura varía con las condiciones atmosféricas. El grado y la dirección de la curvatura se pueden definir convenientemente por un factor de radio equivalente de la tierra (k)

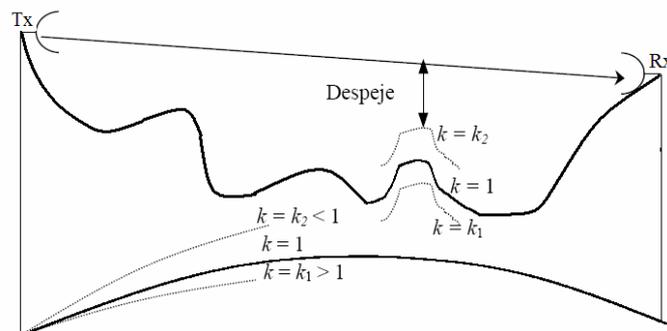


Figura 1. 18 Ilustración del concepto de Despeje y de su variación respecto a k ¹⁹

Para el trayecto sobre la tierra consideramos que el valor mínimo de $K = 0,75$ que le corresponde a un radio ficticio de la tierra de 4.800 Km. y tendrá un desplazamiento de la altura de los obstáculos, debido a la variación de la curvatura aparente de la tierra de:

“Apuntes de Comunicaciones II”, Ing., Msc Dimas Mavares T, Departamento de Ingeniería Electrónica, UNEXPO.

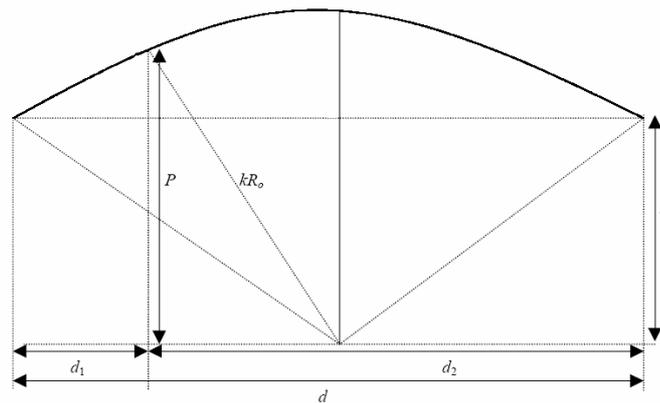
¹⁹ Tomasi, Wayne. “Sistemas de comunicaciones electrónicas”, 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{2Ro} \left(\frac{1}{k1} - \frac{1}{k2} \right) \quad \text{de donde } K1 = 0.75 \text{ y } K2 = 1$$

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{2Ro} \left(\frac{1}{0,75} - \frac{1}{1} \right)$$

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{39}$$

Ecuación 1. 4

Figura 1. 19 Cálculo de despeje²⁰

Siendo \$d_1\$ y \$d_2\$ las distancias en kilómetros del obstáculo entre los terminales Tx y Rx. Tomando en cuenta la curvatura de la tierra antes descrita, el “clearance” o distancia entre el trayecto directo y el perfil trazado con el valor real del radio de la tierra, será al momento igual a:

$$C(\text{metros}) = 0.6 \sqrt{\lambda \frac{d1 * d2}{d} 10^3 + \frac{d1 * d2}{39}} \quad \text{Ecuación 1. 5}$$

De donde \$\lambda\$ está dado en metros.

Dado que para vanos sobre el agua, el \$k\$ mínimo esperado es 0.625 con un radio ficticio de la tierra de 4000 kilómetros, se puede decir que:

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{2Ro} \left(\frac{1}{k1} - \frac{1}{k2} \right) \text{ de donde } K1 = 0.625 \text{ y } K2 = 1$$

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{2Ro} \left(\frac{1}{0.625} - \frac{1}{1} \right)$$

$$\Delta h(\text{metros}) = \frac{d1 * d2}{21}$$

Ecuación 1. 6

²⁰ Tomasi, Wayne. “Sistemas de comunicaciones electrónicas”, 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

Para este caso el “clearance” será al menos igual a:

$$C(\text{metros}) = 0.6 \sqrt{\lambda \frac{d_1 * d_2}{d} 10^3 + \frac{d_1 * d_2}{21}} \quad \text{Ecuación 1. 7}$$

1.1.3.5.3 Reflexiones del terreno

Las reflexiones en el terreno pueden causar efectos significativos sobre la señal recibida. En el caso de reflexión sobre tierra plana la señal resultante en el receptor R consiste en la combinación del rayo directo Tx-Rx y el reflejado M -Rx como se muestra en la siguiente figura:

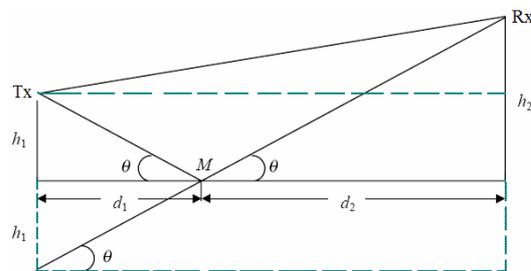


Figura 1. 20 Reflexión sobre tierra plana²¹

Las reflexiones causan en la fase atenuación y desplazamiento, los efectos de la misma dependen directamente del coeficiente de reflexión del terreno. Por lo tanto, es conveniente calcular el punto de reflexión, para determinar en que tipo de terreno incide la onda reflejada. De esta manera se puede tener un estimado de como afecta la onda reflejada a nuestro sistema. La siguiente tabla presenta las magnitudes típicas de los coeficientes de reflexión y las pérdidas que sufre la onda reflejada para distintos tipos de terrenos y frecuencias.

²¹ Tomasi, Wayne. “Sistemas de comunicaciones electrónicas”, 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

Frecuencia	Agua		Prado		Campo		Ciudad, bosque, montaña	
	ρ	Pérdidas (dB)	ρ	Pérdidas (dB)	ρ	Pérdidas (dB)	ρ	Pérdidas (dB)
2GHz	1	0	0.8	2	0.6	4	0.3	10
4GHz	1	0	0.8	2	0.5	6	0.2	14
6GHz	1	0	0.8	2	0.5	6	0.2	14
11GHz	1	0	0.8	2	0.4	8	0.16	16

Tabla 1. 1 Tabla de pérdidas de coeficientes de reflexión.²²

Una variable importante a considerar en el diseño de radioenlaces es la rugosidad, que se define como la desviación estándar de las alturas del perfil sobre el nivel del mar, tomando muestras al menos cada Km. y excluyendo los extremos. Se puede decir que la Rugosidad esta expresada en la siguiente ecuación:

$$Ri = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (Xi - \bar{X})^2} \quad \text{Ecuación 1. 8}^{22}$$

De donde:

Xi es la altura en el punto i

\bar{X} Es el valor promedio de todos los puntos del vano excluyendo los extremos, y esta dado por:

$$\bar{X} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} Xi \quad \text{Ecuación 1. 9}^{22}$$

La Rugosidad es un factor importante para determinar las condiciones de propagación que presenta un enlace ya que en un trayecto con alta rugosidad, este dará condiciones de propagación desfavorables, de esto se puede concluir

²² "Apuntes de Comunicaciones II", Ing., Msc Dimas Mavares T, Departamento de Ingeniería Electrónica, UNEXPO.

que los terrenos con características irregulares atenúan o eliminan la onda reflejada en tierra.

1.1.3.5.4 Cálculo de la Ubicación del Punto de Reflexión.

El método corto para el cálculo del punto de reflexión se determina en primera instancia a partir del siguiente punto de vista: “Para distancias pequeñas ($d < 10\text{Km.}$) la tierra se puede considerar plana, y de acuerdo con la figura se tiene”²³

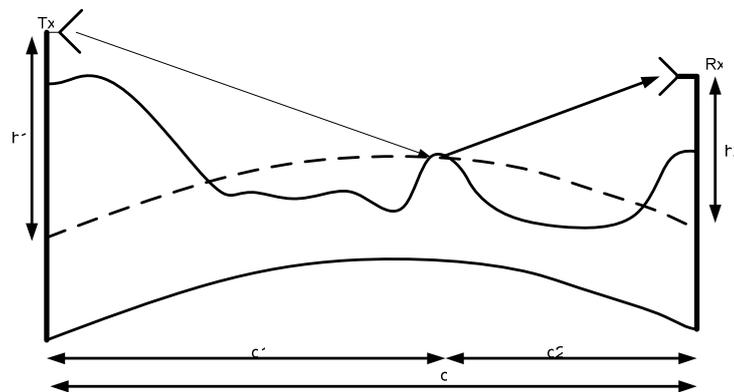


Figura 1.21

Figura 1. 21 Punto de Reflexión²⁴

$$d1 + d2 = d$$

$$\frac{h1}{d1} = \frac{h2}{d2}$$

$$d1 = \frac{h1 * d}{h1 + h2}$$

Ecuación 1. 10

Dado que $h1$, d , $h2$ son datos es posible determinar el punto de reflexión. De donde $d2 = d - d1$.

1.1.3.5.5 Link Budget del Enlace

Una vez determinado el LDV del enlace se procede a determinar el Link Budget (presupuesto del enlace) del cual se parte por especificar los parámetros que se consideran como datos de partida que son:

²³ Cálculo de Radioenlaces de Microondas. C.N.T.E , Anexo VI

²⁴ Tomasi, Wayne. “Sistemas de comunicaciones electrónicas”, 2^{da} Edición, Prentice Hall, 1996

Potencia de transmisión, P_{tx}: Se selecciona tomando en cuenta las características de los equipos que se disponen, considerando que debe ser lo más pequeña posible de tal forma que se minimice la posible interferencia con enlaces existentes o futuros.

Ganancia de transmisión G_{tx} y recepción G_{rx}: Se selecciona tomando en cuenta las características de las antenas que se disponen.

Umbral de Recepción, U_m: Se trata del valor mínimo de potencia recibida por el receptor. Dado que en las características de los equipos el dato equivalente al U_m es la Sensibilidad, se tomará este para efectos de toma de datos en la herramienta desarrollada.

Una vez determinados estos parámetros se procede a hacer el cálculo del Link Budget, que es el balance de pérdidas versus ganancias del enlace; para esto, se desea conocer la potencia en el receptor, dado los datos antes mencionados se lo realiza mediante la siguiente formula:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - P_{cctx} - P_{espaciolibre} + G_{rx} - P_{ccrx} \quad \text{Ecuación 1. 11}$$

De donde:

P_{rx}: Potencia de recepción.

P_{tx}: Potencia de transmisión.

G_{tx} y G_{rx}: Ganancias de transmisión y recepción.

P_{cctx} y P_{ccrx}: Pérdidas por cables y conectores de transmisión y recepción. Estas pérdidas se las determina de acuerdo al tipo de cable así como al grosor del mismo. Se ha tomando como ejemplo la tabla 1.1 para calcular esta pérdida y esta es:

Grosor de cable	(dB/mts)
1/2 "	0,065
7/8 "	0,0387
1 5/8	0,0228

Tabla 1. 2 Pérdidas de cables y conectores²⁵

Los datos corresponden a un cable coaxial típico por ser el más usado en estas aplicaciones, tomando el peor de los casos vamos a suponer que lo usuarios usan el cable 1/2" con una distancia de unos 30 metros para esto se tiene una pérdida de 1,95dB.

Pérdida en el espacio libre, $P_{\text{espaciolibre}}$: Se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía por los objetos cercanos. Se da por:

$$P_{\text{espaciolibre}} = 32.4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log D(\text{km}). \text{ Ecuación 1. 12}^{26}$$

$$P_{\text{espaciolibre}} = 92.4 + 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log D(\text{km}). \text{ Ecuación 1. 13}^{22}$$

Una vez obtenida la Potencia de recepción y ya que se tiene como dato el Umbral de recepción, se puede determinar el Margen de Desvanecimiento que es un "factor de acolchonamiento" que se explica mejor en la Figura 1.22:

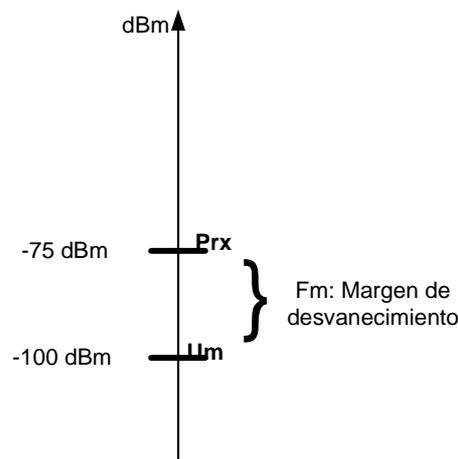


Figura 1. 22 Margen de Desvanecimiento

²⁵ SENATEL.

²⁶ Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Segunda Edición, Prentice Hall Hispanoamérica S.A., 1996.

El margen de desvanecimiento viene dado por:

$$F_m = P_{rx} - U_m \quad \text{Ecuación 1. 14}$$

De tal manera que para la figura se puede decir que $F_m = -25\text{dBm}$

El margen de desvanecimiento también involucra el desvanecimiento producido por la propagación de múltiples trayectorias y asociado a la rugosidad del terreno, así como los objetivos de confiabilidad del sistema. Los cuales vienen expresados en la siguiente ecuación.

$$F_m = 30\log D + 10\log(6ABf) - 10\log(1-R) - 70 \quad \text{Ecuación 1. 15}^{27}$$

Donde.

F_m: Margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad

D: Distancia (km)

f: Frecuencia (GHz)

R: Confiabilidad (expresada como decimal)

1-R: Objetivo de confiabilidad.

A: Factor de rugosidad

B: Factor para convertir una probabilidad del peor mes en una probabilidad anual.

Teniendo estos datos se procede a despejar la ecuación, para así obtener el valor del factor de confiabilidad (R); la confiabilidad de un radioenlace se determina por el porcentaje de tiempo para el que la relación señal a ruido se mantenga. Este factor no debe ser menor a 99.99% para así determinar que el enlace es completamente viable.

²⁷ Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Segunda Edición, Prentice Hall Hispanoamérica S.A., 1996.

Despejando R se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{fm}{10} &= 3\log D + \log(6ABf) - \log(1-R) - 7 & 1-R &= \frac{D^3(6ABf)}{10^{\left(7+\frac{fm}{10}\right)}} \\ \log(1-R) &= \log D^3 + \log(6ABf) - 7 - \frac{fm}{10} & R &= 1 - \frac{D^3(6ABf)}{10^{\left(7+\frac{fm}{10}\right)}} \\ \log(1-R) &= \log D^3 + \log(6ABf) - \log 10^{\left(7+\frac{fm}{10}\right)} & & \\ \log(1-R) &= \log \frac{D^3(6ABf)}{10^{\left(7+\frac{fm}{10}\right)}} & & \end{aligned}$$

Ecuación 1. 16

1.2 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DE ENLACES ENTRE RADIOBASES DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS).

Las herramientas a ser usadas en el desarrollo del presente sistema trabajan bajo el Sistema Operativo Windows XP Profesional, adicionalmente las mismas han sido escogidas en función de los requerimientos del usuario de la SENATEL, es por esto que se trabajará con las siguientes herramientas:

- Plataforma de Desarrollo: Visual C# .NET 2003 (Microsoft Corporation)
- Base de datos: SQL Server 2000 (Microsoft Corporation) Manejo de Mapas

Para el mejoramiento visual se utilizo controles especiales proporcionados por Infragistics 2003. (ABOX).

Para seleccionar la herramienta que manejará el área de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) se realizará previamente un análisis del cual resultará la herramienta GIS a ser utilizada.

1.2.1 VISUAL C# .NET 2003

Visual C# .NET 2003 es una herramienta que a más de ofrecer las facilidades de .NET, permite crear servicios Web XML y aplicaciones conectadas a Microsoft .NET de una manera eficaz. C# es un lenguaje de programación moderno e innovador con características similares a las de lenguajes industriales y de investigación. Manteniendo la filosofía de diseño de C#, y adicionalmente se han añadido con el fin de aumentar la productividad del desarrollador con construcciones de lenguaje varias características potenciales al lenguaje C# de las cuales se puede enunciar las siguientes:

- Sencillez: Dado que en C# el tamaño de los tipos de datos básicos es fijo se facilita la portabilidad del código adicionalmente se eliminan elementos conflictivos encontrados en otros lenguajes como macros, herencia múltiple, etc.
- Modernidad: En C# se encuentran elementos que en otros lenguajes de programación no están definidos y deben simularse, como es el caso del tipo básico decimal, capaz de manejar números reales con una precisión de 128 bits que permite realizar operaciones de alta precisión.
- Orientación a objetos: C# soporta todas las características de la programación orientada a objetos: encapsulamiento, herencia y polimorfismo, incluso en estas características proporciona ciertas ventajas.
- Orientación a componentes: C# incluye elementos propios del diseño de componentes como la definición de propiedades, eventos o atributos.

- Gestión automática de memoria: C# posee el recolector de basura (Garbage Collector) por lo que no es necesario incluir instrucciones de manejo de memoria o de destrucción de objetos.
- Seguridad de tipos: C# mediante ciertos mecanismos permite asegurar los accesos a tipos de datos, de esta manera no se pueden usar variables no inicializadas, se puede controlar la producción de desbordamientos en operaciones aritméticas, C# incluye delegados, similares a los punteros a funciones de C++ pero con un enfoque orientado a objetos, etc.
- Sistema de tipos unificado: En C# los tipos de datos que se definan siempre se heredarán de ValueType, y de forma implícita de System.Object, gracias a lo cual se consigue que estos tipos sean tratados como objetos cuando la situación lo requiera.

C# permite la comunicación entre las bases de datos tanto geográficas como las que se utiliza para almacenar los datos de los enlaces en la SENATEL, y a la vez permite presentar y manejar todos estos datos en una interfaz amigable de comunicación con el usuario.

Una de las limitaciones mas importantes de C#, es que al usar el Framework se necesitan más recursos por lo que la compilación tiene una mayor duración.

1.2.2 SQL SERVER

El nombre "SQL" es una abreviatura de *Structured Query Language* (Lenguaje de consultas estructurado). Mediante esta herramienta se puede organizar, gestionar y recuperar datos que previamente han sido almacenados en una base de datos informática. Para el presente proyecto SQL Server será la herramienta mediante la cual se gestione la base de datos de los usuarios y la Base de datos implícita en los mapas GIS a la que se denomina base de datos espaciales la cual es un arreglo ordenado de datos georreferenciados relacionados entre sí, clasificados y

agrupados según sus características e integrados para el desarrollo de aplicaciones y análisis sobre la información.

SQL Server es un sistema administrador para Bases de Datos relacionales basadas en la arquitectura Cliente / Servidor, para separar la carga de trabajo en tareas que corran en computadoras tipo Servidor y tareas que corran en computadoras tipo Cliente:

- La parte lógica y la de presentación de información al usuario le pertenece al Cliente, el mismo que corre en una o más computadoras Cliente, aunque también puede correr en una computadora Servidor con SQL Server.
- La administración de las Bases de Datos y distribución de los recursos disponibles en el servidor entre las múltiples peticiones es trabajo del Servidor.

1.2.3 INFRAGISTICS NETADVANTAGE 2003

Se ha escogido en entorno de componentes de presentación Infragistics NetAdvantage 2003, ya que es una herramienta que posee todo lo que necesita para crear GUIs (*Graphic User Interface*) detallados y robustos, es decir contiene todos los elementos y componentes necesarios para crear y diseñar, de manera fácil, eficiente y productiva, aplicaciones avanzadas para cualquier ambiente MS Windows, Web Services XML, y Tablet PC.

Infragistics NetAdvantage 2003 es el conjunto de herramientas ideal para la creación de interfases de usuario de excelente calidad para aplicaciones basadas en MS Windows®, Web Services XML, y soluciones Web. Sus

múltiples herramientas incluyen soporte para ASP.NET, aplicaciones .NET, aplicaciones COM y soporte a aplicaciones para Tablet PC.

En el desarrollo del presente sistema se utiliza para graficar los datos geográficos tal como se presenta en el *linkbudget* del enlace, para lo cual se adquiere los datos geográficos y los calculados por el sistema y luego se procede a graficarlos con un orden lógico.

Dentro de los componentes que Infragistics NetAdvantage 2003 proporciona se puede anotar los siguientes:

- UltraWinGrid 2.0.- le da unos avanzados controles por rejillas para .NET Windows Forms con enlaces verdaderamente jerárquicos.
- UltraWinSchedule.- brinda componentes avanzados .NET para calendarios que le dan una vista y una sensación similar a Microsoft Outlook.
- UltraWinTree.- le da un control .NET por árboles avanzado que sobrepasa la vista y la funcionalidad del mismo control de Visual Studio .NET.
- UltraWinChart.- Es un control de presentación por capas, presenta visualmente información cuantitativamente y categoricamente y con facilidad sin precedentes en aplicaciones con Windows Forms. UltraWinChart brinda posibilidades gráficas mejoradas.
- UltraWinToolBars.- proporciona Windows XP y 2000 junto al poder de .NET le da a la vista y funcionalidad UI esencial para cualquier aplicación de presentación por capas, con características tales como barras de herramientas descoloridas y menús desplegables.

Dentro de las limitaciones que se le pueden atribuir a esta herramienta esta principalmente el soporte, ya que resulta una tarea muy complicada encontrar información sobre la misma, adicionalmente cuando se utiliza el UltraChart, este no soporta el despliegue de archivos del sistema, los gradientes de color son diferentes a los de .NET, y cuando se invoca al método UltraWebChartSaveTo, solo se puede guardar en los siguientes formatos PNG (*Portable Network Graphics*) y en JPG, por lo que formatos como BMP o TIFF no son soportados, entre otras.

1.2.4 ANÁLISIS DE POSIBLES HERRAMIENTAS GIS

Para escoger la herramienta GIS más adecuada se ha tomado en consideración las siguientes posibilidades:

- MapObjects (ESRI)
- Map Suite (ThinkGeo)
- MapPoint (Microsoft)
- Arc Objects (ESRI)

A continuación se desarrollará un análisis de cada una de ellas.

1.2.4.1 MapObjects

MapObjects - Windows Edition es un Control ActiveX compuesto por objetos, que permiten añadir funcionalidad GIS a aplicaciones basadas en entorno Windows existentes, o construir aplicaciones propias personalizadas.²⁸

Este control Active X proporciona herramientas útiles para el desarrollo de sistemas con funcionalidades de carácter cartográfico y geográfico, para desarrollar sistemas ligeros de visualización de datos, con consultas sencillas que faciliten el acceso a datos generados por aplicaciones GIS más sofisticadas como puede ser el caso de ARC GIS.

²⁸ www.esri.com

MapObject posee un gran número de objetos programables basados en la tecnología Windows estándar, también soporta múltiples formatos tales como: GIS, CAD, y numerosos formatos RASTER como GRID.

MapObject posee un modelo de objetos bien estructurado con la facilidad de poder ser empleados en cualquier entorno de desarrollo de aplicaciones, por lo que su uso se facilita enormemente, adicionalmente esta característica le permite ser utilizado desde los lenguajes más avanzados y complejos hasta los más sencillos, este es el caso de Visual Basic.

Mediante MapObject se pueden acceder a múltiples objetos y funciones GIS en donde se puede encontrar información geográfica la cual se ve soportada por la ayuda *on-line* y las aplicaciones ejemplo.

Otra funcionalidad interesante de MapObject es que se puede conectar a varias fuentes de datos como son ADO (*ActiveX Data Objects*), ArcSDE, DAO (*Data Acces Objects*), ODBC (*Open Database Connectivity*).

Una funcionalidad importante es la posibilidad de trabajar con versiones de capas de datos ArcSDE.

MapObject puede ser utilizado en un gran número de Frameworks y estos incluyen:

- Visual Basic
- Visual Basic for Applications (VBA)
- Visual C++
- Visual Studio.NET (VB.NET and C#)
- Delphi
- Borland C++ Builder
- Visual FoxPro
- PowerBuilder

Mapobject requiere un Sistema Operativo Windows de 32bits como son Windows N.T 4.0/2000/XP.

A pesar de ser una herramienta desarrollada por ESRI y basada en ArcView y ArcInfo, ésta puede trabajar con componentes externos sin la necesidad de tener los anteriormente mencionados instalados en el equipo.

El Zoom out de la herramienta se encuentra limitado a la extensión del mapa.

1.2.4.2 Map Suite Engine

Es un componente de bajo nivel, que provee un control completo sobre la presentación de los mapas, esta herramienta es un componente de librería que genera mapas y es el corazón de la línea de productos de Map Suite. Con esta herramienta se pueden controlar mapas en formato Windows o integrarlo a soluciones con Legacy ASP web en el Internet. El usuario puede manejar la diagramación.

Se puede desarrollar aplicaciones en el marco de .NET y Legacy ASP.

Para la utilización de esta herramienta, se la debe instalar y luego añadir el control Map Suite Map en la barra de herramientas del Visual Studio .NET. Esta herramienta posee buenas características de visualización pero en el manejo de datos relacionados con el mapa, sus características son muy limitadas.

Map Suite actualmente soporta componentes con el formato *Shapefile* (.shp), este es uno de los formatos más usados en la comunidad GIS.

Map Suite soporta consultas espaciales y de distancias tales como, consultar todo lo que contenga un área, solo lo que contenga, si esta contenida, si esta intersecada, distancia, entre otras. Las consultas de distancias podrán ser realizadas independientemente de las unidades del mapa.

Map Suite también permite a los desarrolladores realizar consultas SQL a la base de datos del mapa que este en uso. Los datos retornados en respuesta a la consulta antes mencionada pueden estar en formato de tablas de bases de datos o simplemente datos de lectura, de esta manera será posible usar grilla y otras herramientas de enlace

1.2.4.3 MapPoint

Microsoft MapPoint es una herramienta la cual permite el desarrollo de aplicaciones que permiten crear mapas y presentar datos de Microsoft Office, el cual permite realizar presentaciones geográficas de datos, localización de zonas, creación de mapas y trazos de rutas.

Permite almacenar el mapa como página Web, personalizar los símbolos, realizar complementos COM de Office, entre otras opciones. La integración completa con Microsoft Office, permite inclusive añadir un icono de acceso a en word, excel y powerpoint.

Una de las características de MapPoint de Microsoft es que se puede desarrollar herramientas de control de tráfico en tiempo casi real.

Adicionalmente incluye un modelo programable de objetos mediante Visual Basic, es decir que se pueden generar aplicaciones anexando mapas con el uso de el componente de MapPoint.

Esta herramienta es desarrollada por Microsoft, por lo cual su característica es propietaria lo cual representa una desventaja frente a las demás herramientas GIS. Pero, al mismo tiempo dada la difusión de estas herramientas en el mercado son de fácil y familiar uso para la mayoría de los usuarios.

1.2.4.4 ArcObjects

Es una plataforma de desarrollo para aplicaciones de la familia ArcGis que proporciona un conjunto de componentes de software con funcionalidad GIS e

interfaces programables, sin los cuales no se habría podido crear las aplicaciones de los clientes ofrecidas por ESRI (ArcMap y ArcCatalog).

ArcObjects se presenta como una serie de componentes de un Modelo de Objetos.

La tecnología ArcObjects cumple con las especificaciones COM (*Component Object Model*), y su empleo permite desarrollar nuevas herramientas y funciones, o crear flujos de trabajo para ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor y ArcInfo). También es posible, a través de desarrollos más avanzados, generar aplicaciones independientes que cumplan una funcionalidad concreta, así como añadir clases de elementos personalizadas para extender el modelo de datos de ArcGIS.²⁹

Todas las personalizaciones realizadas directamente con ArcObjects, se llevan a cabo a través de Visual Basic para aplicaciones (VBA) o lenguajes de programación que cumplen con las especificaciones COM, como Visual C++ o Delphi. Para acceder al potencial de ArcObjects, es necesario tener instalada una licencia de ArcView, ArcEditor o ArcInfo.

Para programadores principiantes, el uso de esta plataforma les resultará una tarea fuerte ya que en primera instancia se tropezarán con la dificultad de compartir partes del sistema ya que esta tarea requiere un conocimiento previo.

Adicionalmente la actualización de componentes sin recompilación se pronunciará como otra limitación para este desarrollador, la ausencia de buenos lenguajes y herramientas de modelación limitan el desempeño de ésta, y finalmente el hecho de que las herramientas y las interfaces personalizadas sean propietarias producen una extrema vinculación que no es agradable al usuario.

1.2.4.5 Cuadro Comparativo

²⁹ <http://www.esri-es.com>

Se han tomado en cuenta parámetros fundamentales para el desarrollo de esta aplicación, algunos de ellos serán definidos en los requerimientos del usuario que se verán en el capítulo 3.1.1.

Los parámetros a ser considerados se presentan en la siguiente tabla.

No		MapObjects	Map Suite Engine	MapPoint	ArcObjects
1	Trabajo con bases de datos	OK	OK	OK	OK
2	Multiplataforma	OK	NO	NO	NO
3	Costos	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
4	Programación de Aplicaciones en C#	OK	OK	OK	OK
5	Cálculos geográficos automáticos	OK	OK	NO	OK
6	Requerimientos de software propietario	NO	NO	SI	SI

Tabla 1. 3 Cuadro Comparativo de herramientas GIS

Tomando en cuenta los resultados del cuadro comparativo y las necesidades de la SENATEL se ha encontrado que la herramienta que brinda mas facilidades es MapObjects 2.3, y es por esto que se escogió esta herramienta para la desarrollo del presente sistema.

1.3 MARCO REGULATORIO APLICABLE A LA ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA ENLACES ENTRE RADIOBASES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

1.3.1 EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL PAÍS

Toda administración requiere establecer una estructura a través de la cual se lleven a cabo los procedimientos de regulación y control de los sistemas de telecomunicaciones. En la generalidad de los casos, es el Estado quien tiene a su cargo la responsabilidad de llevar estas tareas, principalmente por el carácter de servicios de interés general, y por el manejo de recursos escasos como por ejemplo la numeración y el espectro radioeléctrico. La Figura 1.23 se muestra la organización del sector regulatorio en el país.

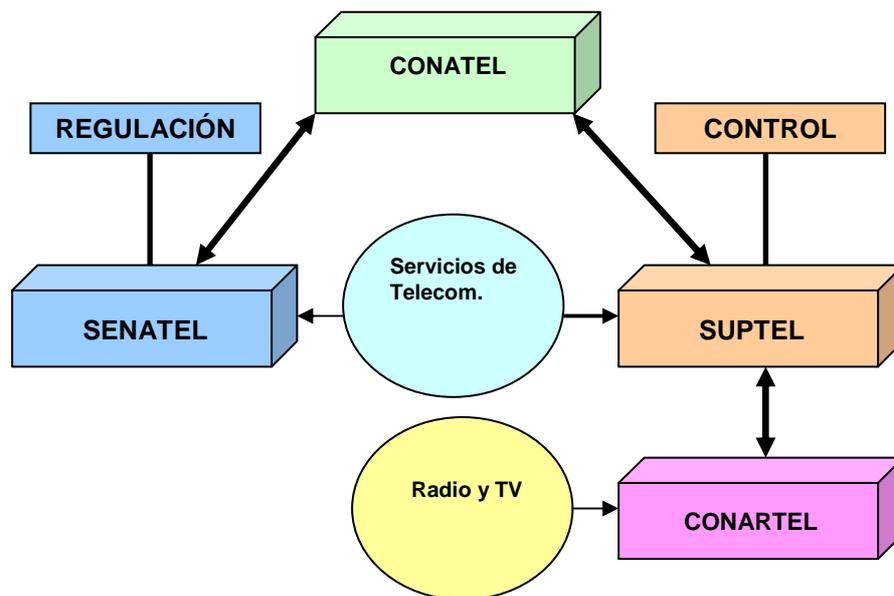


Figura 1. 23 Organismos de Regulación y Control de Telecomunicaciones en el País

Existen países en los que la regulación y el control se realizan bajo una misma Institución; en el Ecuador estas dos funciones se manejan por separado, de acuerdo con la organización que se detalla a continuación:

CONATEL(Consejo Nacional de Telecomunicaciones).- Es un ente colegiado; es decir compuesto por un grupo de personas con una representación específica, es una especie de directorio que tiene la representación máxima de las telecomunicaciones en el país, además de ejercer la representación internacional ante los organismos de regulación como son la UIT(Unión Internacional de Telecomunicaciones), CITEL (Comité Interamericano de Telecomunicaciones); cumple la función de dictar las políticas en telecomunicaciones que deben seguirse en el país.

El CONATEL actualmente está formado por seis miembros representantes de las siguientes instituciones:

- Un representante del Presidente de la República quien lo preside.
- El Secretario Nacional de Telecomunicaciones.
- El Superintendente de Telecomunicaciones.
- Un Representante de las Cámaras de la Producción.
- Un Representante del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.
- Un Representante de las SENPLADES(Secretaria Nacional del Planificación y Desarrollo)

Entre las funciones principales del CONATEL se encuentran las siguientes:³⁰

- a) Dictar las políticas del Estado con relación a las Telecomunicaciones;
- b) Aprobar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones;
- c) Aprobar el plan de frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico;
- d) Aprobar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones;

³⁰ “Ley Especial del Telecomunicaciones Reformada”

- e) Aprobar los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública, así como los cargos de interconexión que deban pagar obligatoriamente los concesionarios de servicios portadores, incluyendo los alquileres de circuitos;
- f) Establecer términos, condiciones y plazos para otorgar las concesiones y autorizaciones del uso de frecuencias así como la autorización de la explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones;
- g) Designar al Secretario del CONATEL;
- h) Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones;
- i) Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para el uso del espectro radioeléctrico;
- j) Expedir los reglamentos necesarios para la interconexión de las redes;
- k) Aprobar el plan de trabajo de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
- l) Aprobar los presupuestos de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
- m) Conocer y aprobar el informe de labores de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones así como de sus estados financieros auditados;
- n) Promover la investigación científica y tecnológica en el área de las telecomunicaciones;

- o) Aprobar los porcentajes provenientes de la aplicación de las tarifas por el uso de frecuencias radioeléctricas que se destinarán a los presupuestos del CONATEL, de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
 - p) Expedir los reglamentos operativos necesarios para el cumplimiento de sus funciones;
 - q) Declarar de utilidad pública con fines de expropiación, los bienes indispensables para el normal funcionamiento del sector de las telecomunicaciones;
 - r) En general, realizar todo acto que sea necesario para el mejor cumplimiento de sus funciones y de los fines de esta Ley y su Reglamentación;
- **SENATEL** (SECRETARIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES).- es el ente encargado de ejecutar las políticas dictadas por el CONATEL. Tiene a su cargo el elaborar la normativa y regulación para los diferentes servicios de telecomunicaciones. Por las funciones que cumple se puede considerar como el órgano de regulación en el sector.

La máxima autoridad en esta institución es el Secretario Nacional de Telecomunicaciones quien es nombrado directamente por el Presidente de la República, y a la vez actúa como miembro del CONATEL.

Las principales funciones que desempeña la SENATEL son:³¹

- a) Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL.

³¹ “Ley Especial del Telecomunicaciones Reformada”

- b) Ejercer la gestión y administración del espectro radioeléctrico;
- c) Elaborar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones y someterlo a consideración y aprobación del CONATEL;
- d) Elaborar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro Radioeléctrico y ponerlo a consideración y aprobación del CONATEL;
- e) Elaborar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones, que serán conocidas y aprobadas por el CONATEL;
- f) Conocer los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública propuestos por los operadores y presentar el correspondiente informe al CONATEL;
- g) Suscribir los contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones autorizados por el CONATEL;
- h) Suscribir los contratos de autorización y/o concesión para el uso del espectro radioeléctrico autorizados por el CONATEL;
- i) Otorgar la autorización necesaria para la interconexión de las redes;
- j) Presentar para aprobación del CONATEL, el plan de trabajo y la proforma presupuestaria de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
- k) Presentar para aprobación del CONATEL, el informe de Labores de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, así como sus estados financieros auditados;

- l) Resolver los asuntos relativos a la administración general de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
 - m) Promover la investigación científica y tecnológica en el campo de las telecomunicaciones;
 - n) Delegar una o más atribuciones específicas a los funcionarios de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones; y,
 - o) Las demás que le asignen esta Ley y su Reglamento.
- **SUPTEL** (La Superintendencia de Telecomunicaciones).- Es el ente de control de las telecomunicaciones en el Ecuador, se encarga de realizar el control sobre la prestación de los servicios, verifica que los parámetros de operación se encuentren de acuerdo con los especificados en los títulos habilitantes respectivos, controla los niveles de calidad brindados y tramita los reclamos y quejas de los usuarios.

Se encuentra dirigido por el Superintendente que es nombrado directamente por el Congreso Nacional para un período de cuatro años, de una terna enviada por el Presidente de la República.

Dentro de las funciones de la SUPTEL están:³²

- a) Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL;
- b) El control y monitoreo del espectro radioeléctrico;
- c) El control de los operadores que exploten servicios de telecomunicaciones;

³² "Ley Especial del Telecomunicaciones Reformada"

- d) Supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión para la explotación de los servicios de telecomunicaciones;
 - e) Supervisar el cumplimiento de las normas de homologación y regulación que apruebe el CONATEL;
 - f) Controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios aprobados por el CONATEL;
 - g) Controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco de libre competencia, con las excepciones señaladas en esta Ley,
 - h) Juzgar a las personas naturales y jurídicas que incurran en las infracciones señaladas en esta Ley y aplicar las sanciones en los casos que correspondan;
 - i) Las demás que le asigne la Ley y el Reglamento.
- **CONARTEL** (Consejo Nacional de Radio y Televisión).- Se encarga de todo el manejo referente a los sistemas de radiodifusión y televisión, para el efecto mantiene relación directa con la SUPTEL.

La estructura del sector de las Telecomunicaciones en el Ecuador podría decirse que tiene cierta complejidad al estar manejado por cuatro entidades, lo que incrementa la trama burocrática existente. No obstante, se encuentran bien marcados dos grandes sectores, el de regulación a través de la SENATEL y el CONATEL y el de control a través de la SUPTEL, mientras que el CONARTEL cumple únicamente una tarea específica en los sistemas de broadcast de Radio y TV (difusión) abiertos al público.

1.3.2 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ECUADOR.

La gestión y administración del espectro radioeléctrico en el país se encuentra a cargo de la SENATEL; para cumplir con esta misión dicha institución basa sus procedimientos en las normas Internacionales y Nacionales aprobadas para el efecto. Entre las que se pueden mencionar el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, el Plan Nacional de Frecuencias, Las Recomendaciones de Canalizaciones de la UIT, y los reglamentos específicos de cada servicio.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT es un documento de carácter vinculante para las administraciones adscritas a ese organismo, y tiene como objetivo establecer las condiciones generales que permitan la armonización del uso del espectro en los distintos países, así como garantizar la interoperabilidad de los equipos de radiocomunicaciones.

El reglamento de radiocomunicaciones de la UIT es un instrumento dinámico que requiere ser continuamente modificado a fin de incorporar las nuevas tecnologías y servicios que hacen uso del espectro radioeléctrico. A partir de esta normativa se generan los planes de frecuencia de cada uno de los países. Un análisis profundo del Plan Nacional de Frecuencias se lo realizará en el capítulo dos.

1.3.3 LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES.

La regulación aplicable a los sistemas de comunicaciones móviles en el Ecuador se ha dividido en dos partes a raíz de los procesos históricos que se han suscitado en esta área en los últimos años: Servicio de Telefonía Móvil Celular (STMC) y el Servicio Móvil Avanzado (SMA).

Las primeras concesiones para el servicio de telefonía móvil celular se realizaron en el año de 1993, proceso en el cual se subastaron dos bandas de frecuencias en el rango de los 850 MHz resultando en la adjudicación a las empresas CONECEL S.A. y OTECEL S.A. con una cobertura regional y con una duración de quince años.

Las características del servicio concedido se denominaron como STMC, mantuvieron las condiciones iniciales determinadas en el proceso de subasta durante los tres primeros años de operación, hasta que en el año de 1996 se suscriben los contratos modificatorios, ratificatorios y codificatorios con las dos empresas, emitiéndose a demás un nuevo reglamento para el servicio el cual tiene las siguientes características.³³

- Se definen como STMC al servicio de telefonía móvil automático, abierto a la correspondencia pública, que se presta a través de un sistema móvil celular de radiocomunicación. Este servicio tiene conexión a la red pública de telefonía fija o móvil.
- Se define como sistema móvil celular de radiocomunicación al sistema de servicio móvil de alta capacidad, en el cual la zona de servicio se divide en subzonas denominadas celdas microceldas y picoceldas, para la asignación, utilización y reutilización de grupos de frecuencias.
- El área de cobertura se refiere a las áreas geográficamente autorizadas y a las que se desarrollan en función del perímetro de señal de un terminal de abonado de tres vatios, pudiendo la operadora instalar nuevas celdas o repetidoras en el perímetro de dicha área.
- Las bandas de frecuencias asignadas se denominan bandas A y B estableciéndose la banda A en los siguientes rangos 824 a 835 MHz, 845 a 846.5 MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 895 MHz mientras que la banda B corresponde a los siguientes rangos: 835 a 845MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, y 891.5 a 894MHz en cada banda habrá un solo operador.
- El CONATEL previo informe de la Secretaría Nacional de telecomunicaciones otorgará la autorización del uso de frecuencias para lo cual la operadora deberá adjuntar la documentación técnica que describa

³³ “Reglamento STMC, 1996(Resolución No 107-23-CONATEL-96)”

la operación del sistema como el plan del uso de frecuencias, el cálculo del área de cobertura, así como las características de los enlaces radioeléctricos necesarios para la interconexión del sistema. Las autorizaciones de uso de frecuencias tendrán la misma duración que el contrato de concesión.

- Las tarifas establecidas por las operadoras no podrán exceder los máximos establecidos por el CONATEL.

En los contratos suscritos con las operadoras ganadoras de la subasta en el año del 1993 se mantenía como característica principal la factibilidad de transmitir únicamente señales de voz a través de su red de radiocomunicaciones, lo cual se debe a que la orientación inicial se la hizo pensando en un sistema analógico. Por otro lado, la concesión incluía solamente las principales ciudades del país y sus carreteras conexas por lo que cualquier ampliación en el área de cobertura requería una autorización expresa de la SENATEL, previo el pago correspondiente. Finalmente, como un punto relevante de los contratos originales, se puede anotar la condición de pagos anuales hasta completar el valor total fijado para las bandas y el servicio asignados.

Los contratos modificatorios suscritos en 1996 tuvieron como objeto principal el cambiar la forma de pago de la concesión trayendo a valor presente de ese momento la cantidad por cancelar. Se incorporaron las normas y reglamentos vigentes a ese año; sin embargo, se mantuvo el condicionante de la transmisión únicamente de señales de voz.

Respecto de las frecuencias auxiliares para la prestación del servicio, la concesión de las mismas debía seguir procesos independientes ajustándose a la normativa particular de cada caso. Al tratarse en su gran mayoría de enlaces radioeléctricos, se suscribió un título habilitante con la infraestructura inicial respecto a este tipo de frecuencias, dicho instrumento contiene una cláusula mediante la cual las nuevas autorizaciones se irán anexando al documento base, lo cual faculta para que la SENATEL realice las concesiones directamente.

El Servicio Móvil Avanzado o SMA se estableció a raíz de la apertura del mercado para la entrada de un nuevo operador móvil, el cual debería operar en la banda de 1900MHz, se inició un nuevo proceso de subasta para el otorgamiento de una sola banda en el rango antes mencionado, para esta etapa las condiciones del sector de las comunicaciones móviles había variado sustancialmente, por el enorme desarrollo de las comunicaciones personales, las nuevas aplicaciones y servicios así como la acelerada evolución hacia los sistemas de tercera generación.

Por lo tanto, el concepto de STMC quedaba limitado para aplicarse a la nueva realidad tecnológica lo cual hacía necesario establecer un nuevo marco normativo que incluyera la actualidad de las telecomunicaciones. De esta forma se emitió el Reglamento para el SMA, el que tiene las siguientes características importantes.³⁴

- Servicio Móvil Avanzado (SMA): es un servicio final de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza.
- El SMA se prestará en régimen de libre competencia, con cobertura nacional. La prestación del SMA en áreas rurales y urbano marginales se efectuará atendiendo al régimen de servicio universal.
- El espectro radioeléctrico de frecuencias esenciales para el SMA de acuerdo con las recomendaciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y el Plan Nacional de Frecuencias, está subdividido en las siguientes bandas:
 - a) 824 MHz a 849 MHz;
 - b) 869 MHz a 894 MHz;

³⁴ “Reglamento para la prestación de Servicio Móvil Avanzado ”

- c) 1710 MHz a 2025 MHz; y,
- d) 2110 MHz a 2200 MHz;

Y las que el CONATEL, fundamentado en el Plan Nacional de Frecuencias, considere en adelante para este servicio.

- La asignación y el uso de las frecuencias no esenciales que sean utilizadas como soporte para la prestación del SMA requerirá de los títulos habilitantes correspondientes. El título habilitante para frecuencias no esenciales se renovará de conformidad con la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.
- Los prestadores del SMA no requerirán autorización posterior de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones para la instalación y modificación de las RSMA³⁵, siempre que éstas se realicen dentro de las bandas de frecuencias esenciales asignadas, no se cambie el objeto de la concesión y se notifique previamente a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y a la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- Los prestadores del SMA en la banda de frecuencias esenciales concesionadas para la prestación del SMA, no requerirán de autorización o de nueva concesión para realizar las actualizaciones tecnológicas correspondientes que les permita evolucionar o converger hacia sistemas más avanzados, que provean mayores facilidades a sus usuarios, siempre y cuando no se cambie el objeto de la concesión.
- Los parámetros técnicos y metas de calidad de la prestación del servicio deberán estar relacionados al menos a:
 - Calidad de servicio.
 - Atención al usuario.
 - Emisión de facturas de cobro.

³⁵ RSMA: Red del Servicio Móvil Avanzado.

- Plazos máximos para reparación e interrupción del servicio.

La información del cumplimiento de estas obligaciones deberá ser entregada conforme se haya acordado en el título habilitante del SMA a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Los parámetros y metas de calidad del servicio iniciales constarán en el título habilitante y serán establecidas anualmente por el CONATEL teniendo en cuenta el punto de vista del prestador del SMA.

Todos los costos relacionados con el cumplimiento de los parámetros y metas de calidad del servicio serán asumidos exclusivamente por los prestadores del SMA.

- Las infracciones cometidas en la prestación del SMA serán juzgadas y sancionadas con arreglo al marco jurídico bajo, el cual se hubieran realizado.

La empresa TELECSA S.A. formada con capitales de las empresas de telefonía fija ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A. fue la adjudicataria de la banda subastada (C-C'), el contrato correspondiente se firmó en abril del año 2003 con una duración de 15 años. Las diferencias principales respecto del STMC son las siguientes:

- La concesión es de carácter Nacional.
- El servicio permite la transmisión de todo tipo de información (voz, video, datos).
- La expansión de más radiobases no requiere la autorización previa de la SENATEL, únicamente se mantiene una figura de registro.
- Las frecuencias auxiliares requieren de un título habilitante específico para cada sistema.

- Las infracciones y sanciones de estos sistemas se establecieron en el contrato, y son muy superiores a las que rigen a las operadoras del STMC.
- La banda de frecuencias en la que opera TELECSA S.A. se encuentra en un rango diferente (1900MHz) a la que operan CONECEL S.A. y OTECEL S.A. (800MHz)

Actualmente, basándose en el principio de trato igualitario, y considerando que la operación de la red requiere una asignación ágil y eficiente de estos recursos, el proceso de adjudicación de frecuencias no esenciales (auxiliares) se modificó a fin de que la SENATEL otorgue las frecuencias mediante un a autorización simple las cuales, de la misma forma, deberán anexarse a un contrato base.

Si bien es cierto existen dos marcos normativos diferentes para servicios que tecnológicamente presentan características similares, esta es una situación coyuntural puesto que a futuro la tendencia regulatoria es la de enmarcar a todos estos sistemas dentro del SMA, proyectando que esto suceda a partir de la renovación de los contratos del STMC en el año 2008.

1.4 PROCEDIMIENTO DE CONCESIÓN.

El procedimiento de concesión constituye una serie de acciones de carácter técnico y legal, hasta llegar a la aprobación final del CONATEL y posteriormente a la suscripción del contrato correspondiente con la SENATEL. En promedio la duración del proceso toma alrededor de tres meses, dada la considerable traba burocrática existente.

Una concesión de frecuencias para un sistema de comunicaciones convencional, es decir, diferente del caso de los sistemas móviles debe seguir los siguientes pasos:

- **Presentación de Información técnica y Legal.-** inicialmente un solicitante debe entregar un estudio de ingeniería que cuente con todos los requerimientos establecidos para el efecto y que fueron descritos con

anterioridad, a más de esto, la información ingresada debe contener una serie de requisitos legales entre los que se encuentran la constitución de la compañía solicitante, documentos habitantes de la misma y/o su representante legal (RUC, nombramiento representante legal, cédula, etc.). Además son necesarios contratos de arrendamiento en los sitios donde se ubican las estaciones, así como certificados de no adeudar a instituciones públicas y de no incurrir en ninguna causal que prohíba contratar con el Estado.

- **Presentación al CCFFAA³⁶.**- paralelamente a la entrega de la información detallada en el punto anterior, el solicitante deberá ingresar datos adicionales en el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, organismo que se encargará de entregar un certificado de presentación de documentos para que se continúe con el trámite correspondiente.

Posteriormente se emitirá un certificado de antecedentes personales previo a la aprobación de la concesión, en el que se establece que el usuario no afecta a la seguridad nacional.

- **Análisis de Información.**- la SENATEL analizará tanto la información técnica como legal para determinar la procedencia o no de la concesión, en caso de existir inconvenientes, se solicitará un reenvío de los datos faltantes o errados, caso contrario se remiten los informes respectivos para ser enviados al CONATEL.
- **Aprobación de la Concesión.**- una vez emitidos los informes técnico y legal, los mismos se ponen a consideración del CONATEL para que este apruebe o no la concesión final de las frecuencias.
- **Elaboración y Suscripción del Contrato.**- si el CONATEL determina como favorable una solicitud, la misma se reenvía a la SENATEL para que

³⁶ CCFFAA: Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.

elabore y suscriba con el usuario un contrato de concesión. La legalización final del mencionado contrato se efectúa posteriormente al pago de los derechos de concesión que sean del caso.

En el caso de los enlaces auxiliares de los sistemas STMC y SMA por las consideraciones descritas anteriormente se ha simplificado enormemente, principalmente por el interés general en la operación continua de estos servicios. La duración media de una autorización de frecuencias en este caso es de 15 días ya que la concesión se encuentra delegada en su totalidad a la SENATEL, lo que reduce notablemente el trámite a seguir.

A continuación se detalla el procedimiento por el cual se autorizan las frecuencias para enlaces entre Radiobases de Telefonía Celular (auxiliares).

1. Ingreso de documentación en el Centro de Atención al Usuario CAU.
2. Análisis de la factibilidad técnica (DGGER³⁷) *.
3. Verificación de interferencias (DGGER) *.
4. Asignación de recursos de espectro radioeléctrico (DGGER) *.
5. Actualización de la base de frecuencias de usuarios (DGGER) *.
6. Notificación a la operadora.

* Todos estos pasos serán automatizados mediante la aplicación del sistema a ser desarrollado en este trabajo investigativo.

Cabe mencionar que el volumen de autorización de frecuencias auxiliares es grande y la reducción de los tiempos en el análisis de la información optimizaría el tratamiento de los mismos al interior de la SENATEL y reduciría los tiempos de respuesta hacia los usuarios.

³⁷ DGGER: Dirección de General de Gestión del Espectro Radioeléctrico – SENATEL

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA ENLACES ENTRE RADIOBASES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

2.1 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS

El espectro Radioeléctrico de acuerdo a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada se define como: “El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado”.

Las funciones de administración implican el hacer un uso eficiente del espectro, además de promover el acceso óptimo al mismo; para lo cual, es imprescindible contar con herramientas adecuadas que permitan realizar estas actividades de manera que se fomente el uso del recurso de una manera coherente.

Internacionalmente, el acceso a las diferentes bandas de frecuencias se encuentra normado, de tal forma que se garantice la interoperabilidad de los diferentes sistemas y se eviten posibles interferencias perjudiciales entre distintos servicios de radiocomunicaciones.

Prácticamente la totalidad de los países se han adherido al convenio internacional de telecomunicaciones; es decir, son miembros de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y como tales participan de todas las decisiones que este organismo toma respecto del manejo del sector.

En materia de radiocomunicaciones el instrumento básico que se ha desarrollado para coordinar la gestión y administración del espectro radioeléctrico es el reglamento de radiocomunicaciones del la UIT, el cual es un documento de

carácter vinculante para los países miembros, en el que se establecen los parámetros básicos que deben ser considerados por cada administración para la asignación de frecuencias.

2.1.1 REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT establece los términos y definiciones que se utilizarán mundialmente en el tratamiento de los servicios de radiocomunicaciones dichas definiciones hacen referencia a lo siguiente:

- Términos Generales.
- Términos Específicos Relativos a la Gestión de Frecuencias.
- Servicios Radioeléctricos
- Estaciones y Sistemas Radioeléctricos.
- Términos Referentes a la Explotación.
- Características de las Emisiones y de los Equipos.
- Compartición de Frecuencias.
- Términos Técnicos Relativos al Espacio.

Entre los conceptos más importantes se tienen los siguientes.³⁸

Telecomunicación: Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

Radiocomunicación: Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas.

Atribución (de una banda de frecuencias): Inscripción en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o más servicios de

³⁸ Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT

radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas.

Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico):

Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinadas y según condiciones especificadas.

Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico):

Autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

Servicio de Radiocomunicación: Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Servicio Fijo: Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados.

Servicio Fijo por Satélite: Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites; el emplazamiento dado puede ser un punto fijo determinado o cualquier punto fijo situado en una zona determinada.

Servicio Móvil: Servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles.

Estación: Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, y

necesarias para asegurar un servicio de radiocomunicación en un lugar determinado.

Interferencia Perjudicial: Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

Para la atribución de bandas frecuencias el Reglamento de la UIT divide al mundo en tres regiones, las mismas que se muestran en la Figura 2.1:

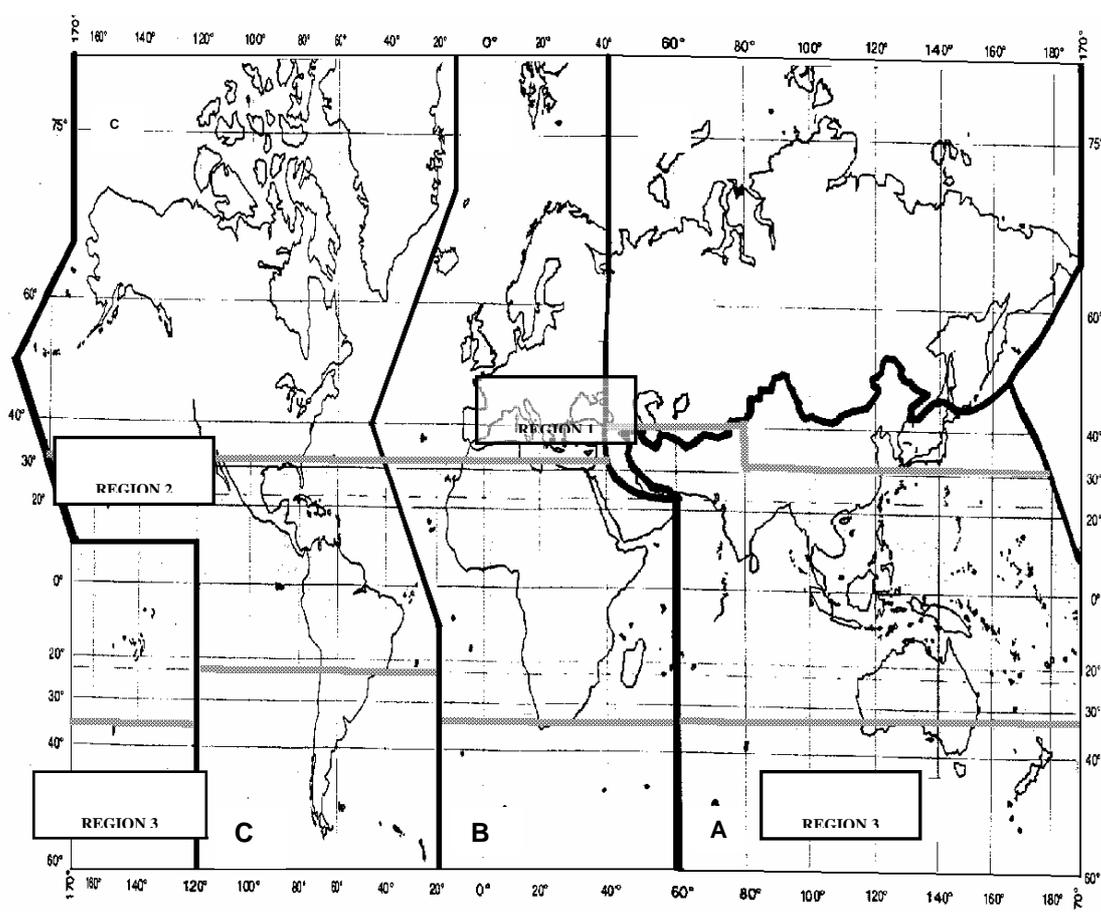


Figura 2. 1. División del mundo para atribución de bandas

El Ecuador se encuentra en la región 2 comprendida entre las líneas A y B que están situadas entre el polo norte, siguiendo el meridiano diez grados oeste, hasta su intersección con el paralelo 72° Norte continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un círculo máximo hasta el punto de intersección de meridiano 20° Oeste con el paralelo 10° Sur, y, finalmente, por el meridiano 20° Oeste hasta el

polo Sur. Y partiendo desde el polo Norte; siguiendo el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65° 30' Norte con el límite internacional en el estrecho de Bering; continua por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continua por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120 ° Oeste, y, finalmente, por el meridiano 120° Oeste hasta el polo Sur.

La zona antes descrita comprende básicamente la región del Continente Americano.

Región 1: comprende la zona limitada al este por la línea A, y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Federación de Rusia, Tayiskistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania y la zona al norte de la Federación de Rusia que se encuentran entre las líneas A y C.

Región 2: comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

Región 3: comprende la zona limitada al este por la línea A y al oeste por la línea C.

Cada una de las regiones puede mantener ciertas diferencias en las atribuciones; sin embargo, en una misma región dichas atribuciones son comunes.

Tomando en cuenta la homogeneidad de las características dentro de la región del Continente Americano, cualquier modificación en las atribuciones de bandas de frecuencias debe realizarse en consenso con los países de la región, para esto, se creó la CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) que es el organismo en el cual se llevan las diferentes posturas para que sean tratadas en el seno de esta comisión, y finalmente puedan ser aprobadas en las

conferencias mundiales de radiocomunicaciones que se llevan a cabo cada dos o tres años.

En base de las atribuciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, para la región correspondiente, se elaboran los planes de frecuencias de cada administración, de manera similar en el Ecuador se elaboró el Plan Nacional de Frecuencias, el mismo que se describirá a continuación.

2.1.2 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS DEL ECUADOR

Mediante Resolución 393-18-CONATEL-2000 publicada en el registro oficial No. 192 del 26 de octubre del 2000 se aprueba el Plan Nacional de Frecuencias para la atribución de bandas a los distintos servicios, su uso y control.

El Plan Nacional del Frecuencias se compone de 3 capítulos. El primer capítulo se refiere a los términos y definiciones. El segundo capítulo establece la atribución de bandas de frecuencias mientras que el tercer capítulo contiene las notas al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.

2.1.2.1 Capítulo 1

Los términos y definiciones que se incluyen en este capítulo son similares a los detallados en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT; los principales fueron ya expuestos anteriormente en este mismo capítulo aunque no son los únicos ya que existe una gran variedad de servicios, estaciones y sistemas radioeléctricos, así como características de las emisiones y de equipos que también forman parte del plan.

2.1.2.2 Capítulo 2

En este capítulo se indican inicialmente la nomenclatura de las bandas de frecuencia y longitudes de onda quedando fijadas de acuerdo al detalle de la tabla No2.1³⁹

³⁹ Plan Nacional de Frecuencias.

- en kilohertzios (kHz) hasta 3000 kHz, inclusive;
- en megahertzios (MHz) por encima de 3 MHz hasta 3000 MHz, inclusive;
- en gigahertzios (GHz) por encima de 3 GHz hasta 3000 GHz, inclusive.

Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 a 3000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm.
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Tabla 2. 1 Nomenclatura de las Bandas de Frecuencia y Longitudes de Onda

En segundo término se señala la denominación de las emisiones radioeléctricas, conforme a su anchura de banda y su clase. El ancho de banda necesario se expresa mediante el uso de tres cifras y una letra, donde la letra ocupará la posición de la coma decimal y se empleará de acuerdo a lo siguiente:

Entre 0,001 y 999 Hz se expresará en Hz (letra H)

Entre 1,00 y 999 kHz se expresará en kHz (letra K)

Entre 1,00 y 999 MHz se expresará en MHz (letra M)

Entre 1,00 y 999 GHz se expresará en GHz (letra G)

La clase determina las características esenciales mediante tres símbolos y opcionalmente cualquier característica adicional, de acuerdo al Anexo 1 de este trabajo.

Como ejemplo de la clase de emisión se puede anotar:

12K5F1EJN

Donde:

- 12K5 → corresponde a un ancho de banda de 12,5 kHz
- F → Modulación de Frecuencia.
- 1 → Un solo canal con información digital.
- E → Telefonía.
- J → Sonido de calidad comercial.
- N → Ausencia de multiplexación.

Seguidamente, el capítulo 2 hace referencia a las características técnicas de las estaciones, orientándose principalmente a la protección contra interferencias perjudiciales, emisiones no deseadas, emisiones fuera de banda, entre otras consideraciones de índole técnico que conduzcan a la máxima eficacia en la utilización del espectro radioeléctrico.

La asignación y empleo de las frecuencias es el siguiente ítem del capítulo dos, en el mismo se detallan los procedimientos que la Administración Ecuatoriana deberá seguir para realizar la asignación de frecuencias de forma que se garantice una adecuada explotación del recurso espectro. De la misma forma se protegerán los derechos adquiridos por un concesionario de frecuencias en una banda específica.

El quinto acápite del capítulo en mención indica las regiones y zonas fija la UIT de la forma que se muestra en la Figura 2.1.

Adicionalmente se enuncian las Categorías de los Servicios y las Atribuciones dentro de lo cual se tiene lo siguiente:

- a) **Servicios Primarios y Secundarios.-** Usualmente una misma banda de frecuencias es atribuida a más de un servicio, en este caso se los clasificará en servicios primarios y secundarios, los primeros estarán impresos en el cuadro con letras mayúsculas mientras que los segundos estarán impresos en minúsculas.

Los servicios atribuidos a título primario pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio secundario. Además, podrán reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de otro servicio primario siempre que se hayan asignado sus frecuencias con anterioridad.

Los servicios a título secundario no deberán causar interferencias a estaciones de servicios a título primario y no podrán reclamar protección, salvo con relación a interferencias causadas por servicios del mismo tipo.

- b) **Atribuciones Adicionales.-** Se aplican a un zona menos extensa que una región o un país y se indican en notas del Cuadro Nacional como “también atribuida”
- c) **Atribuciones Sustitutivas.-** Ocasionalmente se realizan atribuciones diferentes a las definidas en el Cuadro Nacional para una zona específica, en este caso se trata de una atribución sustitutiva.
- d) **Disposición del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.-** El Cuadro de Atribuciones se compone de tres columnas, la primera de las cuales contiene las atribuciones efectuadas para la Región 2 que es a la que pertenece el Ecuador, la segunda columna describe las atribuciones fijadas en el país, en la mayor parte de los casos las dos primeras columnas mantienen la misma información. La tercera columna se usa para ubicar las notas específicas, mediante las cuales se hacen particularizaciones para usos específicos de una administración, en este caso el Ecuador.

A manera de ejemplo un extracto del Cuadro Nacional de Atribución de bandas de Frecuencias se muestra en la tabla 2.2⁴⁰

**CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS
5830 - 7550 MHz**

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	NOTAS
5830 - 5850 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra) S5.150 S5.455	5830 - 5850 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra) S5.150	EQA. 215
5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Aficionados Radiolocalización S5.150	5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Aficionados Radiolocalización S5.150	
5925 - 6700 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL S5.149 S5.440 S5.458	5925 - 6700 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL S5.149 S5.440 S5.458	EQA.155

2.1.2.3 Capítulo 3

Como se había detallado con anterioridad, la tercera columna del cuadro define las Notas al Cuadro Nacional de Atribuciones de Frecuencia, siendo estas aplicables para particularizar ciertas características de operación en una banda. Este capítulo contiene el detalle de cada una de las notas. Además, se incluyen las notas internacionales de pie de cuadro establecidas para la región 2. A manera de ejemplo se presentan las siguientes notas:

- a) **Nota de Pie de Cuadro para la Región dos.- “S5.293** *Categoría de servicios diferente:* en Canadá, Chile, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Panamá y Perú, la atribución de las bandas 470 - 512 MHz y 614 - 806 MHz a los servicios fijo y móvil es a

⁴⁰ Tomada de: Plan Nacional de Frecuencias.

título primario (véase el número **S5.33**), a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número **S9.21**. En Argentina y **Ecuador**, la banda 470 – 512 MHz está atribuida a título primario a los servicios fijo y móvil (véase el número **S5.33**), sujeto a la obtención de un acuerdo con arreglo al número **S9.21.**”

- b) Nota Nacional.- “EQA.155** En las bandas 917 – 922 MHz y 941- 946 MHz, 925 - 928 MHz y 951 – 954 MHz, 934 – 935 MHz y 955 – 956 MHz, 1.400 – 1.452 MHz, 1.492 – 1.525 MHz, 3.700 – 4.200 MHz, 5.925 – 6.700 MHz, 6.892 – 7.075 MHz, 7.075 – 8.500 MHz, 14,5 – 15,4 GHz, 17,8 – 18,8 GHz, 21,2 – 24 GHz, operan enlaces para sistemas de transmisión de datos.”

Las Notas Nacionales están siempre anteceditas de las sigas EQA.

El Plan Nacional del Frecuencias deberá respetarse en todas las asignaciones y es un documento de carácter dinámico que debe ser actualizado constantemente, a fin de incluir nuevos servicios y avances tecnológicos.

2.2 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE FRECUENCIAS SOLICITADAS

Tomando en consideración las atribuciones del Plan Nacional de Frecuencias, los diferentes servicios realizan la distribución específica de las frecuencias dentro de una banda particular a fin de optimizar sus operaciones.

Es así, por ejemplo, que en el caso de los Sistemas de Telefonía Móvil Celular, la asignación de los recursos de espectro se realiza en base de las características técnicas de propagación, definidas por el tipo de tecnología que se aplica. Obteniéndose canales de 30kHz en TDMA, portadoras de 200kHz en GSM y de 1.25MHz en CDMA; la asignación final de frecuencias se efectúa, además, en base del nivel de reutilización existente.

En el caso de los enlaces de microondas, objeto de este estudio, la distribución de frecuencias se realiza ajustándose a un grupo de canalizaciones definidas por la UIT en las Recomendaciones de la serie “F” de la UIT-R.

Por el comportamiento electromagnético de los enlaces de microondas, que define enlaces de naturaleza puntual y directiva, el grado de reutilización existente es muy alto; sin embargo, para elevar aún más el número de transmisiones en una zona, se hace necesario regular las frecuencias específicas sobre las cuales se llevaran las comunicaciones.

Los parámetros fundamentales a ser considerados para el desarrollo de una canalización son los siguientes:

- **Sub-banda de Operación.-** generalmente la operación de los equipos se restringe a una cierta porción dentro de una banda, su diseño permite que puedan programarse solamente para un rango específico de frecuencias; a este rango se lo denomina Sub-banda de Operación.
- **Ancho de Banda.-** cada emisión llevará una cierta cantidad de energía, la cual deberá transportarse a través de un ancho del canal determinado, para diferentes anchos de banda se establecen portadoras centrales, que deberán ser reflejadas en la canalización respectiva.
- **Separación Transmisión - Recepción.-** por tratarse de comunicaciones full-duplex la comunicación se realiza con el uso de dos frecuencias una para transmisión (Tx) y otra para recepción (Rx), una banda se divide en dos partes, una dedicada para agrupar las frecuencias de transmisión y la otra con los correspondientes pares de recepción, la separación existente entre estas dos bandas es característico en el diseño de un equipo, y reflejará la canalización aplicable a una banda. Se la conoce también como característica de “Shifter”.

- **Bandas de Guarda.-** al mantenerse grupos de frecuencias continuos divididos en sub-bandas que se ubican en regiones del espectro adyacentes, a fin de garantizar la operación sin interferencias perjudiciales entre dos sub-bandas, las canalizaciones consideran dejar separaciones en los extremos, lo que se conoce como bandas de guarda.

Las bandas de 7 – 8GHz y de 14-15 GHz que son en las que operan los enlaces auxiliares de telefonía móvil celular responden a las siguientes canalizaciones:

- Canalización UIT-R F.385-8.
- Canalización UIT-R F.386-6.
- Canalización UIT-R F.636-3.
- **Canalización UIT-R F.385-8.-** Esta canalización enmarca las frecuencias comprendidas entre los 7110MHz y los 7900MHz. Las separaciones de canales consideradas son de 28, 14, 7, 5, y 3.5 MHz, con el objeto de incluir sistemas con velocidad de transmisión de hasta 155Mbps.

La disposición de frecuencias se da mediante fórmulas que al ser desarrolladas van distribuyendo las diferentes portadoras y sus pares correspondientes de acuerdo a sus demandas de ancho de banda y shifter.

Como ejemplo se va a desarrollar una canalización dentro de esta banda, con un ancho de banda de 28 MHz y shifter de 169MHz.

La banda a considerarse es la de 7425 a 7725 MHz y las frecuencias de cada uno de los radiocanales se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$f_n = f_0 - 161 + 28n$$

$$f'_n = f_0 - 7 + 28n$$

Donde:

f_n = frecuencia de la mitad inferior de la banda

f'_n = frecuencia de la mitad superior de la banda

f_0 = frecuencia central de la banda

n = No. de canal radioeléctrico(1, 2, 3, 4, 5)

La frecuencia central utilizada es de 7575MHz y los canales resultantes de aplicar las ecuaciones se muestran en la Tabla No.2.3

N	Tx (MHz)	Rx (MHz)
1	7442	7596
2	7470	7624
3	7498	7652
4	7526	7680
5	7554	7708

Tabla 2. 3 Ejemplo Canalización UIT-R F.385-8

La SENATEL como administradora del espectro en el país ha adoptado las canalizaciones que se describen en el Anexo 1, para que sean acatadas por los diferentes operadores.

- **Canalización UIT-R F.386-6.-** Esta canalización enmarca las frecuencias comprendidas entre los 7725MHz y los 8500MHz. Las separaciones de canales consideradas son de 29.65, 11.662, 14, 7, y 3.5 MHz.

La SENATEL ha adoptado las canalizaciones descritas en el Anexo 1 para esta banda:

- **Canalización UIT-R F.636-3.-** Esta canalización enmarca las frecuencias comprendidas entre los 14.4GHz y los 15.35GHz. Las separaciones de canales consideradas son de 28, 14, 7, y 3.5 MHz.

La SENATEL ha adoptado las canalizaciones descritas en el Anexo 1 para esta banda:

De todo lo anterior se puede observar que si bien las recomendaciones de la UIT proveen gran flexibilidad para la asignación de canales, una administración está obligada a estructurar adecuadamente la disposición de frecuencias con el objeto de soportar adecuadamente las aplicaciones previstas para una banda.

De esta manera, en el Ecuador se han tomado las canalizaciones antes descritas, bajo la consideración de que facultan la operación de enlaces de transmisión de datos de baja, media y alta capacidad, que es la atribución establecida para estos rangos, adicionalmente, se toma en consideración diferentes separaciones transmisión – recepción, siempre y cuando puedan convivir en base de las mismas portadoras.

2.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO. PROCEDIMIENTOS

La automatización de los procesos de verificación técnica, asignación de frecuencias, y manejo de la base de datos de la SENATEL, que se llegará a establecer mediante este trabajo, engloba una serie de pasos que hasta el momento se los lleva de forma manual, lo que produce una demora excesiva en la atención de los requerimientos de frecuencias, y una mayor posibilidad de error en la asignación adecuada del espectro.

Los procedimientos que mantiene la SENATEL se basan casi totalmente en el análisis físico de la información presentada, los resultados obtenidos se reflejarán principalmente en la experiencia que el analista posea.

La base de datos existente consiste en una hoja electrónica formato Excel, sin ninguna depuración adicional, el manejo de los datos almacenados en la misma, no responde a un procedimiento técnico definido si no a la habilidad de interpretación de la persona encargada de evaluarla.

Los procedimientos que al momento se llevan a cabo y que se recogerán en el software son los siguientes:

- 1) Verificación del estudio de Ingeniería
 - a. Comprobación de coordenadas geográficas.
 - b. Comprobación del correcto equipamiento del sistema.
 - c. Análisis de parámetros de propagación del enlace (Link Budget).

- 2) Análisis de frecuencias.
 - a. Se estudian los siguientes parámetros: ancho de banda, shifter, y canalizaciones, para determinar si las frecuencias o rango de frecuencias solicitadas son viables de ser asignadas.

- 3) Verificación de Interferencias.
 - a. Se toman los datos existentes en la base de frecuencias de usuarios para identificar los sistemas que podrían causar interferencias perjudiciales en el nuevo enlace a asignarse.
 - b. Las interferencias se estiman en base del área geográfica y la orientación del enlace.

- 4) Asignación de enlaces.
 - a. Una vez verificada su factibilidad, los enlaces son ingresados en la base de frecuencias.
 - b. Todos los parámetros técnicos se registran para que puedan ser tomados en cuenta en futuras asignaciones.
 - c. Se elaboran los informes técnicos respectivos con el objeto de establecer las conclusiones del trabajo realizado.

Estos son los procedimientos a realizarse en la determinación de la factibilidad técnica para la administración del espectro radioeléctrico en enlaces de microondas para telefonía móvil celular, los mismos que se han tomado en cuenta para la realización del sistema propuesto en este proyecto de titulación.

2.4 HERRAMIENTA GIS A UTILIZAR

Para que un GIS sea útil para la toma de decisiones, es necesario disponer de una buena información de base, es decir, que la información geográfica obtenida represente digitalmente la realidad territorial. En el Ecuador las instituciones que se han preocupado por el levantamiento de la información son: El Instituto Geográfico Militar IGM, CLIRSEN, MAG-SIGAGRO, INEC, SENPLADES, MAE, entre otros. Estas instituciones elaboran las bases cartográficas analógicas y digitales con nuevas tecnologías cartográficas.

La información Geográfica para el presente proyecto ha sido suministrada por el Municipio Metropolitano de Quito, el cual a su vez contrató al Instituto Geográfico Militar para el levantamiento de la información digitalizada.

Tomando en consideración la información geográfica suministrada, así como también los requerimientos y las licencias previamente adquiridas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, se ha tomado como herramienta GIS ArcView 8.0 y mediante versión de prueba se trabaja con MapObjects 2.3. Dichas herramientas brindan las características necesarias para la elaboración del presente proyecto.

Las herramientas GIS manejan datos tanto raster como vectoriales los cuales serán descritos posteriormente en el presente capítulo.

2.5 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA GIS A UTILIZAR

2.5.1 MAPOBJECTS 2.3

MapObjects 2.3 añade un soporte para ArcSDE 9.0 que es la vía de acceso a las bases de datos de la administración de un sistema, MapObjects también añade funcionalidades de conexión directa a bases de datos.

MapObjects 2.3 permite añadir componentes a los lenguajes de programación para desarrollar aplicaciones con la utilización de mapas, el cual puede interactuar con otros programas para mejorar la visualización de los mismos como son programas que de graficación y de manejo de bases de datos. Las aplicaciones en las cuales se utiliza estos componentes son diseñadas a fin de resolver los requerimientos de los usuarios finales.

MapObject 2.3 posee un control ActiveX (OCX) llamado Map control y configura más de cuarenta y cinco objetos de automatización ActiveX, los cuales son utilizados para la programación de aplicaciones que se ajusten al ambiente estándar de Windows.

Los programas desarrollados con MapObjects 2.3 pueden correr en Windows 95, 98, NT4 o versiones superiores de los sistemas operativos de Windows, MapObjects es independiente del entorno de desarrollo utilizado y de la plataforma.

Al desarrollar aplicaciones con este programa se pueden implementar múltiples funciones dentro de las cuales podemos enunciar las siguientes:⁴¹

- Desplegar mapas con múltiples capas, como de caminos, bordes, montañas, etc.
- Opciones de acercamiento y alejamiento.
- Dibujar puntos, líneas, elipses, rectángulos, polígonos.

⁴¹ Tomado de : Ayuda MapObjects 2.3

- Añadir texto descriptivo.
- Identificar características del mapa mediante el uso de un click sobre el objeto.
- Seleccionar características sobre las líneas y dentro de áreas, polígonos, y círculos.
- Seleccionar características dentro de una distancia específica o sobre otros objetos.
- Seleccionar características con expresiones SQL.
- Calcular datos estadísticos sobre objetos seleccionados.
- Realizar consultas y actualizaciones de atributos asociados a objetos seleccionados.
- Brindar características con métodos temáticos, como son densidad del punto, eventos, diagramas, etc.
- Crear nuevos archivos de gráfico.
- Dibujar imágenes desde fotografías o imágenes satelitales.
- Proyectar los datos con diferentes sistemas de coordenadas.

MapObjects 2.3 puede soportar una variedad de formatos de imágenes geo-referenciadas, únicamente instalando el controlador correspondiente. Las más comunes son:

FORMATO	EXTENSION
• <u>ARC/INFO</u> Grid	hdr.adf
• <u>ADRG</u> Arc Digitised Raster Graphic	*.img, *.ovr, *.l
• <u>ASRP/USRP</u> DIGEST ASRP, A NATO Military format	*.img, *.ovr, *.l
• <u>BIL</u> Band interleaved by line multiband images	*.bil
• <u>BIP</u> Band interleaved by pixel multiband images	*.bip
• <u>BMP</u> Windows bitmap	*.bmp, *.dib
• <u>BSQ</u> Band sequential multiband images	*.bsq
• <u>CADRG</u> Compressed Arc Digitised Raster Graphics	*.*
• <u>CIB</u> Controlled Image Base	*.*
• <u>CRP</u> Compressed Raster Product (Military GeoTIFF)	*.tif
• <u>ERDAS</u> IMAGINE	*.gis, *.lan
• <u>GeoTIFF</u> TIFF with a Geo header	*.tif, *.tff, *.tiff

FORMATO	EXTENSIÓN
• <u>GIF</u> Graphics Interchange Format	*.gif
• <u>Image Catalogs</u> Image catalog (collection of images)	*.*
• <u>IMPELL RLC</u> Run-length compressed files	*.rlc
• <u>JFIF JPEG</u>	*.jpg, *.jpeg
• <u>MrSID</u> Multi-Resolution Seamless Image Database	*.sid
• <u>NITF</u> National Imagery Transfer Format	*.ntf
• Sun rasterfiles	*.rs, *.ras; *.sun
• <u>SVF</u> Single Variable File	*.svf
• <u>TIFF</u> Tagged Image File Format	*.tif, *.tff, *.tiff

Las imágenes geo-referenciadas⁴² son manejadas por capas, en donde los vectores de datos son basados en el mundo real es decir en el sistema de coordenadas, típicamente medido en metros o pies, con coordenadas y,z. Por otro lado, las coordenadas tipo trama “raster” son organizadas mediante filas y columnas, estas serán descritas más adelante en el presente capítulo.

2.6 ELEMENTOS NECESARIOS QUE INTERACTÚAN CON GIS

Los elementos que por lo general interactúan con un sistema de información geográfica GIS son aquellos que se encuentran inmersos en su desarrollo, los cuales han sido catalogados en los siguientes grupos:

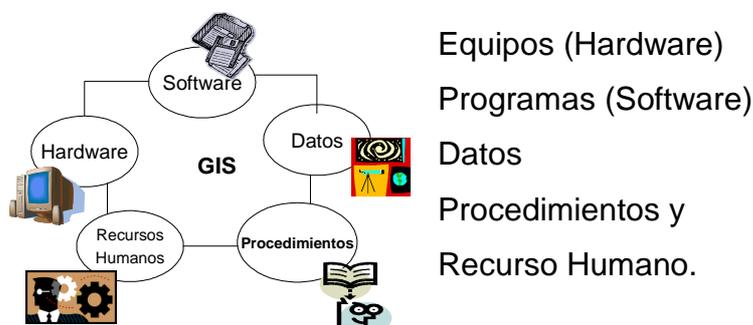


Figura 2. 2 Elementos Necesarios que Interactúan con GIS

⁴² **Georeferenciación:** proceso que vincula la imagen con una localización en el espacio definida por un sistema de referencia particular.

Equipos: es donde se instala el GIS, y permiten la entrada y salida de información GIS por sus diferentes dispositivos, los programas de GIS se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadores personales. Entre los equipos que utiliza un GIS se pueden encontrar: Mesa digitalizadora, plotter, escáner, impresoras, etc.

Programas (Software): Proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Entre los programas de base, de desarrollo y de aplicación de los GIS están: Arcview, ArcInfo, MapObjects, MapInfo, MapX, Idrisi, Ilwis, Savane, Spring, Grass bajo Linux, etc. Para el caso particular se utiliza ArcView y MapObjects.

Datos: El sistema de información geográfica integra los datos espaciales con otros recursos de datos de tal manera que se garantice el correcto funcionamiento del GIS, incluso se puede utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manipular la información. A estos datos se los puede manejar en dos tipos de presentaciones o formatos: Celular o Raster y Vectorial.

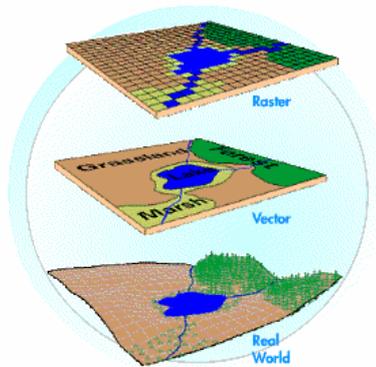


Figura 2. 3 Tipo de Datos GIS

Formato vectorial. La representación vectorial de un objeto es un intento de representar lo más exactamente posible dicho objeto, procurando definir de manera precisa todas las posiciones, longitudes y dimensiones de las entidades geográficas. Este formato generalmente es el resultado de la digitalización de mapas.

La información gráfica de este tipo de formato se representa internamente por medio de segmentos orientados a rectas o vectores, por lo cual un mapa quedaría reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies.

La resolución que brinda este tipo de formato permite que un mapa pueda representarse en su resolución original.

En este formato múltiples atributos pueden fácilmente ser representados.

Formato Raster: Es una estructura que almacena los datos espaciales como celdas de una matriz bidimensional o malla, que se ve como una imagen. El ejemplo más común es la información de satélites, fotos aéreas escaneadas y también cualquier otro tipo de imagen usada en diseño gráfico (tif, bmp, gif). Cada celda o píxel (picture elements) en un set de datos raster tiene información descriptiva dada por el valor almacenado en cada celda.

Es comúnmente utilizado en áreas extensas donde la fuente de información más apropiada y actualizada es la que se presenta por medio del uso de imágenes satelitales.

Los algoritmos de este tipo de formato son más sencillos en comparación con el formato vectorial.

Los datos manejados por GIS son almacenados en bases de datos espaciales los cuales son variables asociadas a localizaciones del espacio. Normalmente se utilizan datos vectoriales, los cuales pueden ser expresados mediante tres tipos de objetos espaciales.

Puntos: Se encuentran determinados por las coordenadas terrestres medidas por latitud y longitud.

Líneas: Objetos abiertos que cubren una distancia dada y comunican varios puntos o nodos, aunque debido a la forma esférica de la tierra también se le consideran como arcos.

Polígonos: Figuras planas conectadas por distintas líneas u objetos cerrados que cubren un área determinada

De esta forma la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas (x, y).

La representación vectorial es la más adecuada para identificar objetos que puedan ser individualizados en el terreno donde se requiere precisión. La representación raster es más adecuada para fenómenos que varían continuamente en el espacio.

Procedimientos Un GIS operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

Recurso Humano: La tecnología de los GIS está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema, y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real. Es por esto que el Recurso Humano es un elemento muy importante, el cual debe estar o ser capacitado para trabajar con funciones específicas de GIS cada uno en su área.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

3.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.

De acuerdo con las necesidades de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en materia de administración del espectro radioeléctrico, las mismas que fueron descritas previamente en los capítulos anteriores, los requerimientos mínimos con los que debería contar la herramienta a desarrollarse son los que se describen a continuación:

3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO.

- **Ambiente de desarrollo.** El sistema deberá ser desarrollado en un ambiente Windows. Adicionalmente, debe ser amigable para el usuario brindándole interfaces gráficas para que de esta manera el proceso de asignación sea más claro.

- **Ingreso de Información.-** El usuario de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, debe estar en la capacidad de ingresar la información necesaria para la verificación del estudio de Ingeniería tal como: el nombre del usuario que realiza la solicitud, la frecuencia mínima y máxima de lo cual de determinará el rango de frecuencias en el cual deberá localizarse la canalización a ser asignada, las ubicaciones incluyendo las direcciones y las coordenadas geográficas correspondientes , las alturas en cada unos de los puntos, las ganancias de las antenas tanto

de transmisión como de recepción en dB las mismas que deben estar acordes a las características de del tipo de antena declarado, La potencia de transmisión en dBm, la sensibilidad del equipo en dBm la cual debe ser menor que la potencia transmitida, las alturas de las antenas refiriéndose a la ubicación de las mismas con relación a la base de la estructura donde se encuentran, factor de rugosidad el cual deberá escogerse entre los existentes, pérdidas de cables y conectores y el azimut; lo cual implica el manejo de datos numéricos y alfanuméricos o combinaciones de estos.

- **Consulta de Información:** Mediante el uso de la herramienta se podrá extraer la información de todos los enlaces que inciden en un punto determinado, pudiendo consultar cada estación con los datos informativos como nombre, empresa, ubicación, etc. Para de esta manera poder realizar reportes de enlaces previamente asignados.
- **Acceso a Bases de datos.-** Mediante la presente herramienta se debe tener la posibilidad de interactuar con la base de datos geográficas y la base de datos manejada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones. Se deberá almacenar los parámetros técnicos y administrativos de cada enlace previamente asignado y del enlace que se esta introduciendo en el sistema.
- **Cálculos de propagación.-** Uno de los factores relevantes dentro del proyecto es la posibilidad de efectuar cálculos de propagación de ondas electromagnéticas de manera automática, en base de un modelo preestablecido y con la manipulación de la información ingresada por el usuario así como los datos obtenidos del mapa mediante una herramienta GIS.
- **Perfiles Topográficos.-** Extrayendo los datos topográficos del mapa digital, se deberá graficar el perfil que determine el terreno entre los dos puntos de enlace con la finalidad de establecer condiciones de línea de

vista. De la misma forma se debe graficar la línea de vista entre el punto de transmisión y recepción, y el 0,6 de la primera zona de fresnel correspondiente al trayecto.

- **Análisis de Interferencias.-** Con la información geográfica extraída de la cartografía digital así como los parámetros técnicos de los enlaces debe contarse con la posibilidad de estimar posibles interferencias que afecten a las frecuencias cuya asignación es estudiada. Las interferencias deberán ser determinadas tomando en cuenta el ancho de banda y la frecuencia solicitada para así realizar un barrido de todas las frecuencias que podrían superponerse en el sitio analizado, este barrido se lo realiza desde la frecuencia central con un rango inferior y superior igual a la mitad del ancho de banda solicitado. Adicionalmente, se toma en cuenta los posibles enlaces interferentes por cercanía para esto, una vez determinados los enlaces que por sus frecuencias de operación resultaran posibles interferentes se debe analizar la ubicación de sus estaciones, se considera un radio de 200 metros en el cual podría existir interferencias. Como resultado de este análisis se establecen todos los posibles enlaces interferentes. No obstante, el sistema debe proporcionar muestras gráficas de los enlaces obtenidos, de manera que el usuario pueda discriminar el grado de interferencia.
- **Administración del espectro.-** La herramienta debe considerar en el análisis aspectos establecidos por el órgano regulador (SENATEL) así como por la UIT para una correcta administración de las frecuencias, como por ejemplo canalizaciones, separaciones duplex, anchos de banda, potencias, ganancias de antenas.
- **Asignación de Frecuencias.-** Con fundamento en la información proporcionada por la base de datos y una vez efectuados los estudios tanto de propagación como de interferencias, la herramienta debe ser capaz de asignar en función de los resultados obtenidos, las frecuencias específicas

con las que operará el enlace analizado, para lo cual añade el enlace solicitado a la base y proporciona un porte del mismo.

- **Actualización de la Base de datos.-** Todos los datos relevantes para el usuario se actualizarán dinámicamente en la base de datos, estos deberán estar disponibles para consultas predefinidas. Como datos relevantes se tienen el nombre del usuario, los parámetros técnicos del enlace, las fechas de autorización, las canalizaciones, datos de equipos y antenas.
- **Visualización gráfica.-** A fin de facilitar el análisis técnico se requiere la graficación de los enlaces sobre el mapa digital de tal manera que el usuario pueda discriminar fácilmente la información que el gráfico proporcione.
- **Reporte de la Asignación.-** A fin de dejar constancia de la asignación del enlace, el sistema debe permitir la impresión de los principales datos del mismo.

3.2 DISEÑO

Para efectos del diseño del sistema se desarrolló el diagrama de flujos y el diagrama de casos, cada uno de los cuales será presentado a continuación.

3.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS

El diagrama muestra la secuencia lógica de los procesos, mostrando el flujo que siguen estos dentro del sistema. Este diagrama se lo puede observar en la figura3.6

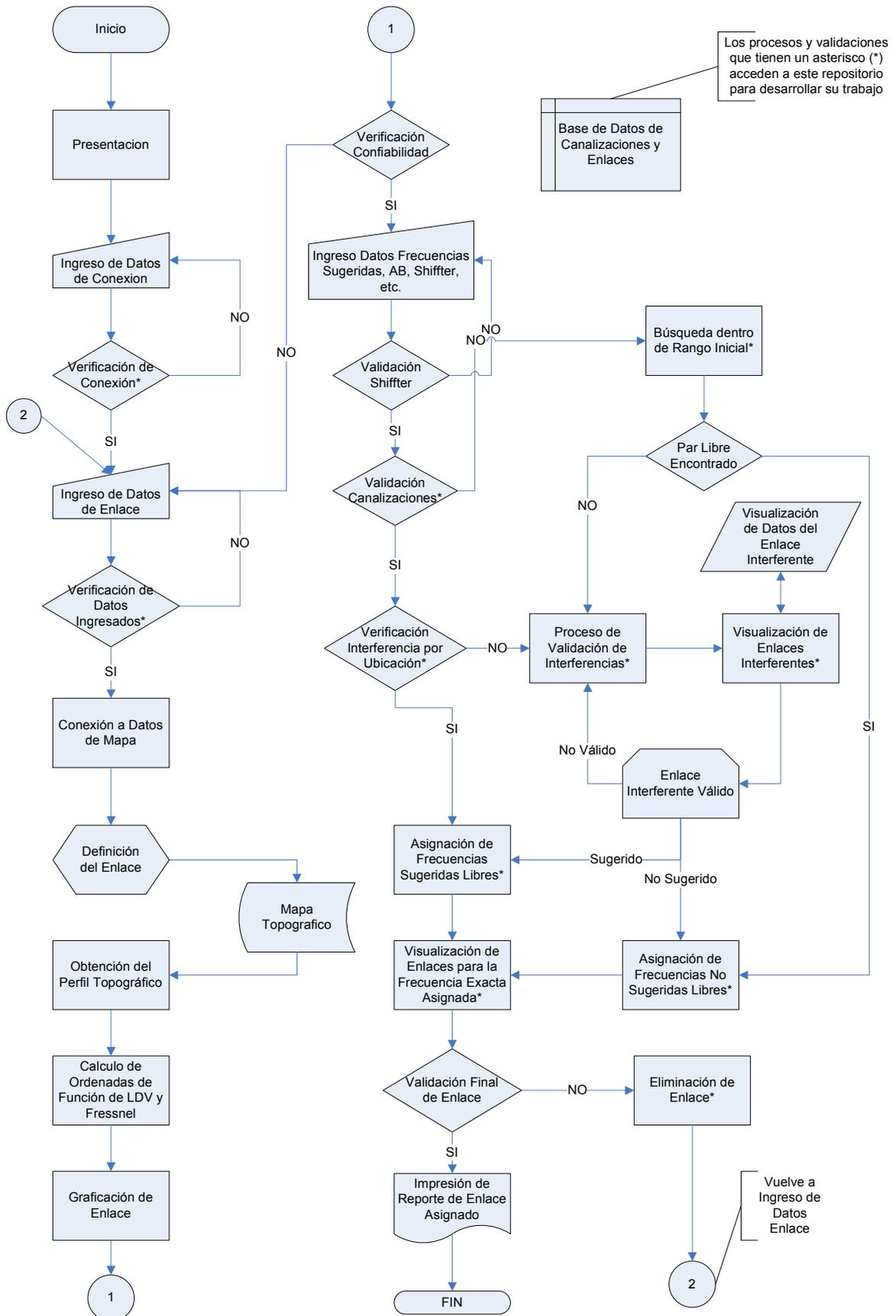


Figura 3. 1. Diagrama de Flujo de Procesos

3.2.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

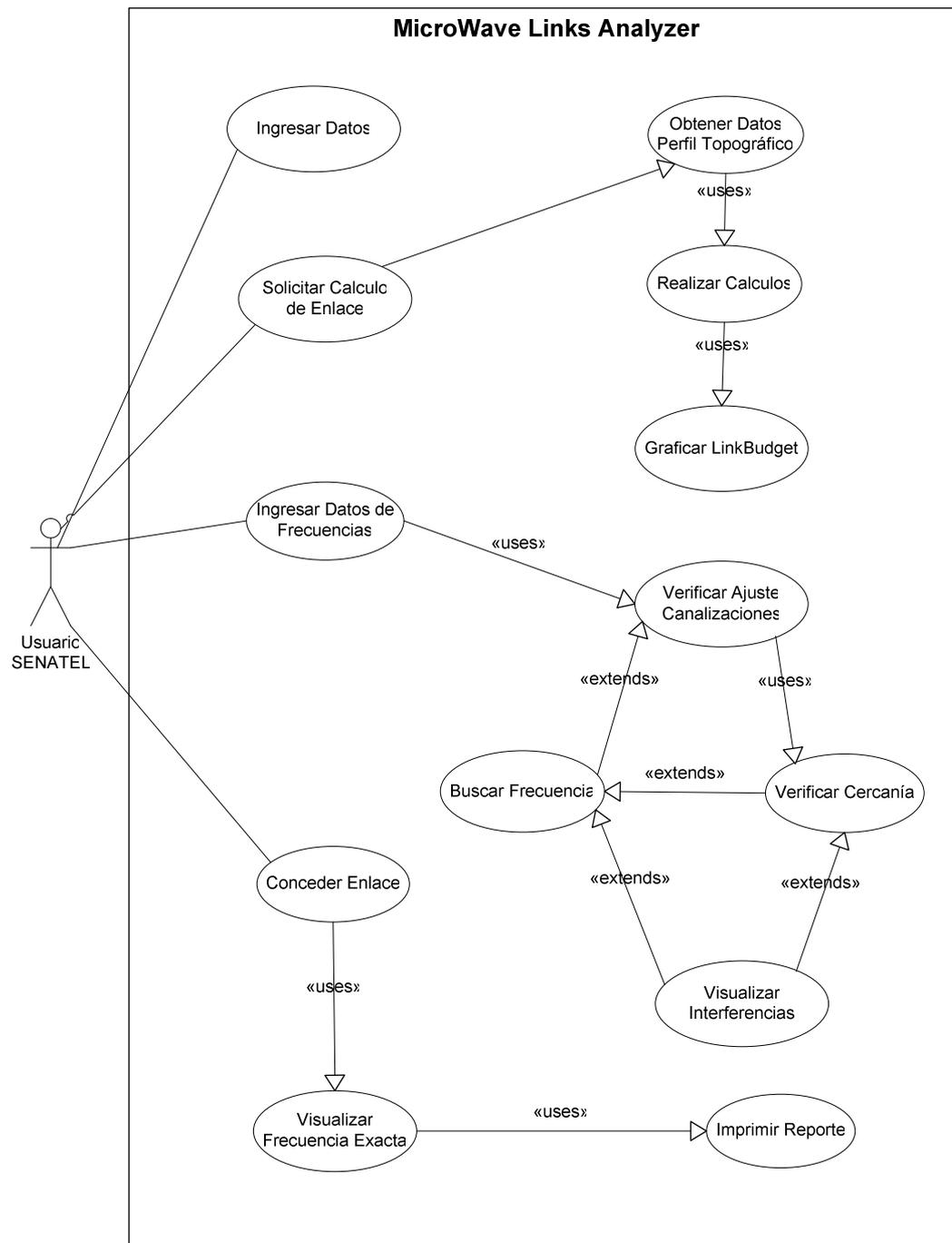


Figura 3. 2. Diagrama de Casos de Uso

Como se puede observar en el diagrama, la interacción con el Usuario SENATEL se puede realizar a través de cuatro casos de uso, a saber: Ingresar Datos, Solicitar Cálculo del Enlace, Ingresar Datos de Frecuencias y Conceder el Enlace.

Al realizar el cálculo del enlace, (implica la participación de otros casos de uso directamente desde el sistema) primero se validan los datos ingresados, luego se requiere cargar los datos del mapa, definir el enlace y obtener los datos de las alturas para generar el perfil topográfico. En función de los datos ingresados se procede a evaluar el LinkBudget del enlace.

Una vez hecho esto se procede a ingresar datos de frecuencias en la interfaz de asignación, estos nuevos datos requieren una verificación de existencia en la tabla de canalizaciones. Además, puede ser necesaria una búsqueda en caso de que la sugerencia del usuario no sea válida. El usuario tiene la capacidad de decidir si a pesar de las interferencias se concede o no el enlace.

Una vez concedido el sistema permite mostrar la ciudad con los enlaces para la frecuencia exacta concedida y finalmente permite la creación de un reporte que puede ser impreso o guardado a un archivo.

3.2.3 DIAGRAMA DE ACTIVIDAD

A continuación se presentarán tres diagramas de actividad para los casos de uso de mayor complejidad. Iniciando por obtener los datos del perfil topográfico, el que se lo puede ver a continuación:

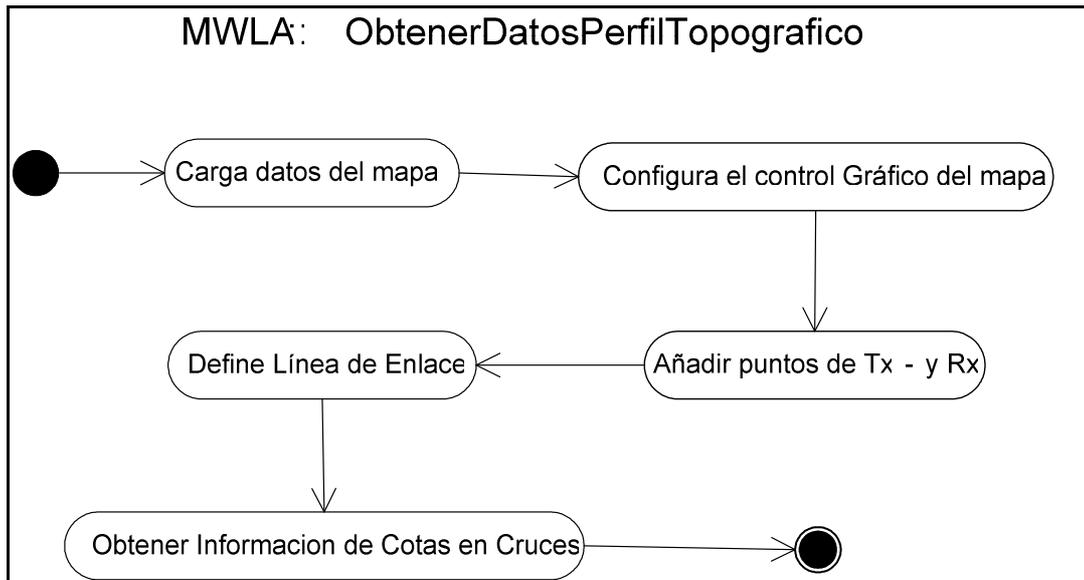


Figura 3. 3. Diagrama de Casos de Uso, Obtención de Perfil Topográfico
 El siguiente diagrama de actividad muestra la Realización de los cálculos de propagación.

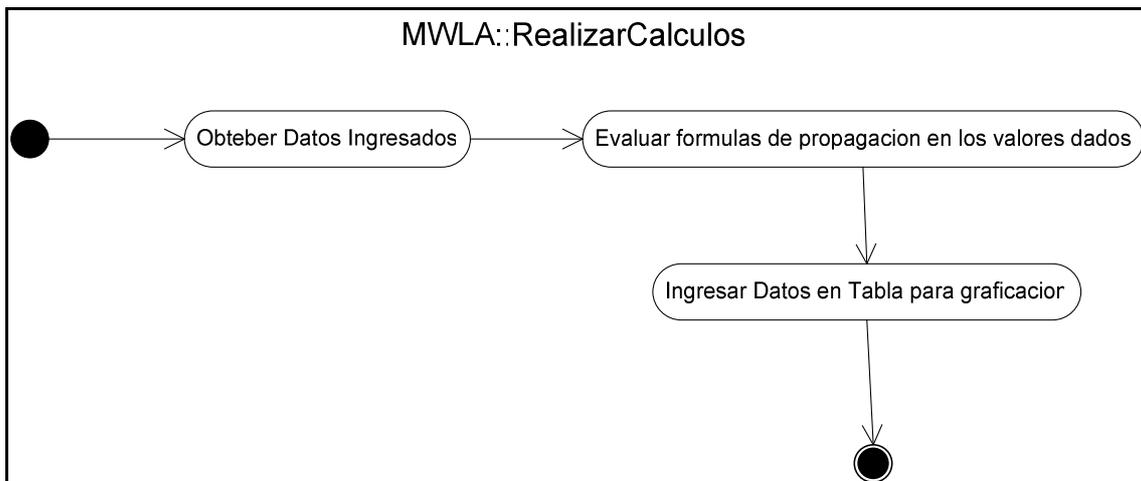


Figura 3. 4. Diagrama de Casos de Uso, Realizar Cálculos

Finalmente, se muestra las actividades necesarias para desarrollar la búsqueda de frecuencias.

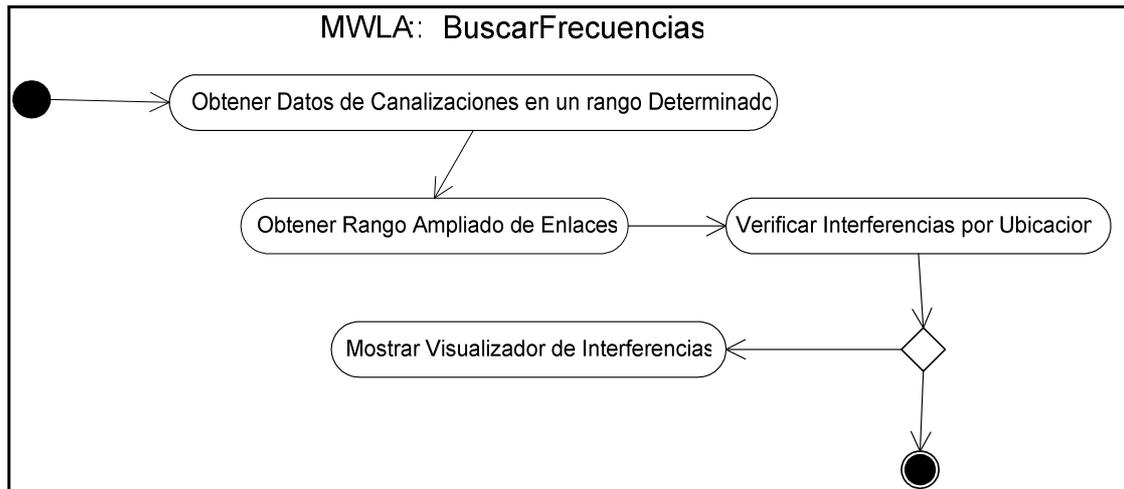


Figura 3. 5 Diagrama de Casos de Uso, Buscar Frecuencias.

3.2.4 DIAGRAMA DE CLASES

Las clases son definiciones de objetos, las cuales contienen información acerca del comportamiento de cada uno de sus elementos; métodos propiedades y eventos. El diagrama de clases muestra las características generales de cada clase, para el presente proyecto, el diagrama mencionado se detalla en el Anexo3.

3.2.5 DIAGRAMA DE DATOS

El diseño de la base de datos del sistema muestra la relación entre las entidades de datos, la manera en la que serán almacenados los mismos y describe la utilización de cada campo en la base de datos correspondiente, una explicación detallada de este diagrama se presenta en el Anexo 4.

El diagrama de datos contiene seis tablas, las cuales permiten almacenar la información requerida por el sistema para realizar sus validaciones y la asignación efectiva de enlaces; la estructura de estas tablas es fruto del análisis del proceso de validación utilizado hasta el momento en la SENATEL.

La tabla ENLACES_SNT esta diseñada para almacenar la información de los enlaces, cada registro de esta tabla esta identificado por un número entero único

el cual es proporcionado por la misma base de datos y se guarda en el campo ID_Enlace, esta tabla contiene columnas que se pueden subdividir en tres categorías a saber:

Datos técnicos del enlace: En los que se incluyen el código de equipo, código de antena, polarización, distancia del enlace, tipo de emisión.

Datos de los puntos de transmisión y Recepción: estos datos son básicamente, coordenadas geográficas y UTM. Dirección, ganancias de las antenas, azimut, altura de la antena, potencia, sensibilidad, frecuencias, entre otras.

Datos legales-administrativos: en esta categoría podemos incluir los siguientes datos: usuario, fecha de reservación, fecha de contrato.

Adicionalmente esta tabla esta relacionada con otras tres tablas, cada una de las cuales permiten obtener información adicional acerca de las antenas, los equipos, y las emisiones.

Otra relación importante involucra a las otras dos entidades restantes CANALIZACION y BANDA_IND.

La tabla CANALIZACION establece un conjunto de posibles valores de frecuencias asignables respetando las recomendaciones internacionales que brinda la UIT, de igual forma identifica cada registro con un ID único y contiene campos para la frecuencia de transmisión y de recepción, la separación entre ellos, el ancho de banda. Se relaciona con BANDA_IND a través de una clave foránea en el campo ID_BANDA.

En la tabla BANDA_IND se encuentran registros que representan a cada uno de los rangos de frecuencias recomendados para este servicio. Y la respectiva recomendación UIT que los soporta.

Cabe mencionar que se podría relacionar la tabla ENLACES_SNT con la tabla CANALIZACION de tal forma que a cada enlace asignado se le relacione o se le asigne una canalización, pero considerando que la SENATEL inicialmente realizó asignaciones fuera de las recomendaciones de la UIT, a los datos reales actuales no se les puede asignar una canalización.

3.3 IMPLEMENTACIÓN.

El sistema de información se constituye en una aplicación tres capas distribuidas, las diferentes capas que tiene se pueden describir como:

- **Las interfaces de presentación.-** estas se basan en el sistema de ventanas de Windows, y permiten el ingreso de los datos así como la validación de los mismos.
- **Clases de acceso a datos y cálculos matemáticos.-** Son clases que permiten acceder a los datos, realizar el cálculo de propagación y del link budget del enlace en cuestión, así como realizar transformación de coordenadas geográficas al formato UTM.
- **Base de datos.-** Esta capa consiste en el repositorio de datos el cual almacena la información referida a las canalizaciones, los enlaces, los equipos, las antenas, etc

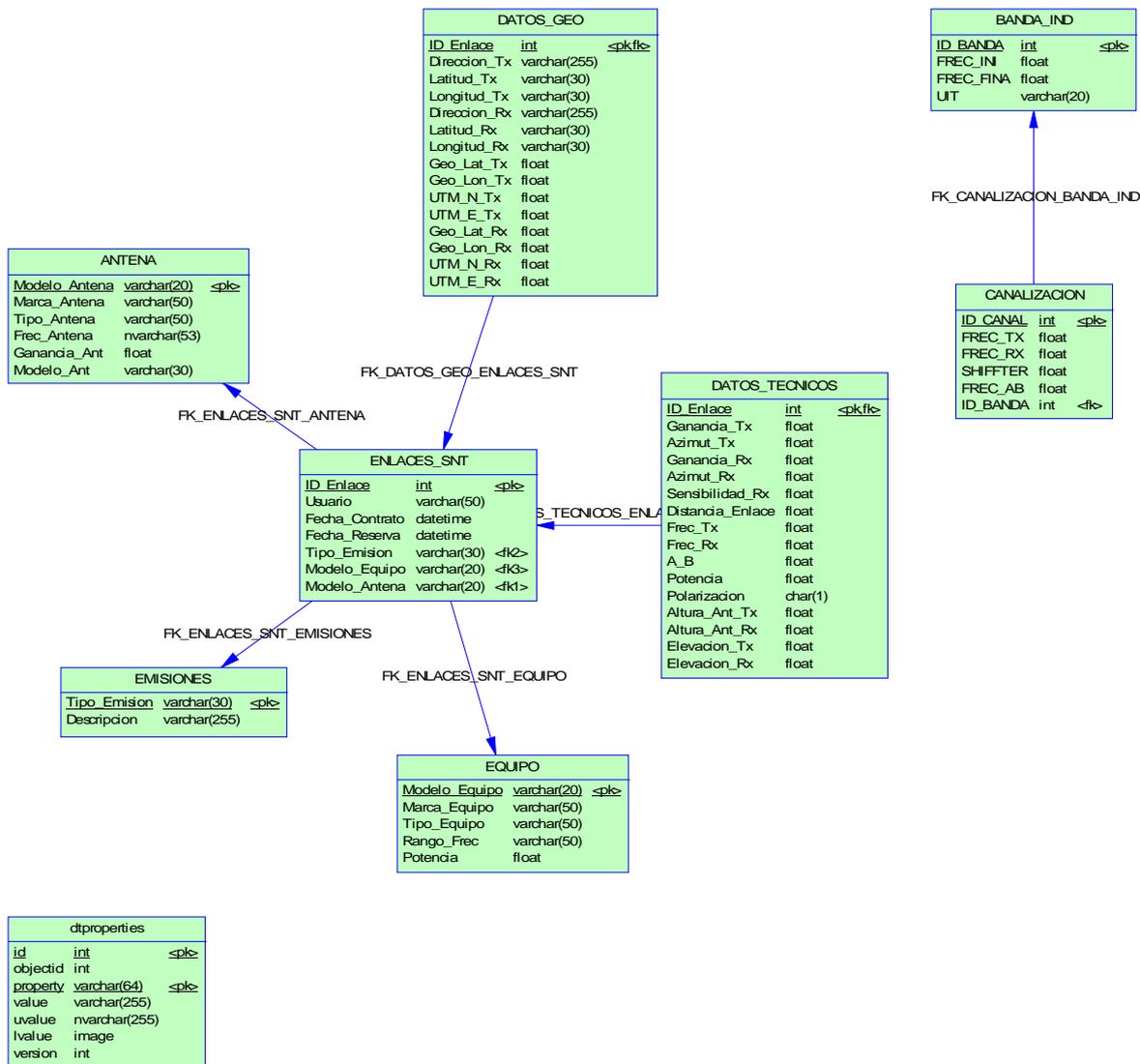


Figura 3. 6 Diagrama de diseño de datos

El sistema fue desarrollado utilizando Visual Studio .NET 2003, y como se mencionó anteriormente requiere componentes externos de MapObjects 2.3 e Infragistics 2003. El lenguaje utilizado para el desarrollo de esta herramienta es C# cuyas ventajas ya fueron mencionadas en capítulos anteriores. El componente de Infragistics 2003 que se utiliza en el desarrollo del presente sistema es UltraWinChart que nos permite realizar el perfil topográfico del terreno aso como manejar mejores barras de estado entre otros.

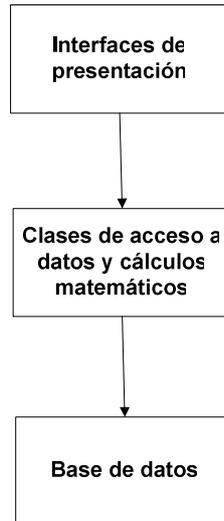


Figura 3. 7. Capas de la Implementación

Para acceder a los datos el sistema utiliza las funcionalidades que brinda ADO.NET, el cual es un conjunto de clases en el Framework.Net que permiten el manejo de conectividad y acceso a datos.

Para el acceso a los datos del mapa topográfico se utiliza librerías para .Net desarrolladas por ESRI que se incluyen como parte del MapObjects 2.3 y además de obtener acceso, nos permiten visualizar el mapa y añadir información.

Por otro lado, para la presentación de los resultados de los cálculos de propagación y del link budget se utilizan librerías de Infragistics que proveen facilidades en la configuración y utilización de los mismos.

Como una manera adicional de brindar seguridad al presente sistema las sentencias SQL se encuentran completamente del lado del servidor de base de datos, mediante procedimientos almacenados las consultas son más eficientes, centralizadas, y seguras.

Con el objetivo de dejar un registro de la concesión de un determinado enlace, el sistema provee la posibilidad de imprimir un reporte generado mediante la utilización de Crystal Reports que no es más que una utilidad de generación de reportes.

El código fuente completo de la aplicación que revela la programación detrás del sistema desarrollado se encuentra en los Anexos 5 y 6.

3.3.1 JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS.

Los parámetros que se han establecido como niveles referenciales para determinar la validez de los datos ingresados se han tomado en base de las siguientes consideraciones.

- a) Se ha establecido que el valor de ganancia de antena ingresado por el usuario debe ser igual a la que se especifica en las características técnicas de la antena utilizada la cual debe estar ingresada en la base de datos de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
- b) Se toma como nivel mínimo de potencia ingresada al nivel de sensibilidad; es decir, la potencia de transmisión del equipo siempre deberá ser mayor que la sensibilidad del mismo. En base de la información de las características técnicas de equipos que posee la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones se ha determinado que el nivel máximo de potencia se fija en 30dBm.
- c) Tomando como referencia los valores ingresados en los estudios técnicos se ha determinado un valor máximo de pérdidas de cables y conectores de 6dB.
- d) Dada las canalizaciones normadas para las bandas consideradas, se toman rangos específicos dentro de los cuales deberá estar la solicitud del usuario. Adicionalmente, una vez confirmado el rango se comprueba si la frecuencia sugerida del usuario cumple con la canalización respectiva, para esto se consideran también los parámetros de ancho de banda y shifter.

3.3.2 PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD.

Dado que la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones posee un sistema de administración centralizada el cual provee a cada usuario límites de acceso tanto a programas como a información dentro y fuera de la red, y tomando en cuenta que el sistema desarrollado está generado para el uso limitado de varios funcionarios de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, se ha decidido generar un inicio de sesión con identificativo de usuario (User) y contraseña (Password) para el uso de información almacenada, de esta manera mediante acceso compartido por una máquina central de almacenamiento de la base de datos y con restricciones de seguridad en el momento de compartir la misma, se brindará la seguridad necesaria para limitar el acceso a los datos en mención. Por otra parte, la aplicación proveerá de un acceso seguro a los datos mediante la solicitud de “credenciales válidas del usuario”, que le permitan acceso solo a determinados objetos dentro de la base de datos. A continuación se describe la creación de un inicio de sesión en SQL Server:

- 1) En SQL Server Enterprise Manager, se accede desde la raíz de consola hasta “(local) (Windows NT)” y dentro de este ítem a “SEGURIDAD” se hace click derecho a “Inicios de Sesión” y a su vez a “Nuevo inicio de sesión” como muestra la figura 3.1:

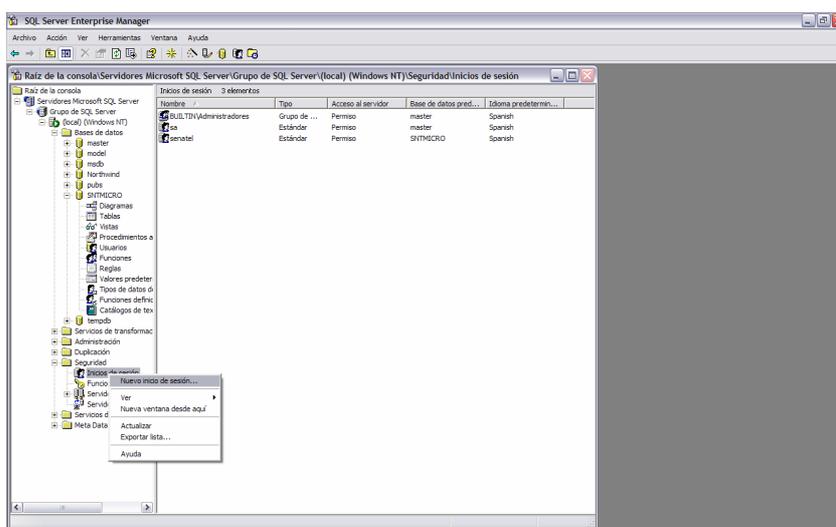


Figura 3. 8. Creación de Inicio de Sesión 1

- 2) A continuación se abre un cuadro de diálogo. En la pestaña general del mismo se deben ingresar las propiedades de inicio de sesión, para este caso en particular se coloca el nombre de inicio, autenticación SQL donde se coloca la contraseña, y la base de datos relacionada a este inicio de sesión como se presenta en la siguiente figura.

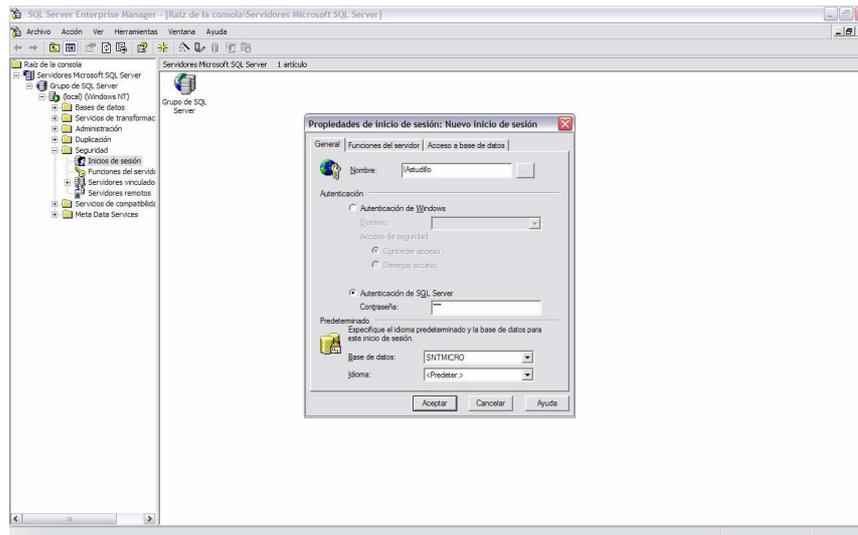


Figura 3. 9. Creación de Inicio de Sesión 2

- 3) En la pestaña “acceso a bases de datos”, se coloca nuevamente la base de datos para la cual se está generando un usuario y se selecciona en la parte inferior las funciones que este usuario podrá desempeñar en esta base, para el caso ejemplo se seleccionó “db_owner” que son características de propietario es decir le da control completo.

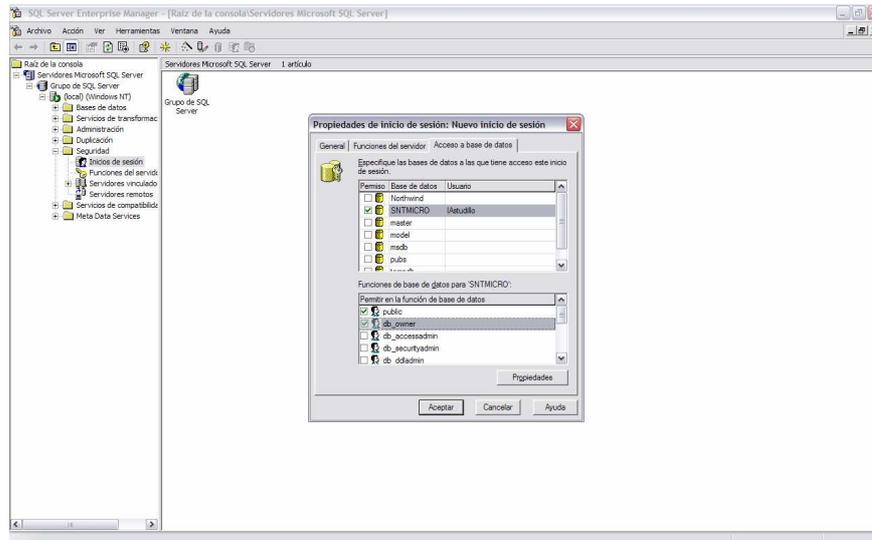


Figura 3. 10. Creación de Inicio de Sesión 3

- 4) Luego de lo anteriormente mencionado se selecciona Aceptar y solicita mediante otro cuadro de dialogo que se reingrese por confirmación la clave.

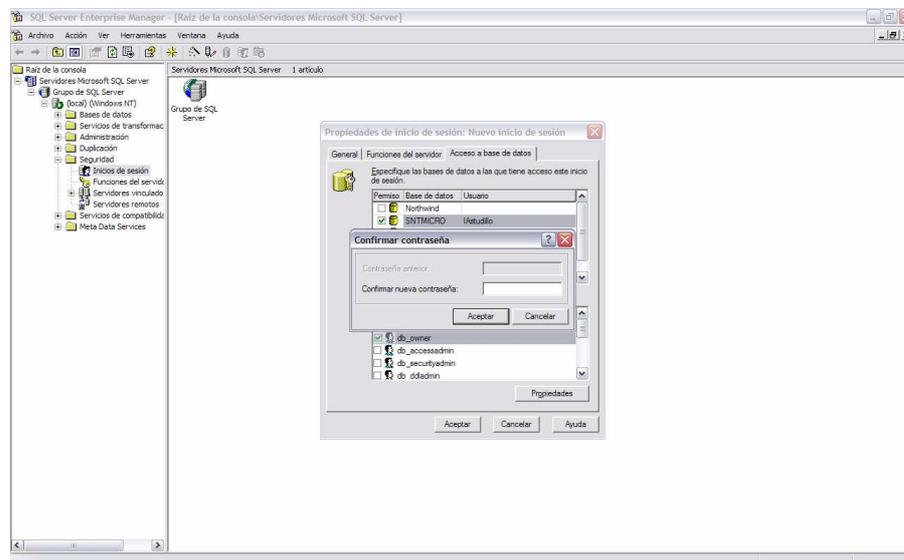


Figura 3. 11. Creación de Inicio de Sesión 4

- 5) Después de este procedimiento, ya se encuentra creado el usuario y en adelante se mostrará en la pestaña de inicios de sesión del SQL Server Enterprise Manager como se muestra en la figura 3.5

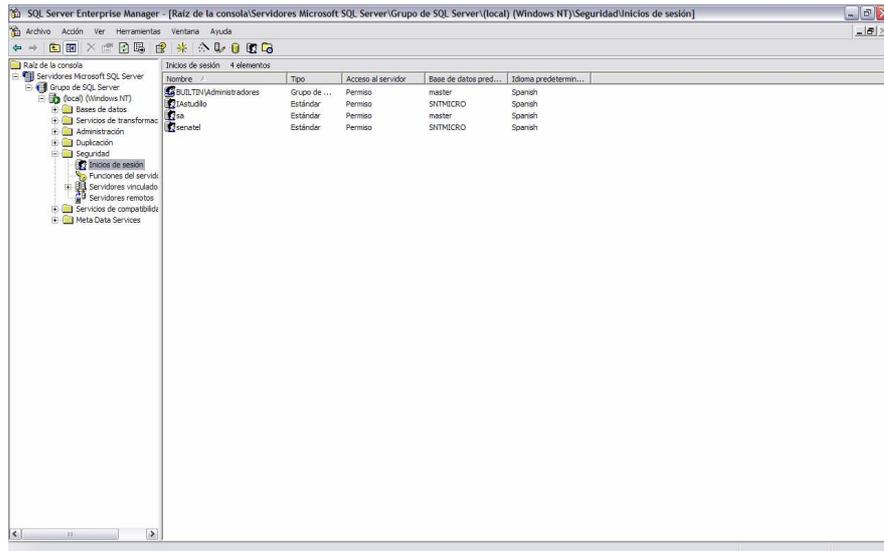


Figura 3. 12. Creación de Inicio de Sesión 5

3.3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS MÁS RELEVANTES.

Dentro del desarrollo del presente sistema se han implementado múltiples procesos, de los cuales se destacarán aquellos que enmarquen los elementos más importantes de la utilización de las herramientas, así como los métodos implicados en dichos procesos, los cuales serán presentados a continuación:

Proceso Conexión a Datos de Mapa.- En este proceso, se creó un objeto del tipo `GeoDataSet`, que permite mantener un conjunto de datos geográficos y cargarlos a memoria, para crear este objeto, primero es necesario obtener los datos desde el archivo (.shp), lo cual está implementado en el siguiente método.

```

/// <summary>
/// Metodo de Creacion de geodataset para carga del mapa
/// </summary>
/// <param name="fileName">Path del archivo shp del mapa</param>
/// <returns>GeoDataset que contiene los datos de todos el mapa
topografico</returns>
private ESRI.MapObjects2.Core.GeoDataset ShapeGDS(string fileName)
{
    // Configuracion de Conexion
    ESRI.MapObjects2.Core.DataConnection moDC = new
ESRI.MapObjects2.Core.DataConnectionClass();
    System.IO.FileInfo info = new System.IO.FileInfo(fileName);
    moDC.Database = (info.DirectoryName);
    if (! moDC.Connect())
    {
        return null;
    }
}

```

```

else
{
    //Se retorna un dataset
    ESRI.MapObjects2.Core.GeoDataset gds =
moDC.FindGeoDataset(info.Name);
    return gds;
}
}

```

Una vez obtenido el objeto GeoDataSet, se procede a cargar el mapa en la aplicación a través de la creación de una capa (*layer*) a la cual se configura la propiedad GeoDataSet con el objeto que se obtuvo del archivo del mapa. Este procedimiento se encuentra descrito en el siguiente método.

```

/// Metodo del subproceso de carga del mapa.
private void cargarMapa()
{
    try
    {
        gds = ShapeGDS(Utills.strMapPath);
        if (gds != null)
        {
            ESRI.MapObjects2.Core.MapLayer lyr = new
            ESRI.MapObjects2.Core.MapLayerClass();
            lyr.GeoDataset = gds;
            this.axMapaQuito.Layers.Add (lyr);
            this.axMapaQuito.Layers.MoveToBottom (0);
        }
    }
    catch (System.Runtime.InteropServices.ExternalException COMEx)
    {
        MessageBox.Show(COMEx.ErrorCode + ": " + COMEx.Message);
    }
    catch (System.Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

```

Una vez finalizado el proceso de carga del mapa, se realiza una validación para determinar si en la interfaz se van a visualizar todos los enlaces interferentes, o si se va a realizar una comparación entre el posible enlace y un solo enlace interferente.

```

/// Metodo de control de finalizacion de carga del mapa. Se ejecuta
Inmediatamente después
/// Dibuja el otro enlace interferente.
/// </summary>
private void finCargarMapa()

```

```

{
    tWorker.Join();
    if(!blnVerTodos)
    {
        //Ver solo dos enlaces
        cargarPosibleEnlace();

        DataTable dtInter = Utils.data.GetUTMEnlaceID(ID_Enlace);
        foreach(DataRow fila in dtInter.Rows)
        {
            int link = int.Parse(fila[0].ToString());
            string strUsuario = fila[1].ToString();
            double UTM_NTx = double.Parse(fila[2].ToString());
            double UTM_ETx = double.Parse(fila[3].ToString());
            double UTM_NRx = double.Parse(fila[4].ToString());
            double UTM_ERx = double.Parse(fila[5].ToString());

            DrawLine(DefineEnlace(UTM_NTx,UTM_ETx,UTM_NRx,UTM_ERx),0);
            cmbEnlaces.Items.Add(strUsuario+ " " +
link.ToString());
        }
        cargarAlturas();
    }
    else
    {
        try
        {
            //Ver todos los enlaces
            cargarPosibleEnlace();
            foreach(int enlace in Enlaces)
            {
                DataTable dtInter =
Utils.data.GetUTMEnlaceID(enlace);
                foreach(DataRow fila in dtInter.Rows)
                {
                    int Id = int.Parse(fila[0].ToString());
                    string strUser = fila[1].ToString();
                    double NTx =
double.Parse(fila[2].ToString());
                    double ETx =
double.Parse(fila[3].ToString());
                    double NRx =
double.Parse(fila[4].ToString());
                    double ERx =
double.Parse(fila[5].ToString());

                    DrawLine(DefineEnlace(NTx,ETx,NRx,ERx),0);
                    cmbEnlaces.Items.Add(strUser+ " " +
Id.ToString());
                }
            }
            this.grbAlturas.Visible=false;
            this.grbInterferencias.Dock = DockStyle.Fill;
        }
        catch
        {
        }
    }
}

```

Proceso de Verificación de Interferencias.- En este proceso se toman en cuenta dos criterios para la validación, el primero consiste en discriminar los enlaces asignados anteriormente considerando solo aquellos que tengan frecuencias dentro de un rango que permitirá que frecuencias aledañas no sean interferidas, ya que los anchos de banda de cada asignación no son iguales. El segundo criterio implica el análisis de las interferencias por proximidad, dentro del conjunto de enlaces seleccionados en el primer criterio, esto significa que se calcula la distancia tanto desde el punto de transmisión como desde el punto de recepción del enlace objeto de estudio, hasta cada uno de los puntos de los enlaces seleccionados; considerando como posibles enlaces interferentes aquellos que se encuentren a una distancia menor a un valor configurable por el usuario en metros, esto se presenta en el siguiente método.

```

/// <summary>
/// Subproceso de validacion de enlaces interferentes por cercanía para
/// frecuencias sugeridas validas.
/// </summary>
private void ValidarUbicacion()
{
    double FrecMinTx = 0.0;
    double FrecMaxTx = 0.0;
    double FrecMinRx = 0.0;
    double FrecMaxRx = 0.0;
    Utils.RangoAmpliado(Utils.Frec_Sug_Tx,Utils.AB,ref FrecMinTx, ref
FrecMaxTx);
    Utils.RangoAmpliado(Utils.Frec_Sug_Rx,Utils.AB,ref FrecMinRx, ref
FrecMaxRx);
    DataTable dtEnlaces =
Utils.data.GetEnlacesSNT(FrecMinTx,FrecMaxTx,FrecMinRx,FrecMaxRx);
    upb.Value = 0;
    int incremento = getIncremento(dtEnlaces.Rows.Count);
    foreach(DataRow fila in dtEnlaces.Rows)
    {
        int ID = int.Parse(fila[0].ToString());
        bool blnInterfiere = false;
        double UTM_N_TX = double.Parse(fila[1].ToString());
        double UTM_E_TX = double.Parse(fila[2].ToString());
        double UTM_N_RX = double.Parse(fila[3].ToString());
        double UTM_E_RX = double.Parse(fila[4].ToString());
        //Validacion de TX - TX
        if(Utils.Distancia(Utils.UTM_N_TX,Utils.UTM_E_TX,UTM_N_TX,UTM_E_TX)
<Utils.DistanciaInterferencia)
        {
            blnInterfiere=true;
        }
        //Validacion de TX - RX
    }
}

```

```

        if(Utills.Distancia(Utills.UTM_N_TX,Utills.UTM_E_TX,UTM_N_RX,UTM_E_RX)
<Utills.DistanciaInterferencia)
        {
            blnInterfiere=true;
        }
        //Validacion de RX - TX
        if(Utills.Distancia(Utills.UTM_N_RX,Utills.UTM_E_RX,UTM_N_TX,UTM_E_TX)
<Utills.DistanciaInterferencia)
        {
            blnInterfiere=true;
        }
        //Validacion de RX - RX

        if(Utills.Distancia(Utills.UTM_N_RX,Utills.UTM_E_RX,UTM_N_RX,UTM_E_RX)
<Utills.DistanciaInterferencia)
        {
            blnInterfiere=true;
        }
        if(blnInterfiere)
        {
            BudgetData.MAPEO_INTERFERENCIASRow row =
Utills.Interferencias.NewMAPEO_INTERFERENCIASRow();
            row.ID_CANAL = Utills.CanalSugerido;
            row.ID_ENLACE = ID;
            Utills.Interferencias.Rows.Add(row);
        }
        if(upb.Value<upb.Maximum)
            upb.Value = upb.Value + incremento;
    }
    upb.Value=upb.Maximum;
}

```

El siguiente método describe el cálculo del rango de frecuencias, en el cual serán consideradas como señales interferentes.

```

/// <summary>
/// Calcula el rango ampliado para la discriminación real de vecinas
interferentes
/// </summary>
/// <param name="Frec">Frecuencia central a obtener el rango
ampliado</param>
/// <param name="AB">Ancho de banda</param>
/// <param name="FrecMin">Retorno de Frecuencia mínima del rango
ampliado</param>
/// <param name="FrecMax">Retorno de Frecuencia máxima del rango
ampliado</param>
public static void RangoAmpliado(double Frec,double AB, ref double
FrecMin, ref double FrecMax)
{
    FrecMin = Frec-14-AB/2;
    FrecMax = Frec+14+AB/2;;
}

```

GetEnlacesSNT es un método que pertenece a la clase acceso a datos de la aplicación, el cual nos permite ejecutar el procedimiento almacenado llamado GET_ENLACES_SNT de la base de datos, para esto utiliza las credenciales ingresadas inicialmente para configurar la conexión, el procedimiento almacenado devuelve los datos de los enlaces que se encuentran dentro de los rangos de frecuencias que se ingresan como referencia.

```

/// <summary>
/// Permite obtener datos de posiciones de enlaces para validacion de
interferencias
/// por distancia
/// </summary>
///
/// <param name="FrecMinTx">Límite inferior del rango de
Transmisión</param>
/// <param name="FrecMaxTx">Límite superior del rango de
Transmisión</param>
/// <param name="FrecMinRx">Límite inferior del rango de
Recepción</param>
/// <param name="FrecMaxRx">Límite superior del rango de
Recepción</param>
/// <returns></returns>
public DataTable GetEnlacesSNT(double FrecMinTx, double FrecMaxTx, double
FrecMinRx, double FrecMaxRx)
{
    DataTable dtTabla = new DataTable();
    using(SqlConnection conn = new SqlConnection(Utils.ConnString))
    {
        try
        {
            conn.Open();
            using(SqlCommand cmd = new
SqlCommand("dbo.GET_ENLACES_SNT",conn))
            {
                cmd.CommandType = CommandType.StoredProcedure;
                cmd.Parameters.Add("@FREC_MIN_TX",FrecMinTx);
                cmd.Parameters.Add("@FREC_MAX_TX",FrecMaxTx);
                cmd.Parameters.Add("@FREC_MIN_RX",FrecMinRx);
                cmd.Parameters.Add("@FREC_MAX_RX",FrecMaxRx);
                SqlDataAdapter DA = new SqlDataAdapter(cmd);
                DA.Fill(dtTabla);
            }
        }
        catch(Exception ex)
        {
            throw ex;
        }
    }
}

```

```

        return dtTabla;
    }

```

El procedimiento que se vincula con este método es el siguiente

```

CREATE PROCEDURE [GET_ENLACES_SNT]
@FREC_MIN_TX FLOAT,
@FREC_MAX_TX FLOAT,
@FREC_MIN_RX FLOAT,
@FREC_MAX_RX FLOAT

AS
SELECT ID_ENLACE, UTM_N_TX, UTM_E_TX, UTM_N_RX, UTM_E_RX
FROM ENLACES_SNT
WHERE
        FREC_TX BETWEEN @FREC_MIN_TX AND @FREC_MAX_TX
OR
        FREC_RX BETWEEN @FREC_MIN_TX AND @FREC_MAX_TX
OR
        FREC_TX BETWEEN @FREC_MIN_RX AND @FREC_MAX_RX
OR
        FREC_RX BETWEEN @FREC_MIN_RX AND @FREC_MAX_RX
GO

```

El siguiente método implementa el cálculo de la distancia entre dos puntos, considerando sus coordenadas.

```

/// <summary>
    /// Implementa el calculo de la distancia entre dos puntos.
    Para validacion de interferencia
    /// </summary>
    /// <param name="N1">Coordenada Norte del Punto 1</param>
    /// <param name="E1">Coordenada Este del Punto 1</param>
    /// <param name="N2">Coordenada Norte del Punto 2</param>
    /// <param name="E2">Coordenada Este del Punto 2</param>
    /// <returns>Distancia entre los dos puntos</returns>
public static double Distancia(double N1, double E1, double N2, double
E2)
{
    double distancia = 0.0;
    double squarecatA = Math.Pow(Math.Abs(N2-N1),2);
    double squarecatB = Math.Pow(Math.Abs(E2-E1),2);
    distancia = Math.Sqrt(squarecatA+squarecatB);
    return distancia;
}

```

Proceso de Obtención del perfil topográfico.- Para realizar el proceso de presentación del *LinkBudget* se requiere cargar los datos del mapa topográfico, adicionalmente, se incluye el enlace objeto de estudio en el mapa y a continuación se utiliza una función interna del MapObjects que permite identificar los cruces entre el enlace analizado y la capa topográfica del mapa, obteniéndose de esta forma para cada cruce la cota correspondiente.

Con los datos de las cotas obtenidos para todo el trayecto del enlace, se realiza una consideración especial, en la cual se uniformiza la distribución del espaciamiento entre los respectivos puntos de cruce. Una vez realizado esta se procede a la creación de una tabla que definirá las abscisas y las ordenadas para el perfil topográfico y las funciones de la línea de vista y la zona de Fresnel. Finalmente se utiliza esta tabla para graficar el enlace a través del objeto gráfico de tipo UltraWinChart el cual forma parte del conjunto de componentes de Infragistics NetAdvantage.

```

/// <summary>
/// Metodo de búsqueda de cruces y de obtención de alturas para
/// graficación de perfil topografico.
/// </summary>
private void SearchCrossings()
{
    try
    {
        MapLayer mlyCapa = (MapLayer)axMapaQuito.Layers.Item(0);
        Recordset rcdDatos =
mlyCapa.SearchShape(Utills.Linea, SearchMethodConstants.moLineCross, "");
        int numRegistros = rcdDatos.Count+2;
        double largo = Utills.Linea.Length;
        double part = largo/numRegistros;
        double acum = 0.0;
        Utills.initializeDataTypes();
        //Incluir Punto Inicial
        BudgetData.BUDGET_DATARow start =
(BudgetData.BUDGET_DATARow)Utills.budgetData.Tables[0].NewRow();
        start.Equis = Math.Round(acum,2);
        start.Cota = Math.Round((Utills.AlturaTx +
Utills.ElevationTx),2);
        start.Fressnel =
Math.Round(Utills.ZonaFressnel(acum,false),2);
        start.LOS = Math.Round(Utills.LOS(acum),2);
        start.FressnelUp=
Math.Round(Utills.ZonaFressnel(acum,true),2);
        Utills.budgetData.Tables[0].Rows.Add(start);
        acum = acum + part;
        //Incluir puntos intermedios
    }
}

```

```

        while(!rcdDatos.EOF)
        {
            BudgetData.BUDGET_DATARow fila =
(BudgetData.BUDGET_DATARow)Utils.budgetData.Tables[0].NewRow();
            fila.Equis = Math.Round(acum,2);
            fila.Cota =
Math.Round((Double)rcdDatos.Fields.Item("cotas(valor)").Value,2);
            fila.Fressnel =
Math.Round(Utils.ZonaFressnel(acum,false),2);
            fila.FressnelUp =
Math.Round(Utils.ZonaFressnel(acum,true),2);
            fila.LOS = Math.Round(Utils.LOS(acum),2);

            Utils.budgetData.Tables[0].Rows.Add(fila);
            rcdDatos.MoveNext();
            acum = acum + part;
            if(upbProgreso.Value<70)
                upbProgreso.Value++;
            else
                upbProgreso.Value=70;
        }
        //Incluir Punto Final
        BudgetData.BUDGET_DATARow end =
(BudgetData.BUDGET_DATARow)Utils.budgetData.Tables[0].NewRow();
        end.Equis = Math.Round(largo,2);
        end.Cota = Math.Round((Utils.AlturaRx +
Utils.ElevationRx),2);
        end.Fressnel = Math.Round(Utils.ZonaFressnel(largo,false),2);
        end.LOS = Math.Round(Utils.LOS(largo),2);
        end.FressnelUp =
Math.Round(Utils.ZonaFressnel(largo,true),2);
        Utils.budgetData.Tables[0].Rows.Add(end);
        //Enlazar y graficar las curvas
        this.uchLink.Data.DataSource = Utils.budgetData.Tables[0];
        this.uchLink.Data.IncludeColumn(1,true);
        this.uchLink.Data.IncludeColumn(2,true);
        this.uchLink.Data.IncludeColumn(3,true);
        this.uchLink.Data.DataBind();
    }
    catch(Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.ToString());
    }
}

```

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DEL SISTEMA DESARROLLADO

Las pruebas del sistema se las dividió en el manual del usuario que será presentado en el Anexo 7 y las pruebas de los posibles casos que se desarrollarán a continuación.

4.1 PRUEBAS DEL SISTEMA

Tomando en cuenta las posibles opciones que se pueden presentar en las asignaciones de frecuencias para enlaces de microonda entre radiobases de telefonía móvil celular, se realizarán pruebas a los siguientes Módulos:

MÓDULO DE INGRESO DE DATOS

Objetivo	Resultados Obtenidos	Observaciones	Cambios
Verificar el ingreso al formulario una vez ingresado el usuario y la contraseña.	El ingreso al formulario fue exitoso		
Verificación de datos ingresados	Los datos en general se ajustaban a las restricciones establecidas	Una vez ingresado los datos se procedió a verificar que las restricciones asociadas a los mismos sean correctas.	Se solicitó aumentar ciertas restricciones a los datos de potencia ganancia, además de desplegar los datos correspondientes a los códigos de las antenas seleccionadas.
Ingreso de coordenadas, restricciones en cuanto a las coordenadas, dirección y elevación	Las restricciones de datos geográficos se realizaron con éxito	Se debe obtener la elevación desde el mapa	Se realizó una interpolación de puntos para así poder determinar la altura a nivel del mar a partir de datos obtenidos desde el mapa

--	--	--	--

Tabla 4. 1 Pruebas del Módulo Ingreso de datos

MÓDULO LINKBUDGET

Objetivo	Resultados Obtenidos	Observaciones	Cambios
Verificar la confiabilidad del perfil topográfico	El perfil topográfico fue obtenido tanto de los datos ingresado por el usuario como por los obtenidos del mapa.	El perfil topográfico debe ser netamente obtenido del mapa o en su defecto brindarle al usuario un dato mas real de la altura del los puntos tanto de transmisión como de recepción para que el pueda tomar este dato.	Se proporciono al ingreso de coordenadas el dato del los puntos de transmisión y de recepción realizando una interpolación de puntos.
Verificar confiabilidad de la línea de vista	Dada la observación anterior se podía percibir en la línea de vista una inclinación del punto de recepción.	Realizar cambios para que se supere este inconveniente.	Con los datos anteriormente obtenidos del punto de recepción y el de transmisión se debe graficar la línea de vista.
Confiabilidad de las zonas de fresnel	Las zonas de fresnel se graficaron correctamente	Al no estar libre el 0,6% de la primera zona de fresnel se presentaba únicamente en rojo la confiabilidad	Se solicito añadir un cuadro de dialogo que prevenga al usuario de este inconveniente.
Cálculos matemáticos del	Los cálculos se ajustan		

Link Budget	correctamente.		
-------------	----------------	--	--

Tabla 4. 2 Pruebas del Módulo LinkBudget

MÓDULO ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

Objetivo	Resultados Obtenidos	Observaciones	Cambios
Verificación de datos referentes a la canalización.	Los datos poseían las restricciones necesarias.		
Verificar las frecuencias sugeridas, estas deben estar dentro de las canalizaciones.	La verificación fue exitosa.		
Si la frecuencia sugerida no posee interferencias y se ajusta a la canalización debe indicar de este estado y proceder a la concesión.	Para este caso el sistema se ajusta correctamente.		
Si la frecuencia sugerida posee una o más interferencias y se ajusta a la canalización debe indicar mostrar las interferencias.	Se muestran correctamente las interferencias		
Si existe únicamente una interferencia se debe graficar el enlace interferente y el que	Se presento correctamente los datos y las gráficas, pudiendo		

actualmente se esta ingresando dentro del mapa para determinar el grado real de interferencias, adicionalmente para este caso se debe presentar un grafico de relación de alturas.	también visualizar los datos de cada uno de los enlaces interferentes en un cuadro de dialogo adicional.		
Si existen varias frecuencias interferentes se debe dar las dos opciones: ver de una en una haciendo el análisis de una sola interferencia o ver todas las interferentes en el mapa, pero esta vez sin análisis de alturas.	Se presento correctamente los datos de las frecuencias interferentes, y también se dejo las dos opciones de análisis, tanto individual como en grupo.		
Una vez analizadas las interferencias se debe poder negar la asignación.	Se negó la asignación correctamente y se regreso a la pantalla inicial.		
Una vez analizadas las interferencias se debe poder aceptar la asignación.	Se procedió a aceptar la asignación.	Luego de aceptar la asignación se continuo con el proceso de concesión.	

Tabla 4. 3 Pruebas del Agnación de Frecuencias.

MÓDULO CONCESIÓN

Objetivo	Resultados Obtenidos	Observaciones	Cambios
Una vez dentro de este proceso se debe inicialmente mostrar la frecuencia a ser asignada y la canalización correspondiente en un cuadro de texto	El cuadro de texto se presento con los datos correctos.		
Se debe graficar todos los enlaces en el norte de la ciudad de Quito que posean el mismo par de frecuencias tanto de recepción como de transmisión que se van a conceder.	Se realizó la graficación exitosamente.		
Se debe presentar un reporte de la asignación el cual se podrá guardar en un archivo.	Se presento el reporte con éxito.	El reporte debe presentarse no solo de una asignación echa en el momento.	Se incluyó una búsqueda de concesiones anteriores y se muestra el reporte de dicha concesión.
Se debe almacenar en la base de datos todos los parámetros de la nueva asignación.	Mediante el Administrador Corporativo de SQL Server se reviso las tablas de la base de datos y se verifico que efectivamente la concesión fue		

	almacenada en la base de datos.		
--	---------------------------------	--	--

Tabla 4. 4 Pruebas del Módulo Concesión.

4.2 INGRESO ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.

Tomando en cuenta que la herramienta desarrollada interactúa con bases de datos, el ingreso y actualización de la información se realiza de manera automática, el sistema brinda la capacidad de identificar y limitar el tipo de información ingresada, tomando en cuenta que el usuario de la misma se encuentra calificado para discriminar la información con la que debe alimentarse al sistema.

La información a ser ingresada en el sistema se recoge de los estudios técnicos presentados por los solicitantes, es decir, los parámetros con los que operará el sistema son proporcionados directamente por las operadoras.

Los campos de ingreso de información se encuentran claramente identificados mediante etiquetas de fácil comprensión para el usuario.

Una vez realizado el ingreso de datos al sistema este evalúa la información y con la interacción del usuario se establece la viabilidad de ser aceptados como válidos, una vez realizado este proceso el sistema automáticamente actualiza dicha información en la base de datos, para así terminar el proceso de asignación. La base de datos es actualizada únicamente por el sistema, y en caso de ser requerido eventualmente, por el administrador de la base de datos, de esta manera los usuarios operativos no podrán de ninguna manera modificar la base de datos directamente. Adicionalmente, la aplicación no se encuentra todo el tiempo conectada a la base de datos, esto se lo realiza únicamente bajo petición en función del trabajo que elabora el sistema.

Actualmente la hoja electrónica utilizada como base de datos en la SENATEL carece de una estructura sólida y segura, adicionalmente ésta mantiene discordancias en cuanto a los parámetros técnicos estandarizados por el Órgano Regulador.

La actualización permanente de los datos nuevos que se ingresen a través del sistema implica una migración paulatina de los datos mantenidos en la hoja electrónica inicial con la consiguiente corrección de las fallas existentes. Lo que finalmente redundará en la obtención de una base de datos sólida y confiable para el usuario.

La actualización de datos geográficos y de elevación se debe realizar mediante el uso de nuevo mapas, los cuales deben tener mejores características de precisión, lo cual implicaría un proceso mas detallado de digitalización de los mapas y los modelos de elevación.

4.3 LIMITACIONES DEL SISTEMA.

* **Calidad del mapa utilizado.**- El mapa utilizado fue desarrollado para los intereses del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito con una escala en modo *Full Extent* de 1:163.581 y es el de mejores características que se dispone del área objeto de estudio, los datos geográficos que este mapa contiene son la ubicación geográfica propia de todos los mapas y una tabla adicional de las cotas del área en cuestión. A pesar de lo anteriormente mencionado, los enlaces radioeléctricos entre radiobases de telefonía móvil celular pueden tener una distancia de enlace desde pocos metros hasta unos cuantos kilómetros, y puede darse el caso que en el mapa no existan suficientes puntos de cota que se crucen con el enlace lo que dificultaría el establecimiento del mismo, por lo tanto, se

requiere que el usuario ingrese la elevación del punto de transmisión y recepción del enlace, así como las alturas de las antenas.

* **Plataforma de uso.-** El desarrollo de este sistema se realizó en base de los requerimientos iniciales de la SENATEL, en cuales se estableció la utilización de la plataforma Windows para soportar la herramienta, de esta manera el sistema no podrá correr sobre ninguna plataforma diferente a la anteriormente mencionada.

* **Sistema de Gestión contractual.-** El sistema desarrollado esta orientado a la administración de la asignación del espectro radioeléctrico que se refiere estrictamente al manejo de las distintas canalizaciones dentro del área de interés, más no a la administración contractual, lo que representa un limitante si se considera que existen determinadas causales contractuales de índole legal que se encuentran ligadas a la gestión de la base de datos con la consecuencia de modificar la misma, proceso que debe ser llevado por parte de la Dirección Jurídica de la SENATEL, área que por el momento no cuenta con una herramienta que realice esta actividad.

* **Información errónea.-** históricamente la administración de los enlaces de microondas fue manejada por empresas estatales que a la vez fungían de operadores de los servicios, por lo que el espectro radioeléctrico fue otorgado para si mismos sin considerar parámetros tanto técnicos como regulatorios fundamentales y tampoco la optimización del recurso, lo cual degeneró en una deficiente asignación de frecuencias que se traduce en una serie de datos que no guardan coherencia con las premisas adoptadas en el sistema, es así que se puede observar dentro de la base de datos de frecuencias asignadas a concesionarios, un gran número de frecuencias que no se ajustan a la canalización y que se encuentran fuera de banda, al momento de realizar el diagrama de la base de datos existen incongruencias respecto al enlace entre las tablas canalización –Enlaces_SNT ya que muchos de estos datos no se ajustan a canalización alguna.

* **Requerimientos de Software.**- El sistema está soportado sobre las herramientas Visual C# .NET 2003, SQL Server 2000, MapObjects 2.3, Infragistics 2003. El uso de las herramientas mencionadas, tiene como objetivo mejorar el entorno del usuario y a su vez facilitar el desarrollo de la aplicación, principalmente en cuanto al uso de las herramientas GIS. Sin embargo, la SENATEL no cuenta con todas las licencias correspondiente al software antes mencionado, lo cual deberá ser considerado a la hora de adoptar el sistema para su aplicación real, ya que implicaría que se deba realizar una inversión adicional en la adquisición de licencias con las que al momento no se cuenta.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los sistemas celulares han tenido un vertiginoso desarrollo en los últimos años convirtiéndose en uno de los principales sistemas de comunicaciones a nivel mundial, su despliegue requiere de una utilización eficiente del espectro por lo que la creación de herramientas que ayuden a esta tarea beneficiará la prestación de estos servicios.

- Si bien las frecuencias con las que se realizan coberturas en una red celular son la base fundamental de la operación de los sistemas móviles, existe una red que interconecta cada una de las radiobases entre si y a su vez a estas con los centros de conmutación, esta red mantiene similar importancia con la anteriormente mencionada puesto que sin su correcto funcionamiento sería imposible efectuar comunicaciones en el sistema.

- Los enlaces de microonda que forman la red que interconecta las diferentes estaciones del sistema, deben ser diseñados de forma adecuada y se debe propender a optimizar la reutilización de frecuencias, situación cada vez más complicada por la enorme densificación de la red que implica celdas cada vez más pequeñas y por lo tanto un gran volumen de enlaces auxiliares.

- Los parámetros técnicos utilizados en los enlaces proporcionan los datos para determinar la viabilidad tanto física (datos Topográficos) como técnica (Link Budget) de implementar dichos enlaces.

- El uso de herramientas GIS facilitan de gran manera la obtención de datos geográficos digitales y la manipulación de los mismos brindando métodos preestablecidos para la determinación de parámetros físicos, dentro del presente sistema el uso de la herramienta GIS permitió el acceso a datos propios del mapa así como el uso de las funcionalidades añadidas de esta herramienta tales como verificar cruces, distancias, etc.
- El marco regulatorio aplicable a los sistemas de telefonía móvil celular es el correspondiente a la fecha de suscripción de sus contratos modificatorios (1996). Considerando el dinámico avance de este tipo de sistemas, la normativa aplicable se torna obsoleta respecto de la tecnología de vanguardia.
- La estructura de los organismos de regulación y control de las telecomunicaciones en el país, evidencia una falta de claridad en las funciones de cada institución y una traba burocrática demasiado grande que dificulta el ágil despliegue de los sistemas de telecomunicaciones así como la introducción de nuevas aplicaciones.
- Dentro de las funciones asignadas a la SENATEL se encuentra la administración y gestión del espectro radioeléctrico, y por consiguiente el manejo de los sistemas celulares. Al ser una de las áreas más importantes, es fundamental optimizar los procesos de asignación de frecuencias para agilizarlos.
- El Plan Nacional de Frecuencias es la herramienta central para la administración del espectro radioeléctrico, la asignación de frecuencias en cualquier rango se basa estrictamente en las atribuciones dadas en este documento.

- La herramienta desarrollada brinda la posibilidad de verificar de manera automática la viabilidad técnica de implementar un enlace, basando su análisis en la confiabilidad del mismo y en su diagrama topográfico.
- Uno de los mayores inconvenientes y que es causa de la tardanza en la atención de las solicitudes de frecuencias es la verificación manual de la disponibilidad de espectro, con esta herramienta se eliminaría este problema debido a que la asignación de frecuencias estaría automatizada.
- El uso de las herramientas informáticas se orientó en función de la disponibilidad de las mismas dentro de la SENATEL, ya que se debe optimizar los recursos existentes en la misma.
- Basándose en las necesidades de la SENATEL, en el desarrollo del sistema se utilizó un conjunto de componentes que brindan ventajas en cuanto a presentación y a manejo de datos geográficos.
- La conectividad con la base de datos en SQL en los sistemas se debe realizar de manera óptima, de tal manera que se realice bajo demanda, esto implica que la conexión se efectúe en los eventos que estrictamente lo requieran y se cierre terminada su utilización.
- El cálculo de los resultados que se muestran en el LinkBudget se basan en los datos ingresados por el usuario, los tomados del mapa, y las ecuaciones desarrolladas. Además, se aplican criterios mínimos de calidad con el objeto de discriminar entre un enlace factible de aprobación y uno que no lo sea.
- En el proceso de implantación del sistema dentro de la SENATEL se requiere ejecutar un plan de migración de datos hacia el esquema que utiliza la aplicación, el mismo que está basado en sus bases de datos originales, pero además incluye datos geográficos y transformaciones de estos a otros sistemas de coordenadas.

- El sistema desarrollado se encuentra diseñado de tal manera que la expansión del área geográfica como la reubicación de la misma sea factible sustituyendo el mapa por uno de características similares.

5.2 RECOMENDACIONES

- El Plan Nacional de Frecuencias debe ser constantemente modificado con la finalidad de incorporar de forma ordenada los nuevos desarrollos tecnológicos para su operación adecuada y libre de interferencias.
- El usuario final de este sistema deberá ser personal calificado para el uso del mismo, ya que la información que se maneja en torno a la asignación de enlaces de microonda requiere la aplicación de criterios técnicos, y la necesidad de una adecuada toma de decisiones.
- Se recomienda crear políticas de respaldo, mantenimiento y seguridad de la base de datos.
- Se recomienda ejecutar un plan de capacitación de uso del sistema.
- Es necesario que se consideren futuras ampliaciones del software, de tal manera que se incluya cartografía digital de una mayor área dentro de la ciudad y del país, así como la introducción de nuevas canalizaciones y diferentes distribuciones de frecuencias para aplicarlas en bandas adicionales a las consideradas en este proyecto.
- Sería importante considerar el desarrollo de una herramienta paralela que realice funciones de gestión contractual (manejo de considerandos legales de la concesión), de manera complementaria con este desarrollo.

- Parte fundamental del correcto funcionamiento del sistema, es aquella que le corresponde a la SENATEL y es el adquirir las licencias correspondientes a las herramientas utilizadas en el desarrollo del mismo.
- Dado el dinamismo de la base de usuarios de frecuencias de la SENATEL, se sugiere realizar actualizaciones periódicas de los campos más importantes que se manejan en el sistema.
- Se recomienda para futuras versiones incrementar funciones de selección de equipos y antenas, para esto se deberá generar una base de datos de los equipos y de las antenas que se utilicen para este propósito. Adicionalmente, se deberá utilizar un mapa que contemple todo el territorio ecuatoriano, el mismo que deberá poseer mejores características de precisión de datos.