



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

Tesis monográfica para optar al título de Ingeniero Electrónico

“Diseño de una estación base para su integración en una red celular basadas en tecnologías GSM/UMTS”

Autores:

Br. Norlan Benito Vílchez

Br. Ismael Antonio García Sánchez.

Tutor:

PhD. Marvin Arias Olivas

Julio de 2014
Managua, Nicaragua

Dedicatoria

A Dios principalmente por haberme brindado la sabiduría necesaria para poder culminar con este trabajo monográfico.

A mis abuelos Benito e Ignacia por la crianza que me dieron y enseñarme el camino correcto.

A mi madre Dalila Bellorín y mis hermanos Hazel y Bismarck, por confiar en mí y apoyarme durante todo este largo proceso.

Norlan Vilchez

Dedicatoria

A Dios que me brinda un día más de vida, el pan de cada día y me ha permitido culminar este trabajo monográfico.

A mis padres Sebastiana del Carmen Sánchez Martínez y José García Gaitán gracias a ellos alcanzo este logro de culminar mi carrera, son quienes se han esforzado brindándome la educación que he recibido, su apoyo y su amor.

A mis hermanos Lorena, Carlos, Eric y a mi querido hermano Silvio a quien no olvidaré, quienes han formado parte de mi vida y que como hermanos mayores han mostrado su apoyo, protección y cariño a lo largo de mi crecimiento.

Ismael García Sánchez

Agradecimientos

A nuestro tutor el Dr. Marvin Arias que tuvo la disposición, apoyo y orientaciones durante el desarrollo de este trabajo monográfico.

Al Dr. Marvin Sánchez que nos ha dado la oportunidad de aprender y trabajar en el área de las redes celulares.

A nuestra Alma Mater, Universidad Nacional de Ingeniería centro de prestigio donde hemos cursado la carrera de ingeniería electrónica y hemos recibido nuestro aprendizaje.

A nuestros amigos y compañeros que de alguna manera nos han brindado su apoyo e ideas.

Lista de Abreviaciones

1G	<i>Primera Generación</i>
2G	<i>Segunda Generación</i>
3G	<i>Tercera Generación</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
ARFCN	<i>Absolute Radio-frequency Channel Number</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
INAC	<i>Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil</i>
IT	<i>Initial Tuning</i>
MARENA	<i>Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales</i>
MINSA	<i>Ministerio de Salud</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
NSS	<i>Network and Switching Subsystem</i>
PAM	<i>Pulse-Amplitude Modulation</i>
PM	<i>Phase modulation</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
PSTN	<i>Public Switching Telecommunications Network</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RF	<i>Radio Frecuencia</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network subsystem</i>
RSCP	<i>Received Signal Code Power</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TELCOR	<i>Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos</i>
UARFCN	<i>UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>

Abstract

The development of the mobile communications in Nicaragua have been growing considerably in the last 5 years (2008-2013), increasing the user's demand for mobile communications to transmit services of voice and data. In order to extend the coverage and respond to the demand for these services, it is necessary to design new base stations with technologies GSM and UMTS currently deployed in the country to cover new areas that the population demand, or increase the capacity of existing networks to handle more voice and data traffic. In this context, the present document contains the design of a base station for its integration in a mobile cellular network based on the existing GSM and UMTS technologies in the country, through 'drive tests', that consists of field measurements that allows us to identify the zones with low or poor performance, and the prediction software tool Atoll for the Radio Network Planning design. This monograph also details the procedures necessary to carry out the design of a base station, including aspects of domestic regulation describing the process that a mobile operator must meet to approve the installation of a new base station. Further, it develop for both GSM and UMTS cellular technologies such as architecture, operating principle among other particularities that characterize the technologies mentioned. Additionally it explains the process for Radio Network Planning, which is essential for the deployment of new sites. As a practical example the design of a new base station is presented in a limited area of the existing GSM cellular services and UMTS access, where the results of the prediction tool (Atoll™), demonstrates the improvement in levels and signal quality of mobile cellular networks based on GSM and WCDMA technologies due to the correct application of Radio Network Planning in the design of a new base station.

Resumen

El desarrollo de las comunicaciones móviles en Nicaragua ha crecido considerablemente en los últimos cinco años (2008-2013), incrementando la demanda de usuarios de telefonía móvil para el servicio de transmisión de voz y datos. Para ampliar la cobertura y responder a la demanda de estos servicios, es necesario diseñar nuevas estaciones bases con los estándares de GSM y UMTS, actualmente desplegadas en el país para cubrir nuevas áreas que la población demanda o bien incrementar la capacidad de la redes existentes para manejar un mayor tráfico de voz y datos. En este contexto, el presente documento contiene el diseño de una estación base para su integración en una red celular de telefonía móvil basado en los sistemas GSM y UMTS existentes en el país, mediante “drive test”, que son mediciones de campo que nos permiten la identificación de las zonas que presentan bajo o mal desempeño y la herramienta de software de predicción Atoll™ para el diseño de Radio Network Planning. Este proyecto también detalla los procedimientos necesarios para llevar a cabo el diseño de una estación base, incluyendo los aspectos de regulación a nivel nacional describiendo el proceso que un operador de telefonía celular debe cumplir para la aprobación de la instalación de una nueva estación base. Además se desarrollan detalles importantes para los estándares celulares GSM y UMTS como: arquitectura, principio de funcionamiento entre otras particularidades que caracterizan a las tecnologías mencionadas. Adicionalmente se explica el proceso de planificación de Radio Network Planning, que es esencial para el despliegue de un nuevo emplazamiento. A manera de ejemplo práctico se presenta el diseño de una nueva estación base en una zona de acceso limitado a los servicios existentes de telefonía celular GSM y UMTS, donde los resultados obtenidos de la herramienta de predicción demuestran la mejora en los niveles y calidad de señal de las redes celulares basadas en tecnologías GSM y WCDMA debido a la correcta aplicación de Radio Network Planning para el diseño de una nueva estación base.

Lista de Figuras

Figura 1.0.1: Procedimiento general de diseño de una BTS	2
Figura 2.1: Elementos de un sistema de comunicación.....	10
Figura 2.2: Medio alámbrico usado en sistemas de comunicaciones.....	11
Figura 2.3: Onda electromagnética.....	11
Figura 2.4: Efecto Multitrayectoria	13
Figura 2.5: Efecto Shadowing.....	14
Figura 2.6: Efecto Reflexión	14
Figura 2.7: Interferencia constructiva e interferencia destructiva	15
Figura 2.8: Concepto de telefonía móvil mediante celdas	17
Figura 2.9: Estructura básica de red GSM.....	19
Figura 2.10: Técnicas de Acceso	20
Figura 2.11: Reúso de Frecuencia en GSM	21
Figura 2.12: Canales físicos y lógicos en TDMA	22
Figura 2.13: Clasificación de los canales de lógicos	23
Figura 2.14: Estructura general de red UMTS.....	25
Figura 2.15: 3GPP, Bandas de frecuencias WCDMA y GSM/EDGE.	26
Figura 2.16: Técnicas de Acceso	26
Figura 2.17: Proceso de <i>Spreading</i> o ensanchamiento de la señal al ser trasmitida.....	27
Figura 2.18: Scrambling Code	28
Figura 2.19: Tipos de canales en UTRAN	29
Figura 2.20: Mapeo de canales UMTS	30
Figura 2.21: Interoperabilidad entre tecnologías GSM/WCDMA	31
Figura 3.1: Proceso de diseño de estaciones bases	35
Figura 3.2: Visualización de 2 operadoras que pasan a implementar Greenfield Operation.....	39
Figura 3.3: Entorno urbano en Nicaragua.....	40
Figura 3.4: Patrón de radiación de antena omnidireccional.....	42
Figura 3.5: Esquema de asignación azimut.....	44
Figura 3.6: Esquema de inclinación de antena	45
Figura 3.7: Inclinación Mecánica.....	46
Figura 3.8: Inclinación Eléctrica	47
Figura 3.9 Mapa espectral y asignación de banda 850 en Nicaragua.....	50
Figura 3.10 Mapa espectral y asignación de banda 1900 en Nicaragua.....	50
Figura 3.11: cell split	52
Figura 3.12: Solapamiento entre radio propagación de celdas	55
Figura 3.13: Handover.....	57
Figura 3.14: Soft Handover	57
Figura 3.15: Softer Handover	58
Figura 3.16: Macro diversidad	58
Figura 3.17: Hard Handover	59

Figura 3.18: IRAT Handover	59
Figura 3.19: Relaciones de vecinas	60
Figura 3.20: Proceso de planeación y creación de una red 2G en Atoll	63
Figura 3.21: Interface propiedades de estación base en Atoll	64
Figura 3.22: interface de propiedades del transmisor GSM en Atoll	65
Figura 3.23: Configuración Feeder	65
Figura 3.24: Estación base instalada en el proyecto GSM de Atoll®	66
Figura 3.25: Cobertura por transmisor GSM.....	67
Figura 3.26: Cobertura por nivel de señal GSM	67
Figura 3.27: Proceso de planeación y creación de una red UMTS en Atoll	68
Figura 3.28: Interface propiedades de nodo b en Atoll	69
Figura 3.29: interface de propiedades del transmisor UMTS en Atoll	69
Figura 3.30: Configuración Feeder	70
Figura 3.31: Visualización en mapa de Nodo B en un proyecto de Atoll® UMTS.	70
Figura 3.32: Cobertura por transmisor UMTS.....	71
Figura 3.33: Cobertura por nivel de señal UMTS	72
Figura 3.34: Simulación Monte-Carlo	73
Figura 3.35: Predicción E_c/I_0 en UMTS.....	73
Figura 4.1: Zona de Pacayita y estaciones base más cercanas	77
Figura 4.2: Recorrido Niveles de Señal de cobertura GSM, Operador A	78
Figura 4.3: Recorrido Niveles de Señal de cobertura WCDMA, Operador A	79
Figura 4.4: Resultado ajuste de mediciones al proyecto de Atoll® GSM	80
Figura 4.5: Resultado ajuste de mediciones al proyecto de Atoll® WCDMA.....	81
Figura 4.6: Ubicación del punto seleccionado para nuevo sitio.	82
Figura 4.7: Ubicación de la estructura respecto a lugares con criterios de restricción.....	82
Figura 4.8: Diagrama de RBS.....	83
Figura 4.9: Esquema de distribución hardware.	83
Figura 4.10: Perfil de elevación norte-sur en pacayita	85
Figura 4.11: Perfil de elevación este-oeste en pacayita	86
Figura 4.12: Predicción cobertura por nivel de señal - antes.	91
Figura 4.13: Predicción cobertura por nivel de señal - después.....	91
Figura 4.14: Predicción cobertura por transmisor GSM - antes.	92
Figura 4.15: Predicción cobertura por transmisor GSM - después.....	92
Figura 4.16: Predicción cobertura por nivel de señal WCDMA - antes.....	93
Figura 4.17: Predicción cobertura por nivel de señal WCDMA - después.	93
Figura 4.18: Predicción cobertura por transmisor GSM- antes.	94
Figura 4.19: Predicción cobertura por transmisor GSM - después.....	94
Figura 4.20: Análisis de calidad de señal WCDMA E_c/I_0 - antes.....	95
Figura 4.21: Análisis de calidad de señal WCDMA E_c/I_0 - después.	95
Figura 4.22: Segmentos de frecuencia y distribución de canales BCCH y TCH.....	97
Figura 4.23: Plan de frecuencia BCCH para nuevo sitio.....	97

Figura 4.24: Relaciones de vecinas para los sectores del nuevo sitio GSM.....	98
Figura 4.25: Relaciones de vecinas para los sectores del nuevo Nodo B.	99
Figura 4.26: Plan de códigos para nuevo Nodo B.	100
Figura 4.27: Proceso general Initial Tuning.....	101

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Criterios de altura de estructura en entornos urbanos - Ley 843	44
Tabla 3.2: Valores máximo de potencia de BTS en GSM	48
Tabla 3.3: Valores de potencia de BTS en WCDMA	48
Tabla 3.4: Plan de Frecuencia para telefonía celular en Nicaragua	50
Tabla 3.5: Distribución de canales GSM.....	51
Tabla 3.6: Distribución de canales UMTS.....	51
Tabla 3.7: Tabla de Erlang B.....	53
Tabla 3.8: Parámetros de medición Drive Test.....	61
Tabla 4.1: Ajustes de parámetros proyecto Atoll® GSM.....	79
Tabla 4.2: Ajustes de parámetros proyecto Atoll® WCDMA.....	80
Tabla 4.3: Elemento para el cálculo de Link Budget para una sistema GSM.....	88
Tabla 4.4: Elemento para el cálculo de Link Budget para una sistema UMTS.....	89
Tabla 4.5: Configuraciones físicas del nuevo sitios GSM	90
Tabla 4.6: Configuraciones físicas del nuevo nodo B WCDMA.....	90
Tabla 4.7: BCCH monitoreados en recorrido y su correspondencia dentro de los segmentos de banda 1900 en Nicaragua.....	96

Contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	iii
Lista de Abreviaciones	iv
Abstract.....	v
Resumen	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	x
Contenido.....	xi
Objetivos	xiii
Introducción.....	1
1 Marco legal y permisos para instalación de estaciones base en Nicaragua	3
1.1 Ley 843 - Ley que regula la ubicación, construcción e instalación de estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico.	4
1.1.1 Ventanilla única.....	4
1.1.2 Criterios generales para la instalación de estructuras de soporte.	6
1.2 Ventajas y desventajas de la Ley 843.....	7
2 Marco teórico.....	9
2.1 Sistema de comunicación	10
2.1.1 Sistema de comunicación con canal inalámbrico.	10
2.1.2 Teoría de radio propagación.....	11
2.1.3 Transmisión de la información.....	12
2.1.4 Fenómenos de radio propagación.	12
2.1.5 Modelos de radio propagación	15
2.2 Antecedentes de la telefonía móvil	17
2.3 Tecnología GSM	17
2.3.1 Arquitectura del sistema GSM	18
2.3.2 Frecuencia de operación para GSM.....	19
2.3.3 Técnicas de acceso.	20
2.3.4 Reúso de frecuencia en GSM (Plan de frecuencia)	20
2.3.5 Canales GSM	21
2.4 Estándar UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)	24
2.4.1 Arquitectura del estándar UMTS	24
2.4.2 Frecuencia de operación y utilización del espectro.....	25
2.4.3 Técnicas de acceso.....	26
2.4.4 Tecnología de acceso utilizada por el estándar UMTS.....	27
2.5 Interoperabilidad entre tecnologías GSM y UMTS.	31
2.5.1 Descarga de llamadas WCDMA hacia GSM (Directed Retry).....	31
2.5.2 Descarga de llamadas GSM hacia UMTS (UMFI).....	31
3 Metodología de diseño para estaciones bases/nodo b.....	33

3.1	Introducción a la planificación de red de radio (<i>Radio Network Planning</i>).....	34
3.2	Proceso durante el diseño de estaciones bases/nodo b, la integración física y operacional.	34
3.2.1	Zona objetivo para el diseño de estación base.....	35
3.2.2	Ubicación para el diseño de estación base (site survey).	36
3.2.3	Planificación de minimización de impacto medioambiental.	37
3.2.4	Diseño RF de las estaciones base.....	39
4	Diseño de estación base en la comunidad de Pacayita	75
4.1	Diseño de estación base y nodo b para ampliación de cobertura.....	76
4.2	Zona Objetivo para el Diseño.....	76
4.2.1	Descripción del escenario	76
4.2.2	Resultado de recorrido Operador A.....	77
4.2.3	Ajuste de proyecto de Atoll® en base a mediciones de campo	79
4.3	Selección de ubicación de coordenadas para el emplazamiento GSM/WCDMA.	81
4.4	Recurso de Hardware y estructura de la estación base.....	83
4.4.1	Unidad de radio.....	84
4.4.2	Unidad digital	84
4.4.3	Sistema de ventilación	84
4.4.4	Sistema de alimentación -48 VDC o 24 VDC	84
4.4.5	Sistema Radiante	84
4.4.6	Sistemas de alarmas.....	84
4.5	Diseño de emplazamiento GSM/WCDMA para escenario presente en la comunidad de Pacayita en la zona rural del departamento de Masaya.	85
4.5.1	Evaluación de la geografía del entorno.	85
4.5.2	Link Budget.....	87
4.5.3	Predicciones con el nuevo sitio integrado en Atoll GSM/WCDMA.....	90
4.5.4	Plan de frecuencia.....	96
4.5.5	Plan de vecinas.....	98
4.5.6	Plan de código.....	100
4.6	Initial Tuning	101
	Conclusiones	103
	Recomendaciones.....	104
	Bibliografía	105
	Anexos.....	107

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar una estación base para su integración en una red celular basada en tecnologías GSM/UMTS.

Objetivos Específicos:

- Estudiar los aspectos legales establecidos por el Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR), en cuanto a la integración de una nueva estación base.
- Investigar los requerimientos técnicos de las operadoras sobre funcionamiento y diseño de una estación base.
- Localizar y analizar un conjunto de sitios candidatos para la elección del más indicado para el diseño.
- Describir la estructura básica de una estación base / Nodo B y sus elementos principales.
- Realizar diseño de la estación base usando software ATOLL basado en los parámetros y criterios técnicos de la red para tecnologías GSM/UMTS.

Introducción

El desarrollo de las comunicaciones móviles en Nicaragua ha crecido considerablemente en los últimos años, lo que ha generado un incremento exponencial de usuarios solicitando tanto el servicio de telefonía como el servicio de datos.

Este considerable crecimiento de usuarios demandando el servicio de telefonía celular es originado por el rápido avance de las tecnologías como por ejemplo GSM y UMTS, lo que ha obligado a las operadoras que brindan este servicio a desplegar cobertura a nuevas zonas objetivas e incrementar capacidad en las zonas ya cubiertas para poder manejar el tráfico cursado que cada vez crece aún más.

Esto genera la necesidad de diseñar nuevas estaciones bases para ampliar cobertura a nuevas zonas pobladas las cuales demandan servicio de telefonía celular y en otros escenarios incrementar la capacidad de la red para manejar un mayor tráfico de llamadas y datos ya que los canales de comunicación en una estación base son limitados y solo se puede brindar servicio a un número determinado de usuarios.

Este proyecto monográfico se basa en el procedimiento requerido para el diseño de una nueva estación base para las tecnologías GSM y UMTS, segunda y tercera generación respectivamente, considerando desde los aspectos legales hasta los aspectos técnicos involucrados en el diseño, comprendiendo posibles escenarios donde es preciso la instalación una nueva estación base. La imagen de la **Figura 1.1** muestra un flujograma que presenta el esquema general de los procesos involucrados en el diseño e instalación de una nueva estación base.

Además el documento contempla el diseño de una estación base para GSM y para UMTS en una zona específica del territorio nacional mediante el apoyo del software de predicción Atoll®.

El presente proyecto monográfico se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1, "Marco legal y permisos para instalación de estaciones base en Nicaragua", se muestran todos los requisitos necesarios que deben cumplir las operadoras para poder brindar el servicio de telefonía celular en territorio nicaragüense a partir de la aprobación de la ley de antenas "Ley 843".

El capítulo 2, "Marco Teórico" es donde se describen los fundamentos de las comunicaciones inalámbricas y los fenómenos implicados en la propagación de las ondas electromagnéticas a través del espacio. También se presentan los fundamentos de las tecnologías involucradas en el diseño presentando las características principales.

El capítulo 3, "Metodología de diseño para estaciones base", se centra en los requerimientos técnicos establecidos por las operadoras de telefonía celular para el diseño de una nueva estación base, teniendo en consideración los posibles escenarios típicos para los diseños

basados en tecnologías "GSM/UMTS" que se realizan en Nicaragua incluyendo las consideraciones establecidas por la ley respecto a ubicación de nuevos emplazamientos. Además contempla los requerimientos de Radio Frecuencia que deben ser considerados al momento de realizar el diseño de una nueva estación base y aspectos que se abordan durante el "Initial Tuning" para que la integración del nuevo sitio no afecte el desempeño de la red existente. En la **Figura 1.1** se muestra el proceso general requerido para el diseño de una nueva estación base.

El Capítulo 4, "Diseño de estación base en la comunidad de Pacayita ", este capítulo muestra el diseño de una nueva estación base aplicado en la necesidad de Pacayita ubicada en el departamento de Masaya, realizando: análisis del escenario mediante datos recolectados en las mediciones de campo procediendo con la realización del diseño con el apoyo del software de predicción Atoll ©.

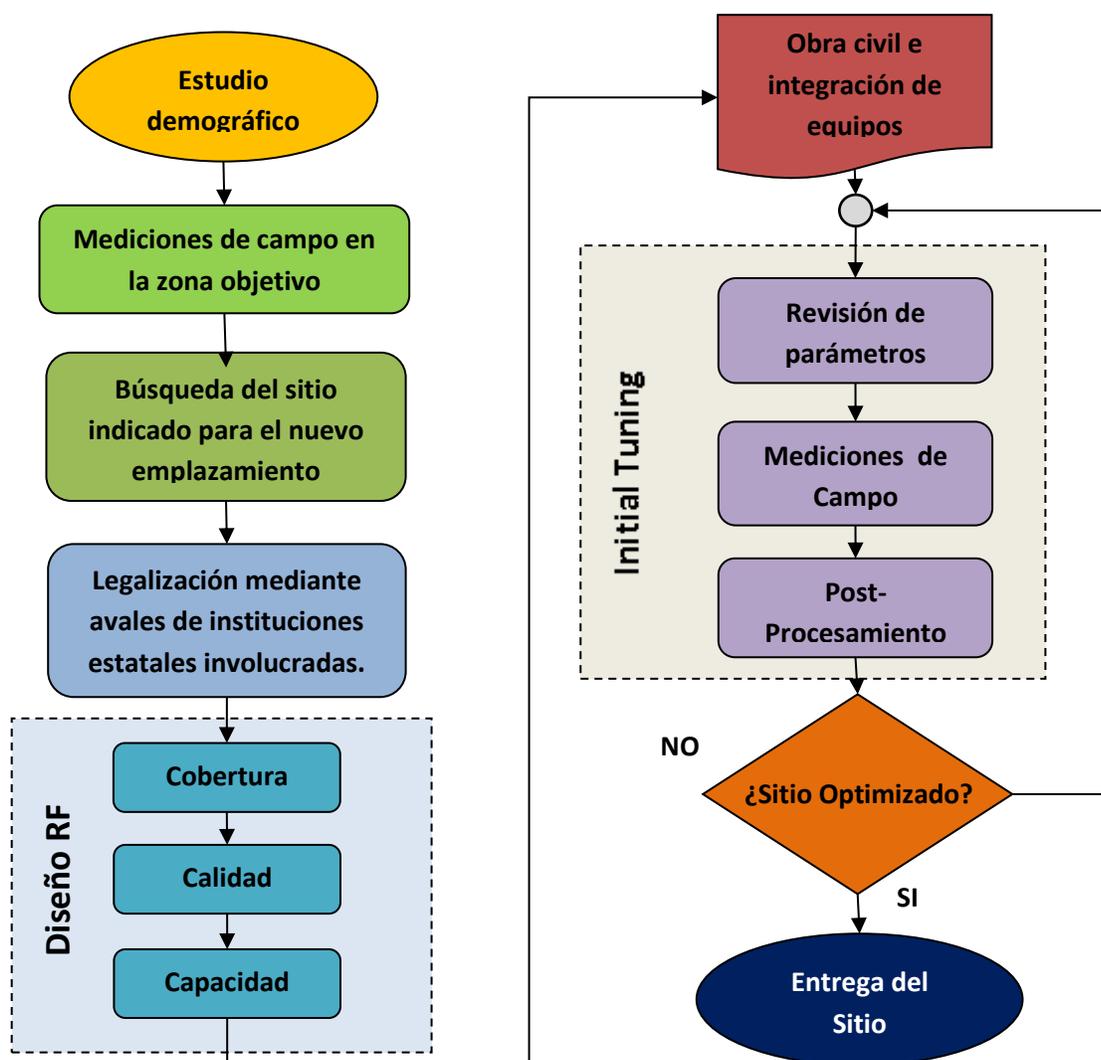


Figura 1.0.1: Procedimiento general de diseño de una BTS

1 Marco legal y permisos para instalación de estaciones base en Nicaragua

Este capítulo describe el proceso legal establecido por la ley 843, “Ley que regula la instalación de estructuras que brindan soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico”, donde se presentan los requisitos necesarios que deben cumplir en materia legal los operadores de servicio para la instalación de una estación base de telefonía móvil en Nicaragua, considerando los distintos avales o permisos de las instituciones públicas involucradas en este proceso a partir de la entrada en vigencia de la presente ley, la cual fue aprobada por la Asamblea Nacional el 27 de junio de 2013.

1.1 Ley 843 - Ley que regula la ubicación, construcción e instalación de estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico.

La comunicación inalámbrica móvil en Nicaragua tiene origen con la tecnología analógica de primera generación, tecnología que proporcionaba servicio a través de una estación base de alta potencia con la que se pretendía brindar la máxima cobertura posible en las áreas en que se instalaba dichas estaciones base. En el año 2002 inicia a operar la comunicación móvil GSM (*Global System for Mobile communication*) la que incorpora tecnología digital y la mejora en el concepto de tecnología celular para brindar una dominante cobertura la cual consiste en el despliegue en una área dividida en celdas instalando una estación base de baja potencia en cada una de ellas.

Con la operación de la tecnología de segunda generación en Nicaragua en el año 2002 se inició el despliegue de la tecnología instalando un gran número de estaciones bases, lo que genero la necesidad de que este proceso fuera regulado dando origen en el año 2003 a la discusión de una ley que regulara este proceso. La aprobación de dicha ley es emitida por la asamblea nacional el 27 de junio de 2013 y publicada en la gaceta el 12 de julio de 2013 bajo el nombre de: “LEY QUE REGULA LA UBICACIÓN, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE PARA EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES QUE HACEN USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”. [1]

El objeto principal de la ley, como su nombre lo indica, es regular la ubicación, construcción, instalación, uso, mantenimiento y fiscalización de las estructuras para soportar equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico. Esta ley establece que quien será encargado de dar cumplimiento a lo establecido es el ente regulador TELCOR siendo así este el encargado de otorgar la aprobación o rechazo del permiso de instalación de una nueva estación base, efectuando su labor en coordinación con otras autoridades competentes para emitir permisos, autorizaciones constancias o avales en su área o materia de intervención. Las entidades públicas que la ley contempla para otorgar avales son las siguientes:

- Ministerio del ambiente y recursos naturales (MARENA)
- Instituto nicaragüense de aeronáutica civil (INACT)
- Ministerio de transporte e infraestructura (MTI)
- Instituto nicaragüense de estudios territoriales (INETER)
- Municipalidades
- Consejos regionales de la costa atlántica (RAAN y RAAS)

1.1.1 Ventanilla única

Mediante la ley 843 se ordena la creación de la ventanilla única como una dependencia de TELCOR que ejercerá operación en las oficinas centrales de este último (sin perjuicio de instalar ventanillas en otras localidades del territorio nacional).

Funciones y deberes de ventanilla única

Respecto a la solicitud de permiso para instalación de estaciones base celulares ventanilla única como dependencia del ente regulador TELCOR tendrá como fin de operación a la simplificación, agilización del proceso de recepción de documentos y el trámite de estos a fin de emitir o rechazar permisos para la instalación de estructuras soporte para sistemas de comunicación que hacen uso del espectro radioeléctrico. Los varios procesos y solicitudes de permisos que se incurría realizar antes de la existencia de la ley se efectuarán en una sola instancia (ventanilla única) la que se ha centralizado la gestión de los permisos.

Por tanto tendrá TELCOR mediante ventanilla única la dirección y coordinación del proceso de emisión de los permisos que al ser emitido por TELCOR será prueba fiable de que se han cumplido todos los requisitos legales y técnicos para la ubicación, construcción, instalación, uso y mantenimiento de las estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico.

Trámite para la obtención de permiso

La persona interesada en obtener el permiso según la ley, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Formulario de solicitud con los datos del proyecto, presupuesto y diseño;
- b) Estudio geológico;
- c) Estudio geotécnico;
- d) Planos arquitectónicos;
- e) Permiso de construcción emitido por la Alcaldía del territorio;
- f) Memoria de cálculo;
- g) Planos constructivos;
- h) Licencia de constructor emitida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura;
- i) Matricula y solvencia Municipal del constructor, donde está domiciliado;
- j) Solvencia Municipal del dueño o dueña del proyecto;
- k) Plan de manejo ambiental y de medidas de mitigación de Impactos;
- l) Coordenadas georeferenciadas del sitio;
- m) Plano de micro localización en mapa a escala 1:10000; y
- n) La ubicación, debe ser un proceso libremente negociado entre las partes y no es de carácter obligatorio, debiendo el solicitante presentar como requisito para la obtención del permiso, comunicación escrita informando que existe acuerdo con la otra empresa propietaria de la estructura de soporte para equipos de telecomunicaciones, ubicada en el sitio donde se solicita el permiso, para la nueva instalación.

1.1.2 Criterios generales para la instalación de estructuras de soporte.

Para garantizar que la ubicación e instalación de estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico, no representen riesgos para la vida, seguridad de la población, protección de los bienes, libre movilización, navegación aérea y armonización con el paisaje, ante eventos de la naturaleza u otras contingencias provocados por el hombre, deberá cumplir, al menos, con lo siguiente:

- 1) El reglamento nacional de la construcción vigente emitido por el ministerio de transporte e infraestructura, de acuerdo al tipo de estructura que se pretende instalar;
- 2) Norma TIA/EIA 222 – Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas, para el diseño de la estructura en lo relacionado al reglamento nacional de la construcción;
- 3) En dependencia de la altura de la estructura, debe sujetarse a los siguientes parámetros:
 - a) En las áreas urbanas, las estructuras menores de 36 metros de altura pueden estar soportadas en un solo elemento, o bien arriostradas o auto soportadas.
 - b) En las áreas urbanas la altura máxima permitida para la instalación de la infraestructura de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico será de 45 metros. Cuando se encuentre construida, instalada o se vaya a instalar en edificios o azoteas no podrá ser superior a los 9 metros. Se deberá tomar en cuenta las limitaciones establecidas para la navegación aérea; y
 - c) Fuera de las áreas urbanas, las estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico, con alturas mayores de 36 metros, deben ser estructuras auto soportadas, es decir, estructuras asentadas sobre tres o más soportes.
- 4) Excepcionalmente, en el área urbana, el ente regulador, atendiendo a criterios estrictamente técnicos y debidamente fundamentados, podrá autorizar la instalación de estructuras de altura mayor o soporte diferente a lo ante establecido, debiendo tomar en cuenta las limitaciones establecidas para la navegación aérea. En centros de desarrollo infantil, escuelas, colegios, centros de salud y hospitales, no se permitirá la instalación de estructura de soporte para equipos de telecomunicaciones a una distancia menor del 100% de la altura de la estructura que se pretende instalar. En los demás lugares, se debe garantizar que la distancia desde el centro de la estructura a la casa de habitación o sitio más cercano sea igual o mayor a un tercio de la altura de la estructura que se pretende instalar;

- 5) Contar con barreras físicas que impidan la entrada de personas ajenas al dueño o dueña de la estructura, contratistas o empleados de éste. Estas barreras podrán ser construidas de mampostería, losetas o concreto reforzado, según sea el caso;
- 6) Cuando se instalen en carreteras y caminos fuera del área urbana, éstas deberán tener un retiro igual o mayor a la mitad de la altura de la propia estructura, medida desde el límite externo del derecho de vía de la carretera; y
- 7) Las demás disposiciones que se establezcan en el reglamento de la presente ley.

1.2 Ventajas y desventajas de la Ley 843

La principal ventaja generada por la ley es que esta establece un proceso centralizado en cuanto a la solicitud de avales y permisos para la instalación de estaciones base, ya que antes de la aprobación de la ley dicho proceso estaba conformado por la solicitud individual a cada una de las instituciones estatales involucradas en el proceso. Las instituciones involucradas en el proceso antes de la aprobación de la ley son las siguientes:

TELCOR: Como institución encargada de la regulación, emisión de permisos de operación y espectro a las empresas de las telecomunicaciones en Nicaragua. En el caso de la telefonía móvil celular las operadoras deben adquirir mediante licitación el permiso de operación en el segmento de frecuencia que brindarán servicio. Para las instalaciones de las antenas TELCOR tiene un formato de permiso que contiene requerimientos que el operador debe presentar. (Ver los formatos de solicitudes en Anexo A - “*Formato de solicitud de autorización para prestar servicios de telecomunicaciones*”).

Alcaldías municipales: La intervención de la alcaldía municipal en el proceso de instalaciones de estaciones bases está relacionado con el aspecto urbanístico, contaminación visual y seguridad de construcción. Efectuándose dicho trámite en base a un formato que establece la alcaldía. (Ver en Anexo B “*Trámite para desarrollo urbano tipo de proyecto especial: Torres de soporte de telecomunicaciones*”).

MARENA: Tiene como función velar por el buen uso y bienestar de los recursos naturales de Nicaragua, en caso de la telefonía celular al momento de construir la estructura que brindan soporte a las antenas se realiza movimiento de tierra, entre otros elementos naturales los cuales deben tener un tratamiento especial y que dicho proceso de remoción debe ser supervisado para evitar la alteración del ecosistema y medio ambiente, así como la revisión del tratamiento de los desechos que quedan de la construcción de la estructura de la estación base. Para la emisión del permiso de MARENA se debe cumplir con los requerimientos y estudios establecidos en el formato determinado por dicha institución. (Ver Anexo C “*Formato de solicitud de permiso de MARENA*”).

MINSA: Es el ministerio encargado de velar por la salud y bienestar de las personas, teniendo como función garantizar y comprobar el correcto proceso para la instalación de la estructura en el cual se instalarán las antenas.

INAC: Es la institución que emite permisos que avalan que la ubicación de la estructura, y la misma estructura en sí, no afecten la navegación aérea en el país. Entre otras cosas se encarga de *“Evaluar y recomendar sobre la reubicación, ampliación, modernización o reconstrucción de Aeropuertos en coordinación con las autoridades competentes, así como la construcción de edificios, estructuras, elementos radiadores o cualquier obstáculo que pueda afectar las operaciones aeronáuticas.”* Y *“Definir normas técnicas, supervisar y controlar las instalaciones y sistemas para la navegación, ayudas visuales, aproximación, comunicaciones y meteorología aeronáutica.”* [2]

La principal limitante de la ley 843 es que está destinada únicamente para la regulación de la ubicación, construcción e instalación de las estructuras para soporte de los equipos de transmisión y no contempla ningún aspecto en cuanto a la regulación de la emisión de ondas electromagnéticas.

2 Marco teórico

En este capítulo se presentan los fundamentos de los sistemas de comunicación inalámbricos y los fenómenos involucrados en la propagación de las ondas electromagnéticas que transportan la información.

De igual forma abarca la estructura general de las tecnologías incluidas en el diseño, destacando sus principales características como frecuencia de operación y técnicas de acceso.

2.1 Sistema de comunicación

La comunicación es la acción de transferir información entre 2 puntos ubicados a cierta distancia, para poder efectuar la comunicación es necesario tener un sistema de comunicación, básicamente está estructurado por un emisor, un mensaje, un canal por medio del cual se envía el mensaje y el receptor del mensaje. Existen otros elementos y conceptos que con los avances de los sistemas de comunicación se vienen desarrollando hasta conocer esquemas básicos de comunicación.

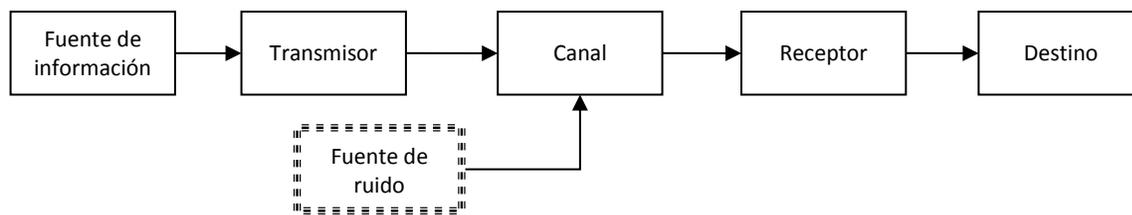


Figura 2.1: Elementos de un sistema de comunicación

“Fuente de referencia: [3], Propagación en el espacio libre”

Fuente de información: Esta corresponde al mensaje que se desea enviar, la información que se desea transmitir.

Transmisor: Es el proceso o elemento del sistema de comunicación que transforma el mensaje a enviar en una forma de señal. El transmisor junto al canal de transmisión y el receptor conforman las 3 partes fundamentales de un sistema de comunicación.

Canal: Es el medio de enlace entre el transmisor y el receptor, por el cual se transmite la señal mensaje que envía el transmisor hacia el receptor, lo característico de todo canal de transmisión es la atenuación que provoca a la señal mensaje lo que se refleja en que la intensidad con que se recibe la señal mensaje es menor que la intensidad con que se transmite y que es en dependencia a la distancia en que se encuentran los elementos transmisor y receptor.

Fuente de contaminación (Distorsión, interferencia y Ruido): Adicional a la atenuación existen otros efectos no deseados en un sistema de comunicación los cuales alteran la señal de transmisión y su información, más detalles se presentan en fenómenos de radio propagación.

Receptor: Es el proceso o elemento del sistema de comunicación encargado de la transformación de la señal transmitida por el canal en el mensaje o información que se desea transmitir y que debe ser entendido por el destino.

Destino: Es a quién o a que se desea enviar la información.

2.1.1 Sistema de comunicación con canal inalámbrico.

Los sistemas de comunicación inalámbrico (llamado también sistemas de radiocomunicación) evolucionaron la forma de comunicarse ya que con este tipo de sistema no es necesario requerir

de un medio material (cable) para transmitir la información en forma de señal eléctrica sino que se transmite la información mediante ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin ayuda alguna de guía artificial. [3]

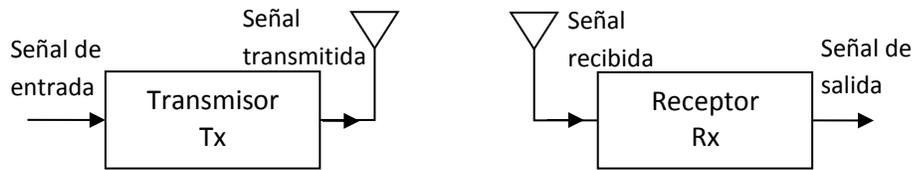


Figura 2.2: Medio alámbrico usado en sistemas de comunicaciones

2.1.2 Teoría de radio propagación.

Las ondas electromagnéticas son de mucha importancia en los sistemas de comunicación inalámbrica, su descubrimiento teórico se debe al físico Británico James Clerk Maxwell que mediante la publicación de series de artículos estableció la teoría de las ondas electromagnéticas mediante el análisis matemático.

Las relaciones matemáticas entre los campos eléctrico y magnético desarrollada por Maxwell proporcionan una base teórica completa para el tratamiento de todos los fenómenos electromagnéticos y cuyo análisis ha sido resumido por Oliver Heaviside en cuatro leyes principales:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Ec.2.1})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (\text{Ec.2.2})$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (\text{Ec.2.3})$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{Ec.2.4})$$

Estas cuatro ecuaciones representan una descripción completa sobre el campo magnético y eléctrico que dan lugar a las ondas electromagnéticas.

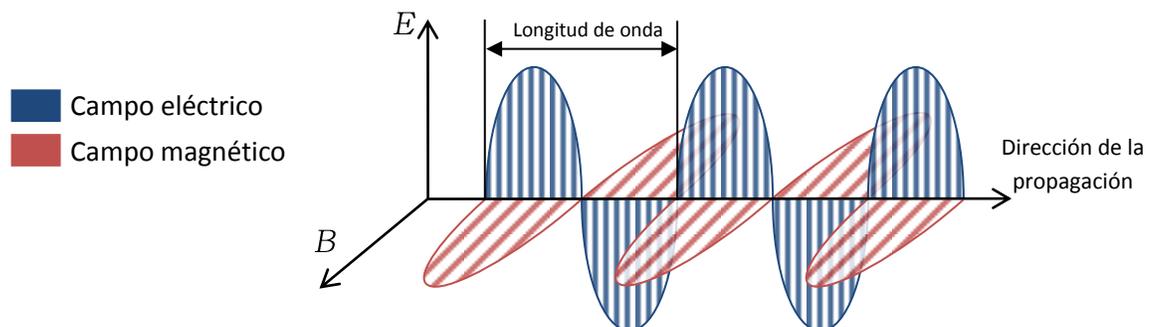


Figura 2.3: Onda electromagnética

“Fuente de referencia: [4], Propagación en el espacio libre”

En pocas palabras podemos describir a las ondas electromagnéticas como un tipo de onda que emite energía a través del espacio libre. La onda electromagnética como lo indica su nombre está conformada por 2 componentes vectoriales que son el campo magnético y el campo eléctrico, y cuya principal característica es la longitud de onda o bien la frecuencia como se puede observar en la imagen **Figura 2.3**, estas tienden a viajar en línea recta pero la atmósfera y la tierra misma alterarán su trayectoria.

2.1.3 Transmisión de la información

La técnica de radiocomunicación consiste en la superposición de la información que se desea transmitir (señal de entrada) en una onda electromagnética soporte denominada portadora la que posee un valor de frecuencia a la cual se transmite, al proceso descrito anteriormente se le denomina modulación, existen varios métodos o esquemas de modulación entre los cuales se encuentran: AM (modulación en amplitud), FM (modulación en frecuencia), PM (modulación en fase) usadas en señales mensajes de tipo analógicas. En señales mensaje de tipo digital se usan otros esquemas diseñados como por ejemplo: PAM, FSK, PSK, QAM, entre otras. La razón por la que se efectúa la modulación de la señal mensaje es para que esta sea capaz de enfrentar a las características del canal de transmisión es decir para que sea resistente a los efectos de los fenómenos de propagación del medio. Posterior a la modulación la información que se transmite viaja en forma de una onda modulada. [5]

La onda modulada luego de ser transmitida y haber viajado por el espacio que separa a las antenas transmisoras y receptoras, pasa al proceso de demodulación en el que se obtiene de la onda modulada la señal mensaje para que pueda ser entendido por el usuario destino.

2.1.4 Fenómenos de radio propagación.

Las ondas electromagnéticas se propagan a través de cualquier material dieléctrico incluyendo el aire, por tal razón es de importancia en los sistemas de comunicación inalámbrico ya que permiten el envío de información a través del espacio libre y tienen la capacidad de traspasar obstáculos que encuentran en su curso pudiendo llegar a cualquier sitio del territorio al cual se le brindará cobertura pero los niveles de señal y calidad de esta se ven afectados, por este motivo durante el diseño de un sistema de comunicación es de suma importancia hacer un estudio sobre los efectos generados por el canal de transmisión que puedan perturbar la información transmitida a través de las ondas electromagnéticas. [5]

Perdidas en el espacio libre (Free Space Loss).

La onda de radio a medida que se aleja del transmisor pierde potencia, incluso cuando viaja en línea recta debido a que se esparce sobre una mayor región sobre el espacio. La pérdida en el espacio libre mide la potencia que pierde la onda radioeléctrica cuando

viaja a través del mismo sin presencia de obstáculos de ningún tipo, sin embargo la mayor parte de la potencia radiada se perderá en el aire.

Multitrayectoria (Multipath).

Este fenómeno se da cuando la señal transmitida se generan ecos a partir de la onda de señal emitida por la antena transmisora, los ecos se dan debido a obstrucciones y rebotes de la señal en objetos que se encuentran en el trayecto hacia la antena receptora llegando a esta por diferentes trayectos y en distintos tiempos o “delay”. En términos generales la señal transmitida se segmenta otras señales que al llegar a la antena receptora producen una alteración de la señal recibida que puede darse un resultado destructivo o constructivo de la onda o señal recibida.

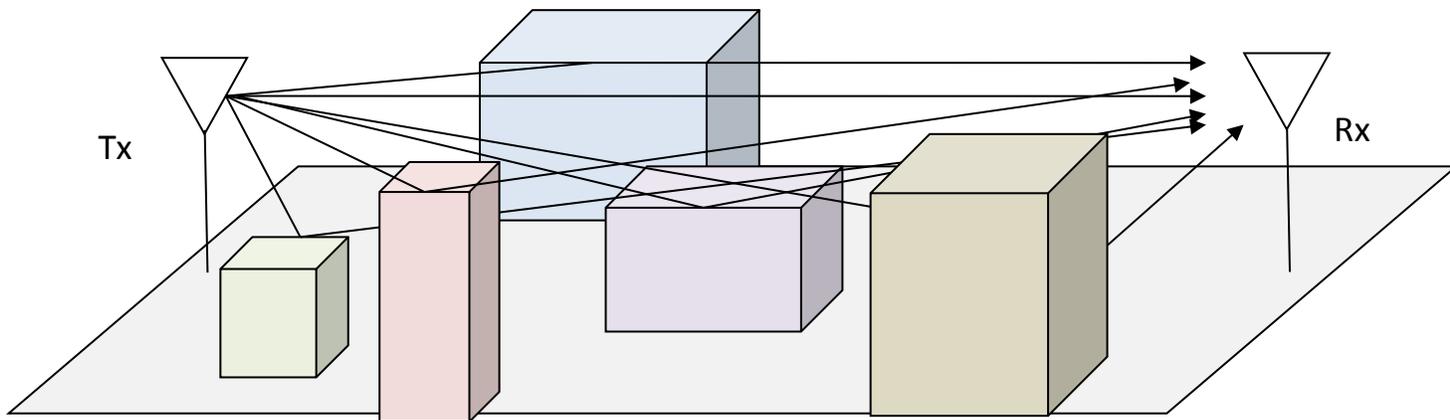


Figura 2.4: Efecto Multitrayectoria

“Fuente de referencia: [4], Propagación en el espacio libre”

Difracción (Shadowing).

El fenómeno conocido como shadowing es generado por variaciones en los niveles de pérdidas debido a la presencia de obstáculos, el constante movimiento del receptor, entre otros, también se basa en el hecho de que las ondas de radio no se propagan en una única dirección y se genera cuando las ondas se encuentran obstáculos y se forman nuevos frentes de ondas. Este fenómeno tiende a afectar directamente la eficacia en la cobertura de la celda y es imposible de evitarlo.

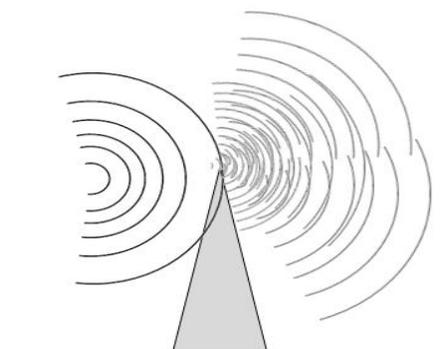


Figura 2.5: Efecto Shadowing

“Fuente de referencia: [4], Propagación en el espacio libre”

Reflexión.

El efecto de la reflexión de las ondas visibles lo encontramos en espejos o superficies de agua. Para el caso de las ondas de radio frecuencia, este efecto ocurre principalmente en el metal, como también en superficies de agua y otros materiales con propiedades similares, este fenómeno invierte la polaridad de la onda incidente, que equivale a que ésta sea desplazada 180 grados, o bien, al cambio de dirección del campo eléctrico del frente de onda. En la actualidad existen sistemas que han desarrollado modelos centrados en este fenómeno.

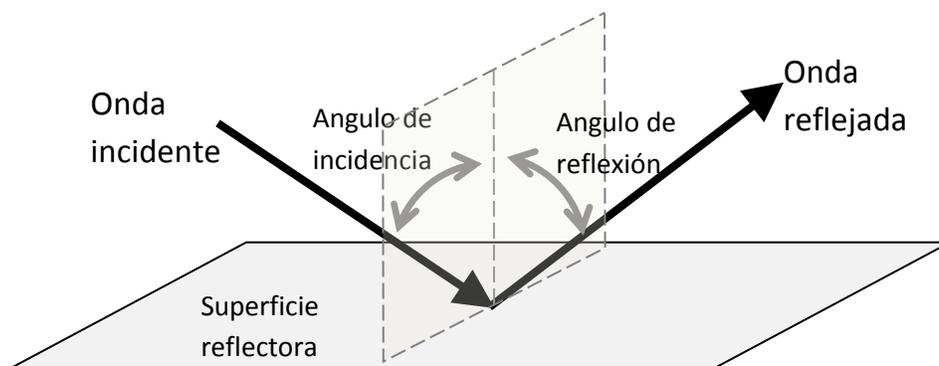


Figura 2.6: Efecto Reflexión

“Fuente de referencia: [4], Propagación en el espacio libre”

Interferencia.

La interferencia por ser un fenómeno principalmente relacionado con la frecuencia debe ser tomada como un factor influyente en el diseño e implementación de una red, principalmente en el diseño GSM ya que la asignación de los canales debe ser conforme al plan de frecuencia implementado en la red. La interferencia puede ser constructiva y destructiva, la interferencia constructiva se presenta cuando dos o más ondas en el receptor que al ser procesadas se tiene como resultado en aumento en amplitud de la onda debido a que las ondas a la entrada del receptor poseen componentes iguales de

frecuencia y fase. La interferencia destructiva se presenta cuando dos ondas en el receptor que al ser procesadas se tiene como resultado una señal degradada o destruida debido a que las ondas en la entrada del receptor poseen componentes distinta de frecuencia o fase.

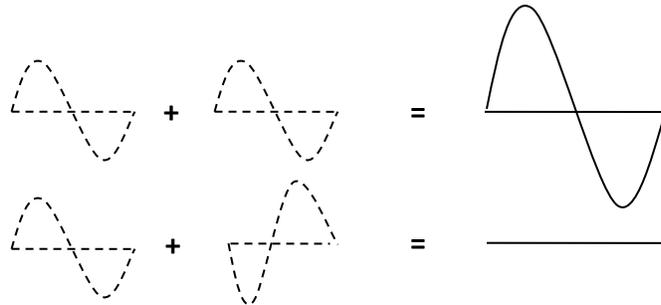


Figura 2.7: Interferencia constructiva e interferencia destructiva

También la interferencia puede ser interna en el sistema como por ejemplo la interferencia entre símbolo y la interferencia entre canales.

2.1.5 Modelos de radio propagación

La estimación de los niveles de señal es necesaria para realizar el diseño de un nuevo sitio, por lo cual en las estimaciones deben incluirse las pérdidas debido a los fenómenos de radio propagación. Durante muchos años se han trabajado en el diseño de modelos de propagación, adecuándolo a distintos entornos, escenarios y niveles de transmisión. [5]

Como ejemplo de esos modelos se encuentran los siguientes:

Okumura-hata

Es un modelo que utiliza las pérdidas de propagación que provee las curvas de medición en áreas urbanas que Okumura graficó, dando a ellas una fórmula matemática que refleja las pérdidas de propagación en base a las consideraciones y ciertos parámetros: Frecuencia portadora, altura de las antenas (transmisora y receptora), factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil y distancia entre transmisor y receptor. Este modelo es válido para frecuencias de portadoras entre 150MHz y 1500MHz. [6]

Cost231 (Cost-Hata)

Este modelo es una extensión del modelo Okumura-Hata el cual amplía el rango de frecuencia para la portadora, hasta 2GHz.

Longley-Rice

Este modelo estima las pérdidas de propagación en base a la forma geométrica del terreno que se encuentra entre el transmisor y el receptor, utiliza varios modelos de pérdidas para su predicción, entre los cuales se encuentran: el modelo de reflexión terrestre de 2 rayos y el modelo Knife Edge (filo de cuchillo).

Walfish y Bertoni:

Este modelo se caracteriza por tomar en consideración los efectos difracción que producen la altura de los techos de edificaciones, por lo que modela la difracción para poder predecir la potencia media de la señal a nivel de pavimento.

La utilización de herramientas computacionales ha venido a mejorar las predicciones de cobertura, teniendo en consideración que se utilizan mapas digitales que ayudan a aproximar a los resultados reales que se obtienen de los sistemas de transmisión.

2.2 Antecedentes de la telefonía móvil

Los sistemas de comunicación analógicos tenían como principales problemas la congestión espectral y falta de capacidad de control de usuarios al brindar el servicio de comunicación mediante transmisores que abarcaran la mayor cobertura de área posible y transmitiendo a altas potencias.

El concepto celular inicia con el sistema de comunicación inalámbrica de primera generación 1G los cuales establecían celdas de gran tamaño para brindar cobertura a la mayor cantidad de usuarios posibles, con la introducción de los sistemas digitales de segunda generación este concepto fue mejorado ya que se disminuyó el área de cobertura en celdas más pequeñas instalando un transmisor de baja potencia en cada una de ellas, con la asignación de la frecuencia en base a la idea de reuso de frecuencia. [7] La **Figura 2.8** ilustra el concepto de cobertura usando un transmisor analógico de radio difusión y el concepto de cobertura por células.

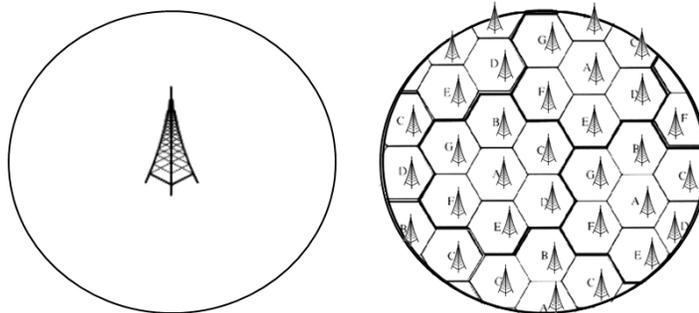


Figura 2.8: Concepto de telefonía móvil mediante celdas

2.3 Tecnología GSM

El Sistema GSM surge de la necesidad de contar con un sistema estándar y que proporciona la capacidad de interconexión entre las diferentes redes de varios países mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital.

La incorporación de las redes 2G (GSM) significó hacer rentable los sistemas de comunicaciones móviles para los operadores, además de utilizar protocolos de codificación más sofisticados e incluir técnicas de autenticación para los mensajes, tanto de señalización como de transmisión de la información de los usuarios, lo cual implica comunicaciones seguras frente a la primera generación de redes móviles (1G).

GSM se diseñó para incluir una amplia variedad de servicios que incluyen transmisiones de voz y servicios de manejo de mensajes entre unidades móviles o cualquier otra unidad portátil, ya que se caracteriza por la transmisión digital de la información por la conmutación de circuitos. [7]

2.3.1 Arquitectura del sistema GSM

La infraestructura básica de una red GSM no difiere mucho de cualquier red celular. Está compuesta de tres etapas principales que son la MS (Mobile Station), el BSS (Base Station Subsystem) y el NSS (Network and Switching Subsystem).

Mobile Station (MS)

Es el equipo utilizado por el usuario para poder acceder a los servicios proporcionados por la red GSM a través de la interfaz Um. El MS entra en comunicación con la red mediante una plataforma física y personalizada mediante la SIM (Subscriber Identity Module).

- **Subscriber Identity Module (SIM)**

La tarjeta SIM es utilizada como registro de cada uno de los clientes ya que está relacionada directamente con ellos mediante la asignación de un número único de identificación.

Base Station Subsystem (BSS)

La función principal del BSS se puede resumir en que interconecta al usuario del móvil con los demás usuarios, y para lograrlo hace uso de componentes como la BTS (Base Transceiver Station) para entrar en contacto con los terminales móviles a través de la interfaz de radio y la BSC (Base Station Controller) para entrar en comunicación con los conmutadores del NSS, como se muestra en la **Figura 2.9**

- **BTS**

La BTS está compuesta por equipos de transceptores de radio. Las BTS son utilizadas para formar celdas y por lo general son ubicadas en el centro y definen el tamaño de la misma mediante la potencia de transmisión para lograr la cobertura deseada. La BTS también es la encargada de ejercer tareas como medida de la intensidad de campo y calidad de servicio, encriptación y por supuesto detectar el acceso de los MS.

- **BSC**

La BSC es la encargada de manejar los canales para los distintos móviles, determinar cuando el handover es necesario e identificar una BTS para el móvil. Otra de las funciones importantes de la BSC es el control de potencia de transmisión del móvil para que este pueda lograr comunicación con la BTS tratando que esta potencia sea mínima.

Network Switching Subsystem (NSS)

Este sistema es el encargado de tramitar las comunicaciones y conectar la terminal móvil utilizada por el usuario con las demás terminales móviles existentes en la red y también se encarga de la conexión con otras redes como la PSTN (Public Switching Telecommunications Network). En esta etapa de la red se encarga de gestionar la movilidad, almacena información de los suscriptores y realiza actividades de tarificación, esto se logra mediante los elementos que componen el subsistema como por ejemplo los MSCs, VLRs, HLRs y GMSCs.

- **Mobile Switching Center (MSC)**

La MSC es la encargada de realizar todas las funciones de conmutación desde y para todos los MS dentro de la zona de su dominio. La MSC también se encarga de controlar varias BSCs, lo que significa un gran número de usuarios.

- **Gateway MSC (GMSC)**

Los GMSCs son los encargados de ubicar la posición de los MS y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario está conectado. También es la encargada de enrutar todas las llamadas, ya sea de móvil a móvil o de PSTN a móvil.

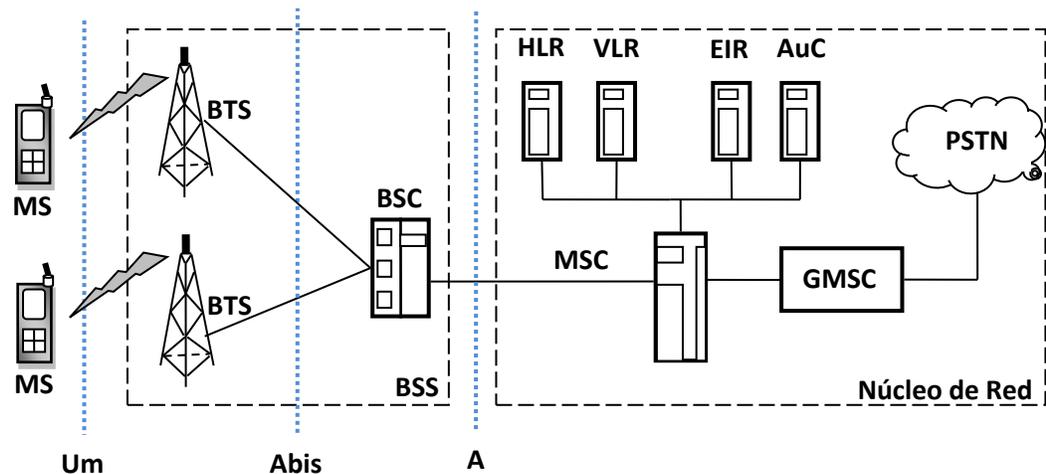


Figura 2.9: Estructura básica de red GSM

“Fuente de referencia: [8]”

2.3.2 Frecuencia de operación para GSM.

El sistema GSM fue estandarizado para operar en los rangos de frecuencia que fueron clasificados según la región, por ejemplo el GSM 900 y el DCS 1800 adoptados en Europa y el PCS 1900 en los Estados Unidos.

En Nicaragua el ente regulador asignó a la telefonía celular las bandas de frecuencia que van desde 824 - 894 MHz y de 1850-1990 MHz, correspondientes a las bandas 850 y 1900 respectivamente. En modo de operación Frequency Division Duplex (FDD) se asignó la operación sobre los segmentos de bandas 824.04-848.97MHz y 869.04-893.97MHz (enlace de subida y bajada respectivamente) 1850-1910 y 1930-1990 (enlace de subida y bajada respectivamente) y se asignaron las bandas de frecuencia que van desde 1910-1930 MHz para el modo de operación Time Division Duplex (TDD). [9]

En cuanto a la distribución del espectro, las bandas de GSM son divididas en canales RF que consisten en dos bandas de frecuencia (Transmisión y Recepción) con un ancho de banda de 25MHz cada una.

Cada canal es una portadora de 200Khz sobre el cual transmiten 8 usuarios debido a que cada portadora es dividida en 8 ranuras de tiempo (Time slot), estos 8 time slot conforman una trama en TDMA que tiene una duración de 4.616 mS, correspondiéndole a cada time slot un segmento de tiempo que dura 0.577mS. [8]

2.3.3 Técnicas de acceso.

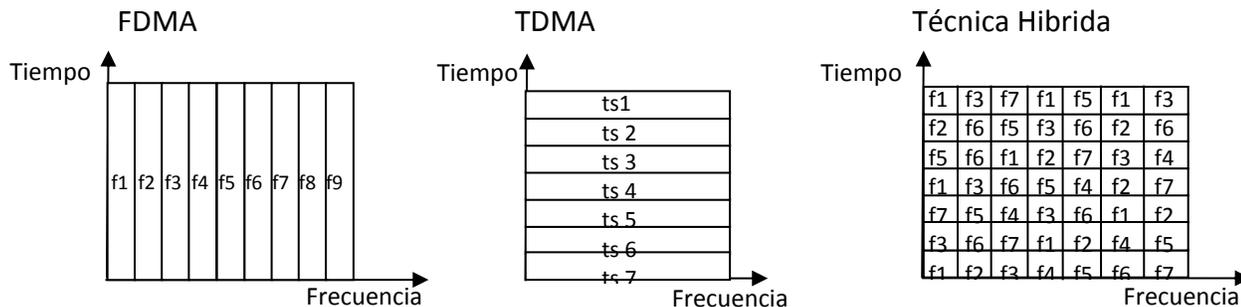


Figura 2.10: Técnicas de Acceso

FDMA

Frequency Division Multiple Access, o acceso múltiple por división de frecuencia, tiene como característica la división del espectro en diferentes anchos de banda con canales que transmiten simultáneamente pero a diferentes frecuencias como se muestra en la **Figura 2.10**.

TDMA

Time Division Multiple Access, o acceso múltiple por división de tiempo, funciona de forma similar a FDMA con la diferencia que en vez de dividir el espectro en diferentes bandas de frecuencia asigna diferentes instantes de tiempo, de forma que los usuarios transmiten a la misma frecuencia pero en instantes de tiempos diferentes. Ver **Figura 2.10**.

Técnica Híbrida (FDMA/TDMA)

La principal característica de GSM es que utiliza una técnica de acceso híbrida entre FDMA y TDMA, como se observa en la **Figura 2.10**, en la que hace uso de ambas características de las anteriores técnicas tomando las ventajas que ellas tienen.

2.3.4 Reúso de frecuencia en GSM (Plan de frecuencia)

En GSM el reúso de frecuencia es necesario por ser el espectro limitado, el factor de reúso de frecuencia está dado por la **Ec.3.4**. [5]

$$\text{Frequency reuse factor} = \frac{1}{N}, \text{ donde } N = \text{Cluster Size} = i^2 + ij + j^2, i \geq j \quad (\text{Ec.3.4})$$

Como se observa en la **Figura 2.11**, cada célula con el mismo número tiene un mismo conjunto de frecuencias asignado, por esta razón el número de frecuencias disponibles es 7 y el factor de reuso de frecuencias 1/7. Esto indica que cada *cluster* estará compuesto por 7 células que tendrán asignado una frecuencia BCCH correspondiente a los canales disponibles.

El reuso de frecuencia en GSM obliga al operador de la red a realizar plan de frecuencia. En dependencia del factor de reuso que se establezca se tendrá que realizar dicho plan de frecuencia delimitando también el número de canales para control y tráfico, los cuales estarán separados entre sí 200Khz.

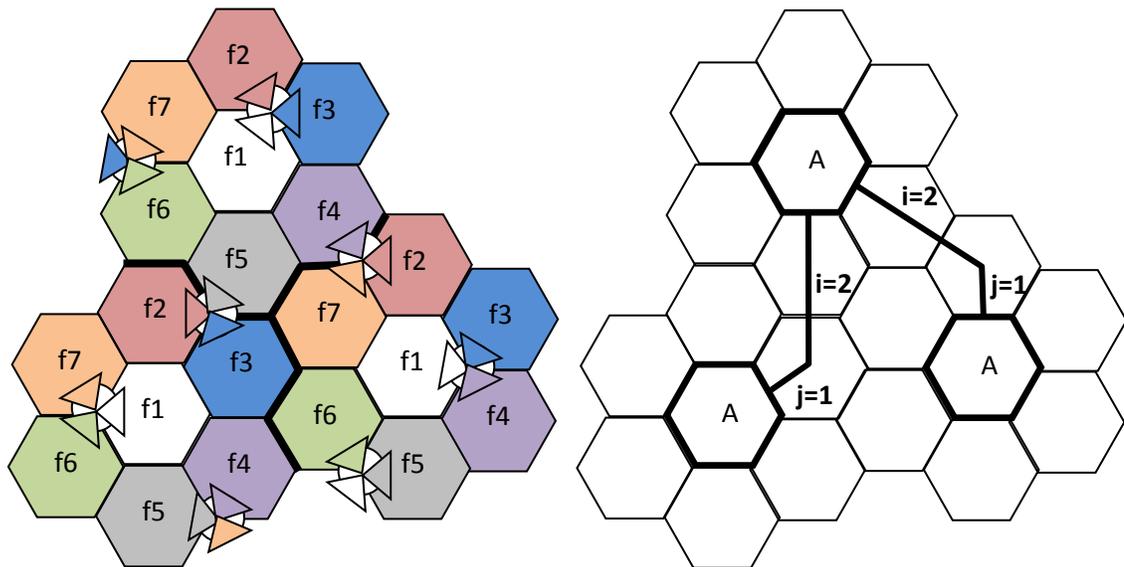


Figura 2.11: Reuso de Frecuencia en GSM

2.3.5 Canales GSM

Como se mencionó anteriormente GSM utiliza una combinación de dos técnicas de acceso como lo son TDMA y FDMA. La función principal de FDMA es la división del ancho de banda de 25 MHz en 124 portadoras espaciadas a 200 KHz, para el caso de GSM-850 y en el caso GSM-1900 el ancho de banda es de 75 MHz y este se divide en 374 portadoras espaciadas 200 KHz. La técnica de TDMA divide cada frecuencia portadora en 8 intervalos de tiempo lo que permite que cada frecuencia portadora sea compartida por 8 usuarios. Una trama en GSM está constituida por 8 ranuras de tiempo con un tiempo de 4.615 mS ya que cada una de estas ranuras tiene una duración de 577mS. [8]

La tecnología GSM utiliza variedades de canales, los cuales son los encargados de acarrear la información a través del espacio libre y generalmente estos son divididos en canales físicos y canales lógicos. Los canales físicos representan al medio por donde se transmite la información y

los canales lógicos representan la información transportada a través de los canales físicos. La **Figura 2.12** muestra la estructura de una trama TDMA.

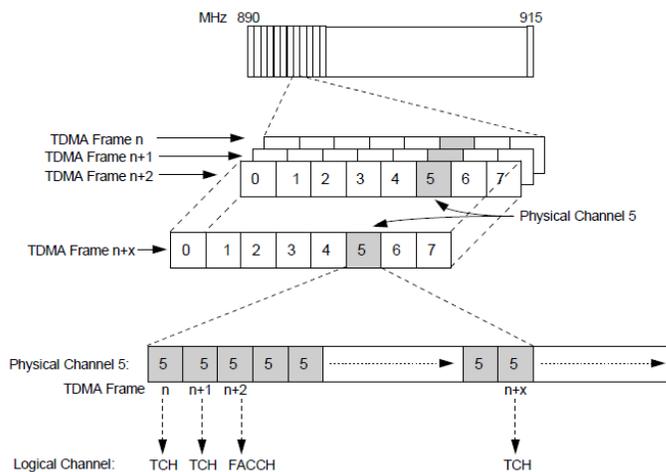


Figura 2.12: Canales físicos y lógicos en TDMA

Canales físicos:

Estos canales son utilizados para transmitir distintos mensajes con diferente información como por ejemplo tráfico de voz, datos y señalización para diferentes procedimientos y servicios suplementarios.

En GSM a cada ranura que conforma una trama se le conoce como canal físico, es decir cada ranura de tiempo (time slot), representa un canal físico, lo que indica que en cada frecuencia portadora de GSM hay 8 canales físicos que a su vez conforman una trama TDMA.

Canales lógicos:

Estos canales están determinados por la información (voz o datos codificados digitalmente) que se transporta en los canales físicos, la organización de los canales lógicos depende la aplicación y de la dirección de la información ya sea en la dirección de enlace ascendente o descendente o bien en ambos sentidos. Los canales lógicos están clasificados en canales de tráfico y canales de control.

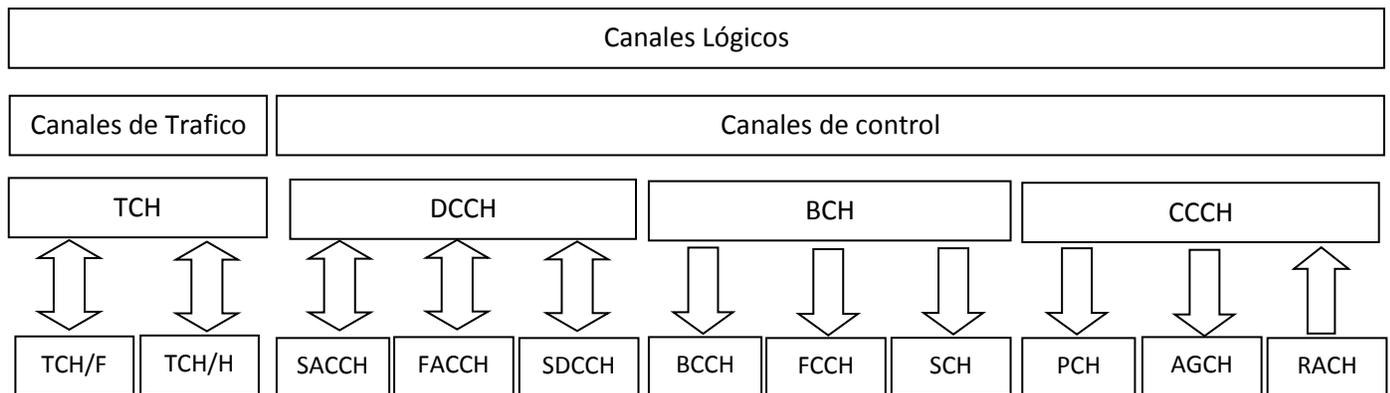


Figura 2.13: Clasificación de los canales de lógicos

“Fuente de referencia: [10]”

- **Canales de tráfico**

La tecnología GSM utiliza canales de tráfico TCH (Channel Traffic), para transmitir datos del usuario (tráfico de voz comúnmente).

Los canales de tráfico se clasifican según su velocidad de transmisión de datos.

- **Full Rate TCH (TCH/F):** Se dedica 1 ranura de cada trama proporcionando una velocidad de datos de 28.8kbps.
- **Half Rate TCH (TCH/H):** Se dedica 1 ranura por cada 2 tramas proporcionando una velocidad de datos de 14.4kbps.

- **Canales de control:**

Los canales de control CCH (Channel Control) transportan comandos de control y señalización entre el MS y la BTS, ya sea para control de acceso al medio, asignación de canales de tráfico o la gestión de movilidad.

Estos canales se clasifican en tres categorías: Broadcast Control Channel (BCCH), Common Control Channel (CCCH) y Dedicated Control Channel (DCCH), los cuales también están divididos en subcanales.

- **Broadcast Channels (BCH)**

Broadcast Control Channel (BCCH)

Frequency correction Channel (FCCH)

Synchronization Channel (SCH)

- **Common Control Channel (CCCH)**

Paging channel (PCH)

Access grant channel (AGCH)

Random access channel (RACH)

- **Dedicated control channels (DCCH) (Uplink and downlink)**
 - Slow Associated Controls Channel (SACCH)*
 - Fast Associated control Channel (FACCH)*
 - Standalone Dedicated Controls Channel (SDCCH)*

2.4 Estándar UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)

En Dic. 1998 surge la necesidad establecer una organización que sea capaz de organizar y coordinar la generación de modelos entre las diferentes organizaciones de estandarización como (ETSI, ARIB, CWTS, T1, TTA, TTC), de esta idea surge 3GPP (3rd Generation Partnership Project) para cumplir esta misión, estableciendo las especificaciones del estándar UMTS cuya concepción viene condicionada por los requisitos de los servicios que ofrecerá la tercera generación de redes móviles 3G.

La idea de la implementación del estándar de tercera generación como UMTS es para garantizar estándares que permitan una comunicación móvil global como: la compatibilidad con la mayoría de estándares de segunda generación, altas tasas de transmisión para comunicación móvil, implementación de aplicaciones multimedia entre otros aspectos. [7]. Para el estándar UMTS que es parte de los sistemas de 3ra generación (IMT-2000) se ha desarrollado las interfaces aire W-CDMA, TD-SCDMA y TD-CDMA que son técnicas de acceso que son utilizado para establecer comunicación entre el usuario y la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

2.4.1 Arquitectura del estándar UMTS

Las tres etapas que estructuran la red UMTS son UE (Equipo de usuario), la red de acceso a radio o UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y la red troncal de conmutación o CN (Core Network) enlazados cada uno de ellos con su respectiva interfaz de conexión a como se observa en la **Figura 2.14**. [11]

User Equipment (UE)

El equipo de usuario es el dispositivo que hace posible la comunicación constante entre el nodo B y el usuario siempre y cuando haya cobertura conservando siempre el esquema de utilización de la tarjeta SIM. Estos equipos están diseñados para funcionar tanto en redes UMTS como GSM.

UTRAN

La Red de acceso a radio está compuesta por varios elementos entre los cuales están RNC (Radio Network Controller) y el nodo B y juntos conforman lo que se llama RNS (Radio Network Subsystem). Ver **Figura 2.14**. Esta etapa de la red es la encargada de establecer conexión con las estaciones móviles y el resto de la red. El sistema de la UTRAN de UMTS es muy similar al sistema de la BSS de la GSM.

- **Nodo B:**

La función principal del nodo B es proporcionar cobertura a una celda en específico en el momento que el usuario lo desee.

- **Radio Network Controller (RNC):**

El RNC se encarga de asignar frecuencias, gestionar códigos y controlar niveles de potencia de radiofrecuencia.

Core Network

El núcleo de red es el encargado incorporar las funciones de conmutación y transmisión necesaria para poder establecer comunicación con el abonado deseado el cual puede o no pertenecer a la red UMTS.

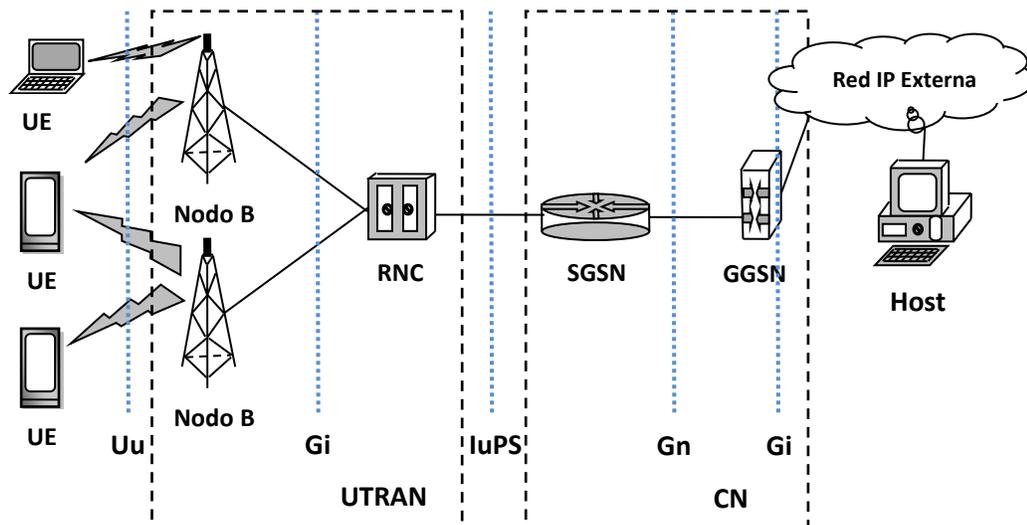


Figura 2.14: Estructura general de red UMTS

“Fuente de referencia: [12]”

2.4.2 Frecuencia de operación y utilización del espectro.

UMTS ha sido creado como un sistema global capaz de funcionar tanto con sistema terrestres como satelitales. La tecnología utilizada por UMTS debe ser capaz de funcionar no solo con la tecnología de tercera generación sino que también con los sistemas de Segunda Generación (2G), tales como las bandas de frecuencia de GSM.

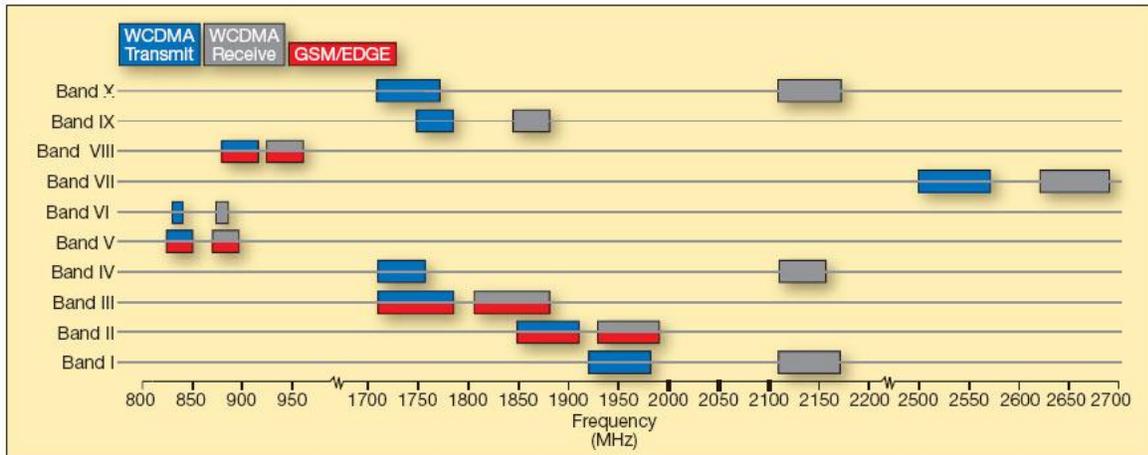


Figura 2.15: 3GPP, Bandas de frecuencias WCDMA y GSM/EDGE.

“Fuente de referencia: [13]”

2.4.3 Técnicas de acceso.

La tecnología utilizada por el estándar UMTS tiene dos modos de operación para optimizar el uso de espectro:

- TDD (Time Division Duplex)

En el modo de operación TDD la frecuencia para la transmisión ascendente y descendente es la misma pero en intervalos de tiempo diferentes, Ver **Figura 2.16**. Estos intervalos de tiempo pueden combinarse para ser utilizados tanto en enlaces ascendentes como descendentes según la necesidad.

- FDD (Frequency Division Duplex)

Este modo de operación utiliza dos bandas de frecuencia de 190 MHz, una para el enlace de ascendente (UpLink) y otra para el enlace descendente (DownLink), **Figura 2.16**. Cada portadora tiene un ancho de banda de 5 MHz las cuales son moduladas a través de QPSK.

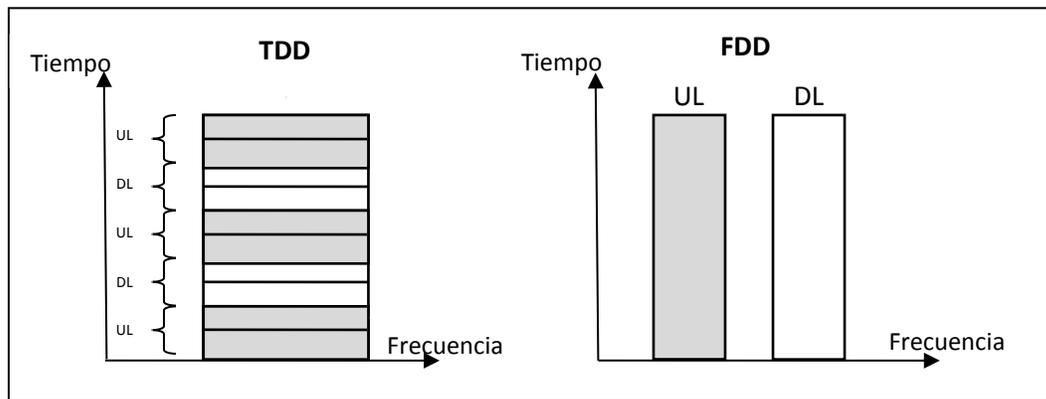


Figura 2.16: Técnicas de Acceso

2.4.4 Tecnología de acceso utilizada por el estándar UMTS.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) es una tecnología de acceso utilizada por el estándar UMTS para establecer comunicación entre el usuario y la red de acceso UTRAN, la cual se deriva de la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access) tradicional utilizado en las redes de segunda generación IS-95. La principal diferencia entre estas dos tecnologías es que WCDMA utiliza señalización y canal de control diferente. WCDMA consiste en un código ensanchado en frecuencia lo que permite obtener un mayor ancho de banda (5MHz), logrando mayor capacidad para transmitir datos que alcanzan velocidades de hasta 2Mbps. [11].

Esta tecnología emplea una técnica de ensanchamiento, es decir, la señal de datos es ensanchada para que ocupe todo el ancho de banda asignado para la transmisión. Este ensanchamiento se realiza con un código de ensanchamiento específico para cada usuario, con el cual se establece la diferencia entre cada usuario conectado a la red. Ver **Figura 2.17**.

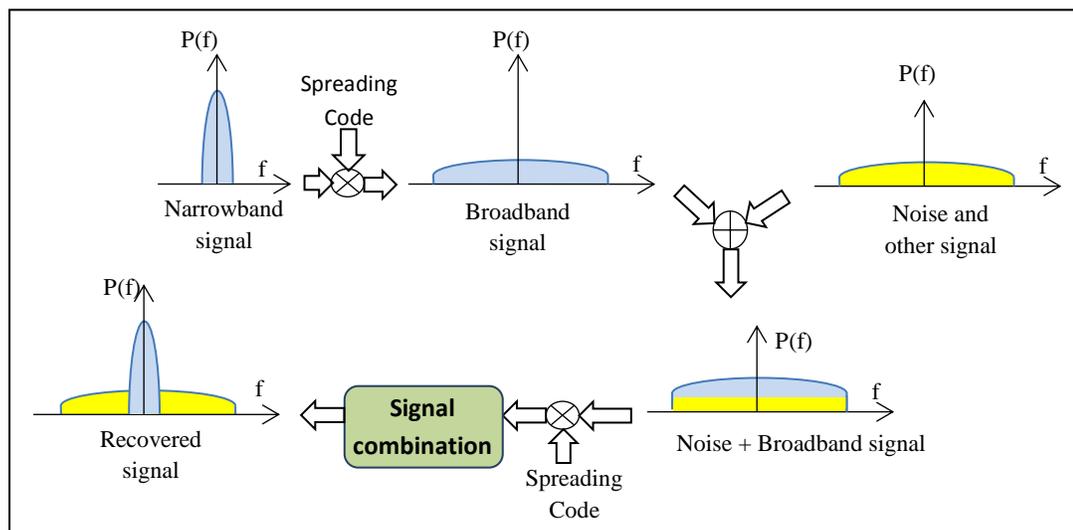


Figura 2.17: Proceso de Spreading o ensanchamiento de la señal al ser transmitida

“Fuente de referencia: [14], WCDMA Spreading”

Asignación de códigos aleatorios (Scrambling Code)

Los códigos utilizados para la separación de información entre transmisores son conocidos como Pseudo Noise o Scrambling Code los cuales proporcionan identidad única entre la interfaz UE y el nodo B. En la **Figura 2.18** se puede observar como operarían los SC para brindar la identidad única entre la interface UE y nodo b.

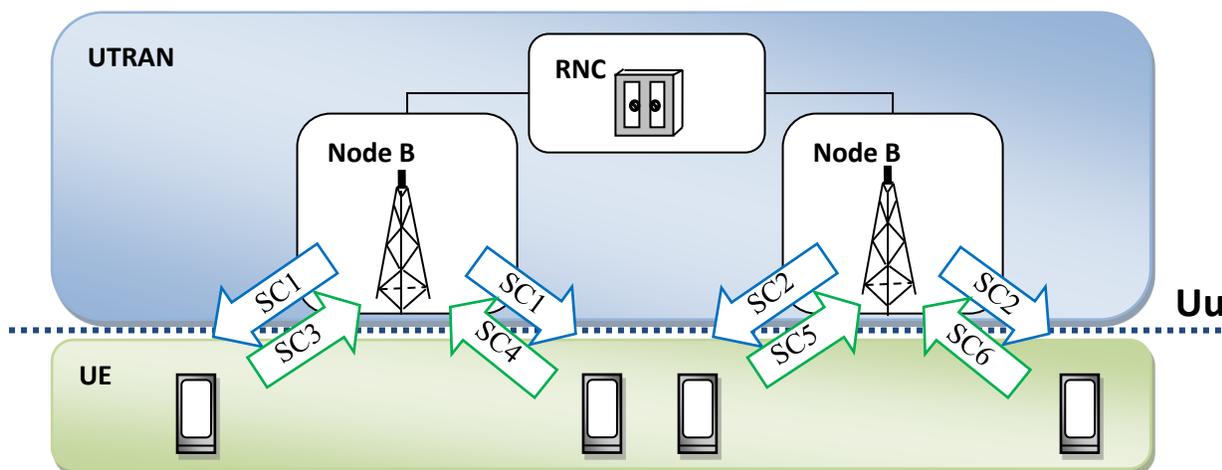


Figura 2.18: Scrambling Code

“Fuente de referencia: [15]”

Estos códigos son contruidos de tal forma que la correlación entre ellos mismos genere un alto valor de auto correlación independientemente del desplazamiento de fase entre los dos, lo que es llamado como “buena auto-correlación”, sin embargo cuando se correlaciona con un código diferente y el resultado de correlación es bajo pero no cero, esto genera una de las principales fuentes de interferencia en WCDMA y es conocido como " Good Cross-Correlation", por lo que es necesario proporcionar una buena separación entre los códigos de varios transmisores. [15]

Cada estación base es distinguida a las demás por medio de un Scrambling Code, sin embargo si el número de estaciones base supera el número de Scrambling Code permitidos en la red que son 512, es necesario la reutilización de códigos y por ende la planeación para que no exista confusión entre Scrambling Code y genere interferencia.

Canales WCDMA

La tecnología conocida como WCDMA es la encargada de interconectar el nodo B con el UE de la red móvil UMTS, esta comunicación se logra a través de varios canales físicos que son los encargados de gestionar el ancho de banda que es asignado a cada usuario que pertenece a la red, cada canal se divide en tramas de 10 ms y cada una de ellas tiene 15 intervalos de tiempo cada 666 μ s de longitud. [7].

El enlace descendente (Down-Link) se refiere a un enlace de radio para la transmisión de señales desde el nodo B a un UE, el cual está dividido en ranuras de tiempo y dentro de esos campos se trasmite mensajes de control o datos del usuario, mientras que el enlace ascendente (Up-Link) se refiere a un enlace de radio para la transmisión de señales desde un UE al nodo B y es utilizado para que el canal dual de modulación permita enviar los datos de usuario y mensajes de control simultáneamente.

Los canales de WCDMA están clasificados en tres categorías: Canales físicos, canales de transporte y canales lógicos, ver **Figura 2.19**. Los canales lógicos describen el tipo de datos que se transfiere, y los de transporte definen como se transmiten los canales lógicos y los canales físicos representan todo el medio por el que se transmite la información, por tanto dentro de ellos se encuentran los canales de transporte al igual que los canales lógicos. Dentro de la red UMTS los canales físicos son controlados por el nodo B y los canales lógicos y de transporte son administrados por el RNC. [11]

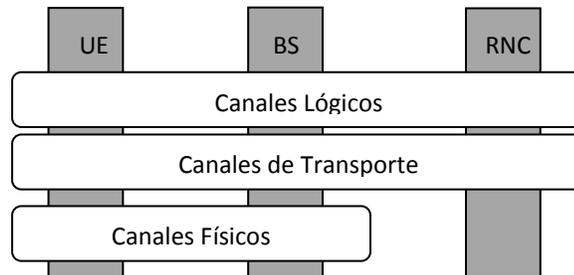


Figura 2.19: Tipos de canales en UTRAN

- **Canales lógicos**

Un canal lógico es un portador de radio y es exclusivo para realizar el proceso de comunicación específica. Los canales lógicos son clasificados en distintos tipos, los cuales se definen de acuerdo con el tipo de información transferida en la interfaz de radio. Los canales lógicos de UMTS se clasifican en dos tipos: canales de tráfico y canales de control.

- **Canales de control:**

Broadcast Control Channel (BCCH)
Dedicated Control Channel (DCCH)
Common Control Channel (CCCH)
Paging Control Channel (PCCH)

- **Canales de tráfico:**

Dedicated Traffic Channel (DTCH)
Common Traffic Channel (CTCH)

- **Canales de Transporte**

Este tipo de canal es utilizado para definir el formato del envío de la información enviada a los UE. Este canal es clasificado en dos tipos: Common (común) y Dedicated (dedicado).

- **Common**

Random Access Channel (RACH)
Common Packet Channel (CPCH)
Forward Access Channel (FACH)
Downlink Shared Channel (DSCH)
Uplink Shared Channel (USCH)
Broadcast Channel (BCH)
Paging Channel (PCH)

- **Dedicated**

Dedicated Channel (DCH)
Fast Uplink Signalling Channel (FAUSCH)

- Canales físicos

Lo canales físicos son manejados dentro de la capa física del sistema WCDMA, en la parte de datos de los canales físicos se mapean los canales de transporte. En general los canales físicos contienen parte de datos y parte de señal física.

- Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH)**
- Secondary Common Control Physical Channel (SCCPCH)**
- Physical Random Access Channel (PRACH)**
- Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)**
- Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)**
- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)**
- Physical Common Packet Channel (PCPCH)**
- Synchronisation Channel (SCH)**
- Common Pilot Channel (CPICH)**
- Acquisition Indicator Channel (AICH)**
- Paging Indication Channel (PICH)**
- CPCH Status Indication Channel (CSICH)**
- Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel (CD/CA-ICH)**

La siguiente Figura muestra la estructura de los canales en WCDMA.

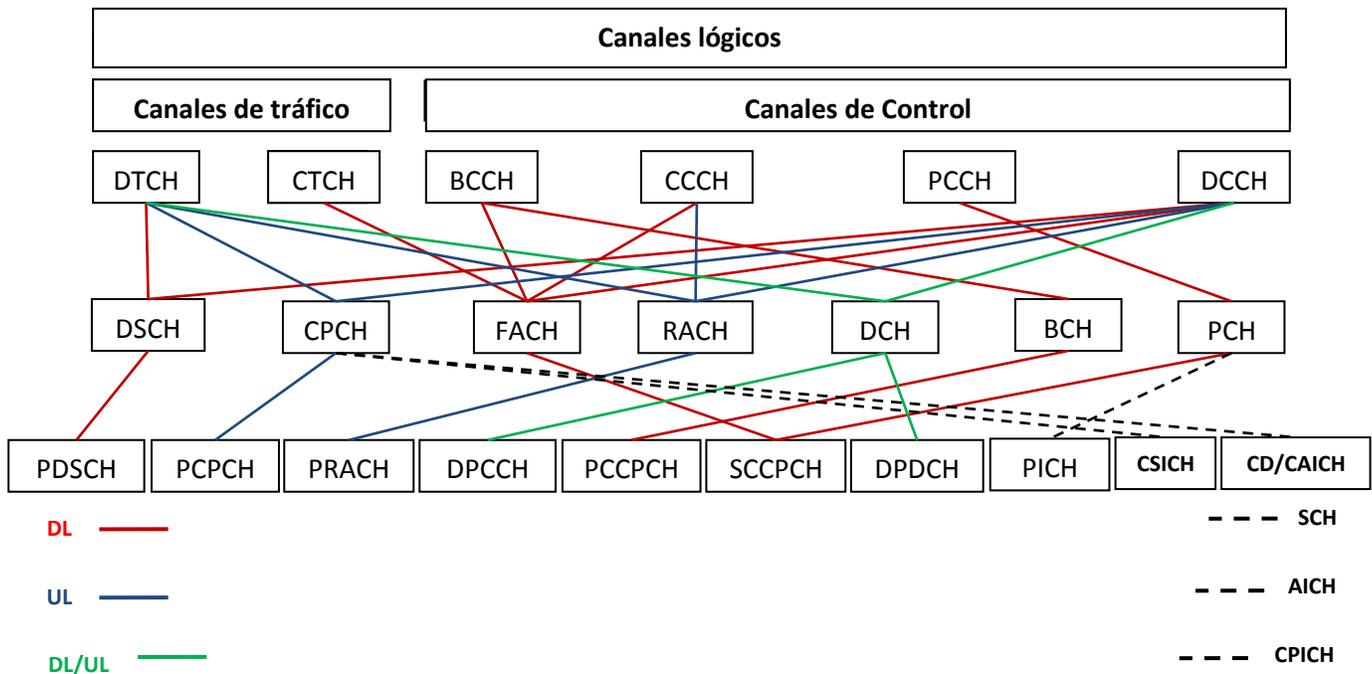


Figura 2.20: Mapeo de canales UMTS

“Fuente de referencia: [14], UTRA Channels”

2.5 Interoperabilidad entre tecnologías GSM y UMTS.

El despliegue de las redes de telefonía celular de tercera generación hace referencia a una combinación entre tecnologías que permitan la integración de varias redes simultáneamente como las redes fijas y móviles, así como la coexistencia de los sistemas de tercera generación con los sistemas de comunicación móvil de segunda generación GSM. En la **Figura 2.21** se muestra la estructura de los sistemas de segunda generación GSM en convergencia con los sistemas de tercera generación WCDMA.

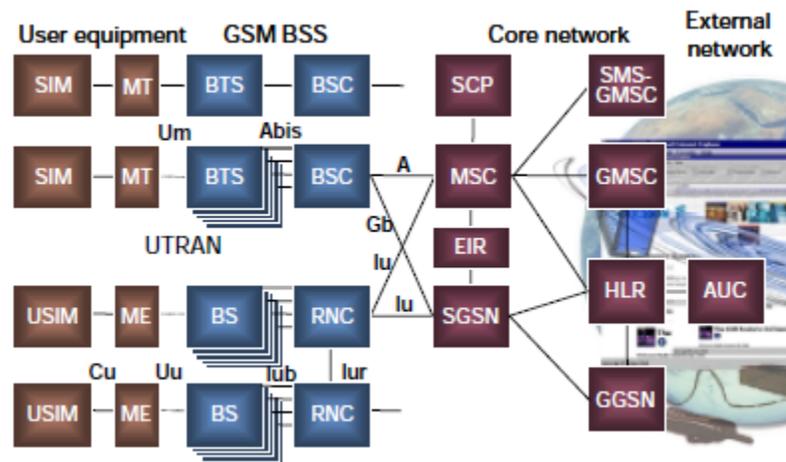


Figura 2.21: Interoperabilidad entre tecnologías GSM/WCDMA

“Fuente de referencia: [15]”

2.5.1 Descarga de llamadas WCDMA hacia GSM (Directed Retry)

Debido a la coexistencia entre tecnologías es posible realizar el traspaso de tráfico en exceso de una celda WCDMA hacia una celda GSM. Esto es necesario cuando una celda WCDMA llega al límite de usuarios conectados permitidos y esta empezará a rechazar más conexiones las cuales mediante el “Directed Retry” pueden ser dirigidas hacia celdas GSM ejerciendo de esta forma el proceso de traspaso de llamadas entre tecnologías debido a la definición de vecinas Inter-RAT. (Este concepto es más detallado en la sección de planificación de vecinas del capítulo 3).

2.5.2 Descarga de llamadas GSM hacia WCDMA (UMFI)

La definición de ciertos parámetros de la red basada en tecnología GSM al igual que la red basada en WCDMA, permite descargar tráfico de una celda GSM hacia una celda WCDMA cuando ésta ha alcanzado su límite de conexiones permitidas o bien el usuario está entrando a una zona cubierta por una red WCDMA o bien saliendo de una zona que solo permite accesos a los servicios GSM por lo que se debe realizar el traspaso de llamadas entre tecnologías mediante la definición de vecinas Inter-RAT. (Este concepto es más detallado en la sección de planificación de vecinas del capítulo 3).

3 Metodología de diseño para estaciones bases/nodo b

En este capítulo se abordan requerimientos técnicos de los operadores en el proceso de diseño de nuevas estaciones base. Se inicia con el estudio de planificación celular necesaria para el diseño de una nueva estación base dependiendo de la tecnología utilizada en donde se consideraran los siguientes aspectos:

Cobertura y Calidad de Servicio, donde se describen los principales parámetros de medición de calidad de señal y principales factores que afectan dicha calidad en dependencia de la tecnología y zona objetivo de cobertura.

Asignación y Utilización del espectro, en la que se revisa el espectro asignado y el manejo de este para cada tecnología.

Planificación de Capacidad y Tráfico, donde se expresa la capacidad de manejo de tráfico de una estación base de telefonía móvil dependiendo de la tecnología aplicada.

Planeación de relaciones de vecinas, en la que se abarcan los factores que hace posible una de las principales características de la telefonía celular como lo es la movilidad.

También se describe en detalle los principales puntos del proceso metodológico empleado en el diseño de las estaciones base/nodo b.

3.1 Introducción a la planificación de red de radio (*Radio Network Planning*)

El diseño de nuevas estaciones base se centra en la planificación de red de radio, que consiste en realizar el diseño de sitios considerando que los resultados al operar el sitio diseñado sean para mejora de indicadores de la red. La planificación de red de radio es entonces fundamental y el diseño de una red tiene como objetivos los puntos de cobertura, capacidad y calidad. [11]

- Cobertura: Lograr la suficiente cobertura en la zona objetivo de cobertura de tal manera que los niveles de señal que reciben los usuarios en la zona objetivo de cobertura le brinde el acceso a los servicios que brinda la red.
- Capacidad: Brindar a los usuarios capacidad de tráfico con la mínima probabilidad bloqueo y caídas de llamada (dropped calls).
- Calidad: Garantizar alta calidad de servicio de voz y el bajo nivel de error de transmisión para servicios de datos a los suscriptores de la red.

Acorde a los objetivos anteriores, el diseño de nuevos sitios debe garantizar que la cobertura brinde calidad de servicio, mejor desempeño de operación y reducción de tasa de caídas de llamadas (dropped call rate) en base a los indicadores que los operadores establecen. Degradados indicadores de accesibilidad, retenibilidad o bien el aumento de capacidad de tráfico en cierta área pueden ser motivos de diseño de nuevos sitios.

En los sistemas de telefonía móvil inalámbrica de tercera generación se continúa bajo el concepto de cobertura mediante células.

Pero el cubrir zonas mediante células implica en el caso de 2G realizar plan de frecuencia por lo que el buen desempeño de una red 2G se centra en parte en su plan de frecuencia.

3.2 Proceso durante el diseño de estaciones bases/nodo b, la integración física y operacional.

La **Figura 3.1** muestra el proceso metodológico que se realiza durante el diseño y puesta en operación de una nueva estación base. Se pueden observar 5 puntos 3 secciones durante este proceso, dichas secciones son:

1. Selección de la zona objetivo para el diseño.
2. Site survey
3. Planificación y minimización de impacto ambiental
4. Diseño RF
5. Instalación de equipos
6. Initial tuning

De los cuales los puntos del 1 al 4 conforman al proceso de diseño en sí, el punto 5 (Instalación de equipos) y punto 6 (Initial tuning) son procesos posteriores al diseño. Debido a que el

presente trabajo de monográfico se centra en el diseño, se profundizarán en los puntos del 1 al 4 que corresponden al diseño en sí de las estaciones base/nodo b.



Figura 3.1: Proceso de diseño de estaciones bases

3.2.1 Zona objetivo para el diseño de estación base.

A medida que se incrementa la densidad poblacional también crece la demanda de más y mejores servicios por parte de los usuarios a las operadoras. Por esta razón es que se ven obligadas a instalar nuevas estaciones bases en todo el territorio ya sea por una nueva área de cobertura o por mantener los niveles de calidad de servicio en una zona que ha crecido poblacionalmente demandando mayor tráfico y por lo tanto mayor capacidad.

Cobertura

La instalación de una estación base por cobertura es debido al despliegue de poblaciones a una zona antes no habitada las cuales se convierten en usuarios potenciales demandando servicios de telefonía móvil, por esta razón las operadoras constantemente se ven obligadas a la instalación de nuevas estaciones bases para expansión de la red y generalmente sucede en escenarios rurales, sin embargo en escenarios urbanos con estructuras altamente desarrolladas el área de cobertura de una celda se ve limitada debido a los fenómenos que generan los obstáculos presentes en el entorno por lo tanto también es importante considerar la instalación de nuevos sitios por cobertura en entornos urbanos.

Capacidad

En este tipo de escenario las operadoras de telefonía móvil se ven obligadas a la instalación de un nuevo sitio cuando la capacidad de algunas celdas en una zona en específico exceden la carga de usuarios para los cuales están diseñadas, afectando de esta forma el desempeño de la red el cual se puede observar estadísticamente.

El término de capacidad está directamente relacionado con las configuraciones físicas y lógicas de la estación base. Sin embargo en entornos densamente poblados es muy común la instalación de un nuevo sitio o de una segunda portadora (otra señal de diferente frecuencia operando dentro de la misma celda). [16]

3.2.2 Ubicación para el diseño de estación base (site survey).

Un trabajo necesario para el diseño de nuevas estaciones base es la elección de las coordenadas donde se ubicarán la estación base, para ello se requiere de la evaluación de varios puntos candidatos que previamente deben ser inspeccionados para que cumpla con las condiciones requeridas para la estación base, los cuales se deberán evaluar para elegir el más conveniente en términos de cobertura y calidad de radio enlace (estación base – estación móvil).

Datos Demográficos

Los datos demográficos son de mucha utilidad para el diseño de una nueva estación base ya que nos permiten obtener una estimación de la densidad y distribución del tráfico que cursará por dicha BTS.

Datos Topográficos

Los datos topográficos nos proporcionan información sobre las principales características de la zona. La principal fuente de recopilación de datos es el estudio de los mapas, los cuales incluyen información relevante como importantes ciudades y las principales vías de acceso, accidentes geográficos, etc. Otra fuente de información importante es el conocimiento local de la zona objetivo, como estructura de la ciudad y hábitos de la población.

Criterios a nivel de RF y Hardware para la instalación del nuevo sitio.

Espacio necesario para la instalación de equipos para estación base y estructura.

Es necesario que el lugar donde se instalará el emplazamiento requiera del espacio suficiente para la construcción de caseta para los equipos, en caso de disponer de un reducido espacio es necesario utilizar equipos que pueden instalarse a la intemperie. Los espacios deben garantizar que se pueda instalar estructura de torres o mástiles y soporte para la colocación de las antenas.

Medio de enlace de transmisión entre el sitio y la red existente.

Los tipos de enlaces comunes entre el sitio y la red se puede realizar mediante: Medio físico o cableado (fibra óptica), radio enlace microondas y radio enlace VSAT. La fibra óptica es utilizada donde se dispone de la existencia de red vía fibra óptica en la zona en que se instalará el sitio, comúnmente en zonas urbanas. En caso de no contarse con acceso mediante fibra óptica se realiza mediante radioenlace microondas, para ello se debe garantizar línea de vista entre el sitio nuevo con otro existente en la red. El caso de la utilización de VSAT es cuando el punto donde se realizará instalación de nueva estación base no cuenta con la facilidad de enlazar la estación base con la red a través de los 2

medios mencionados anteriormente. VSAT tiene un alto costo para su implementación por lo que se deja como último recurso.

Minimización de los fenómenos de radio propagación que afecten la cobertura.

La ubicación del punto donde se instalará el emplazamiento debe tener la menor obstrucción posible entre el haz principal y la zona objetivo de cobertura a razón de garantizar la adecuada cobertura y calidad de servicio a los usuarios. Para ello la selección de zonas en puntos elevados es muy adecuada en escenarios que lo ameriten.

Información necesaria para la instalación de un nuevo sitio.

- Las coordenadas del emplazamiento, altura sobre el nivel del mar y dirección exacta.
- Datos del propietario o propietarios.
- Foto panorámica (360°).
- Anotaciones y/o fotos del entorno próximo.
- Posibles azimut de las antenas.
- Accesos hasta el emplazamiento, el estado de la carretera.
- Distancia de acceso a la red de energía eléctrica.

“Fuente de información recopilada mediante recomendación realizada por experto en el área de diseño. Ingenieros de diseño de Brightcomms Nicaragua”

3.2.3 Planificación de minimización de impacto medioambiental.

Con el despliegue masivo de las redes de telefonía móvil se habla de ciertos aspectos que interrumpen el bienestar ambiental y socio-cultural, ya que las estaciones bases han venido ocupando grandes áreas geográficas especialmente en zonas urbanas, por esta razón se han desarrollado técnicas para minimizar dichas afectaciones. [16]. Las diferentes técnicas se presentan a continuación.

- Para aminorar el número de estaciones bases y reducir el efecto paisajístico, en los sitios donde es posible se utilizan antenas duales o tribanda que permiten operar con las tecnologías existentes (GSM, UMTS, etc.).
- La ley 843, “LEY QUE REGULA LA UBICACIÓN, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE PARA EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES QUE HACEN USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO” otorga como función a la dependencia llamada ventanilla única el garantizar que la construcción sea debidamente mimetizada para mitigar el impacto ambiental en áreas protegidas legalmente declaradas, sitios de importancia histórica, arqueológica, cultural, escénicos o recreativos.

De igual forma existen técnicas para disminuir el posible efecto causado por las ondas electromagnéticas que transportan información a través del espacio libre, las cuales son señaladas a continuación.

- El control de potencia de transmisión y recepción de la antena y la estación móvil está directamente relacionada con los niveles de señal y la calidad del enlace por lo que es posible ajustar la potencia mínima para cumplir con dichos parámetros y mantener las condiciones de calidad del servicio.
- Además de la técnica de control de potencia, la estación base utiliza la técnica conocida como transmisión discontinua, la cual consiste en que la BTS solo transmite cuando el usuario está realizando una llamada, de lo contrario está inactiva y solo funciona como receptor.
- A esta técnica de transmisión discontinua se agrega que cuando se establece comunicación entre los usuarios la estación base solo trasmite el 50% del tiempo que dura la llamada debido a que el 50% del tiempo el usuario solo está escuchando, reduciendo considerablemente de esta forma el efecto que podrían causar la exposición a los campos electromagnéticos. [16]
- Además que la BTS solo trasmite el 50% del tiempo que el usuario realiza una llamada se aprovecha el silencio entre palabras lo que reduce aún más el tiempo de transmisión de la BTS que es aproximadamente a un 35% del tiempo que dura la llamada. [16]
- Con la aplicación de estas técnicas de disminución del tiempo de transmisión de la BTS se traduce a la utilización de un 85% menos de la potencia máxima asignada a la BTS.

En la actualidad en Nicaragua no se ha establecido una norma que regule la emisión de ondas electromagnéticas, la ley 843 se limita a regular las estaciones base respecto a construcción. Solo se ha establecido sobre la emisión de ondas electromagnéticas el límite de potencia efectiva radiada en 100W para estaciones base y 7W para estaciones móviles. [9]

Se ha realizado trabajos de tesis que contempla el análisis del efecto de las ondas electromagnéticas en un entorno urbano de Nicaragua, en el que se realizaron mediciones de campo con las que se ha comprobado que la energía emitidas por las antenas de telefonía celular son muy mínimas por debajo de 5% y 6.8% tanto para SAR medida en todo el cuerpo, así como energía absorbida. [17]

Greenfield Operation

Es una alternativa utilizada para la disminución de contaminación paisajística, con esta alternativa los operadores establecen sus equipos y antenas sobre una sola estructura de soporte, de esta manera se evitan tener varias infraestructuras que producen un impacto visual negativo en la zona. La ubicación de los sitios tiene que ser elegida de tal forma que no existan posibles afectaciones a la población dentro de la zona de cobertura, esto con el objetivo de disminuir el efecto visual causado por las estaciones bases. [11]

La ubicación, debe ser un proceso libremente negociado entre las partes y no es de carácter obligatorio, debiendo el solicitante presentar como requisito para la obtención del permiso, comunicación escrita informando que existe acuerdo con la otra empresa propietaria

de la estructura de soporte para equipos de telecomunicaciones, ubicada en el sitio donde se solicita el permiso, para la nueva instalación. [1]

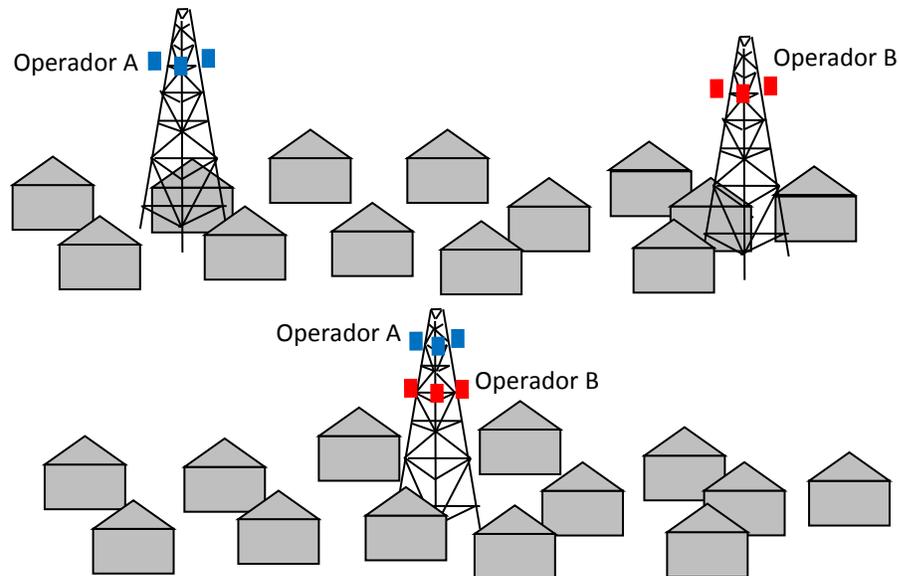


Figura 3.2: Visualización de 2 operadoras que pasan a implementar Greenfield Operation

3.2.4 Diseño RF de las estaciones base.

En esta sección estableceremos los puntos esenciales y que deben ser considerados para establecer los parámetros físicos y de sistema durante el diseño de la estación base. A continuación se nombran los puntos para los que se realiza diseño o plan en dependencia del caso, posteriormente a esto se profundiza en cada uno de los siguientes puntos.

1. Cobertura y calidad de servicio
2. Asignación y utilización del espectro
3. Planificación de capacidad tráfico
4. Planificación de relaciones de vecinas

Cobertura y calidad de servicio

El acceso de los usuarios a los servicios de las redes de telefonía celular es en base a los niveles de potencia de la señal que percibe el usuario en dependencias de la ubicación de este respecto al área de cobertura, además de la calidad del radio enlace que puede verse afectado por bajos niveles de señal e interferencia.

Cobertura

La cobertura celular corresponde a áreas en la que un usuario con su terminal móvil disponen con acceso a servicios que brindan las redes de telefonía celular, la ubicación de una estación base en un punto determinado tiene como fin un objetivo de

cobertura, ya sea barrio, poblado, comunidades rurales, zonas de comercio, industrias, lugares turísticos.

Para obtener buenos niveles de cobertura tanto en GSM como en UMTS se debe establecer ciertos parámetros fundamentales para el diseño RF de la estación base, como lo son: Potencia de transmisión, altura de la antena, azimut (orientación) e inclinación de la antena, los que se detallarán en este capítulo.

Posibles escenarios de cobertura

Los posibles escenarios de cobertura se pueden clasificar en base a los objetivos de cobertura en áreas de cobertura urbana, cobertura rural y cobertura de continuidad de carretera.

Cobertura Urbana

Las zonas de cobertura urbana se caracterizan por la alta densidad poblacional, la existencia de establecimientos comerciales y/o industria, por lo que amerita una mayor cantidad de estaciones base que brinden servicio a la alta cantidad de usuarios que comúnmente caracteriza a las áreas urbanas. La Figura 3.3 muestra un característico escenario urbano en Nicaragua.



Figura 3.3: Entorno urbano en Nicaragua

Cobertura Rural

Las zonas de cobertura rural se caracterizan por encontrarse la población dispersa, y la baja densidad de ella, por lo que la elección del punto donde se agregará una estación base debe ser la mejor para brindar acceso al servicio a la mayor cantidad de usuarios y tráfico.

Cobertura de carretera

Las zonas de cobertura de carretera han venido teniendo más auge de implementación debido a que las personas que tienen que trasladarse entre ciudades

requieren comunicarse mientras viajan por carretera. Un punto importante de consideración será que la ubicación de estos sitios debe ser en tramos de carretera que generen gran cantidad de tráfico para que amerite la instalación de estaciones base.

Parámetros físicos que definen la cobertura de las celdas.

Los principales parámetros físicos que se establecen para definir la cobertura de las celdas corresponden al sistema radiante que está conformado por el arreglo de antenas de la estación base o nodo b. Las antenas constituyen un elemento primordial en los sistemas de comunicación inalámbricos. Todas las antenas, desde un simple alambre hasta un complejo sistema de antenas utilizadas para comunicaciones espaciales actúan como transmisores y receptores de las ondas electromagnéticas que transportan información de diversos contenidos.

La antena cuando es utilizada para radiar ondas electromagnéticas al espacio ejerce la función de antena emisora o transmisora y cuando se emplea para interceptar o capturar ondas que se propagan en el espacio y convertirlas en energía útil ejerce la función de antena receptora. Las antenas tienen diferentes aplicaciones y dependiendo de ello varían en su tamaño, el cual está relacionado directamente con la banda de frecuencia en la que se quiere operar. [18]

Existen diversos tipos de antenas y cada una de ellas posee propiedades que sirven para caracterizarlas, de modo que estas características se hacen llamar parámetros de antenas. Todos estos parámetros están relacionados directamente con la energía que es radiada o receptada por la antena misma y permiten desde el punto de vista de sistemas, tratar la antena como un dipolo. A continuación se explican algunos de estos parámetros que tratan de definir el comportamiento de una antena.

Patrón de radiación

El patrón de radiación representa gráficamente la forma en que la energía electromagnética se distribuye en el espacio. El patrón de radiación de una antena se puede representar tridimensionalmente en dos cortes, uno horizontal (Corte izquierdo de la **Figura 3.4**) y uno vertical (Corte derecho de la **Figura 3.4**).

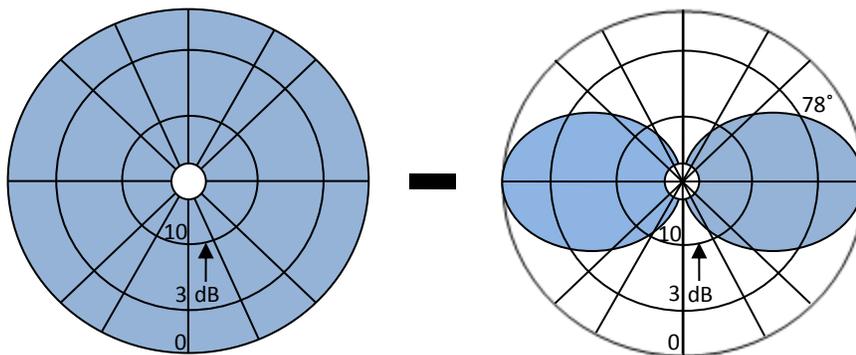


Figura 3.4: Patrón de radiación de antena omnidireccional

Polarización

La onda electromagnética al ser emitida por la antena debe ser orientada para obtener el máximo rendimiento de la misma, y esto se logra mediante la polarización, la cual es definida como la dirección de oscilación del campo eléctrico.

Existen dos tipos de polarizaciones y son la polarización lineal (incluye polarización vertical y horizontal) y la polarización circular (incluye polarización circular y elíptica, ambas izquierda y derecha).

En los sistemas de comunicaciones móviles normalmente se utiliza la polarización vertical ya que esta se ve ligeramente menos afectada por la reflexiones causadas en el transcurso de la onda, en comparación con la polarización horizontal cuyas reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida, sin embargo las antenas horizontales pueden llegar a ser menos afectadas por las interferencias provocadas por el hombre.

Directividad

La directividad consiste en cuanto energía concentra la antena en una dirección específica y puede ser definida como la relación entre la intensidad de radiación de la antena en una dirección específica y la intensidad de radiación media de la antena en todas las direcciones. La intensidad de radiación media de la antena en todas las direcciones es equivalente a la potencia total radiada dividida por 4π . [18].

La directividad de una fuente no isotrópica es equivalente a la relación entre la intensidad de radiación de la antena en una dirección dada y la intensidad de radiación de una fuente isotrópica. El concepto de directividad puede ser expresado matemáticamente de la siguiente forma:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P. Radiada} \tag{Ec. 3.1}$$

Para una fuente no isotrópica la directividad puede ser expresada como:

$$D_{max} = D_o = \frac{U|_{max}}{U_o} = \frac{U_{max}}{U_o} = \frac{4\pi U_{max}}{P. Radiada} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

En donde:

D es la directividad de la antena

D_{max} Máxima Directividad

U Intensidad de radiación

U_{max} Intensidad máxima de radiación

U_o Intensidad de radiación para fuentes Isotrópicas

P. Radiada Potencia total radiada

Ganancia de antena

La ganancia de antena es otro de los parámetros importantes que definen el funcionamiento de la misma. La ganancia está estrechamente relacionada con la eficiencia de la antena y sus capacidades direccionales. La ganancia puede ser definida como la relación entre la intensidad de radiación en una dirección dada y la intensidad de la radiación que se obtendría si la energía aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente. Esto puede ser expresado matemáticamente como:

$$Gain = 4\pi \frac{\text{Intensidad de Radiación}}{\text{Potencia Total de entrada}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P. Int} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Altura

Las torres que sostiene a las antenas son las estructuras más altas y por tanto visibles en el paisaje de nuestro país, sin embargo este factor desempeña un papel muy importante en el rendimiento de las redes celulares, ya que estas exigen que la línea de vista entre sus antenas este despejada en su totalidad para que se pueda establecer la comunicación.

Una antena de telefonía móvil debe estar situada a cierta altura (25 a 30 m aproximadamente) para proporcionar amplia cobertura, por esta razón es necesaria la construcción de una torre o mástil sobre el cual también se instalan todos los equipos encargados de la transmisión y recepción de la información. La altura de la antena en conjunto con la inclinación y la potencia de la misma proporcionan variantes importantes en el diseño de una red de telefonía celular, estas variantes son las encargadas de establecer el alcance de cobertura de la celda y de esta forma evitar la interferencia con las celdas vecinas. La elección de la altura estará influenciada por el escenario de diseño (orografía, infraestructura y las coordenadas donde se ubicará la estación base en la zona de diseño).

En escenarios donde se integran sitios por nueva cobertura para brindar servicios de llamada de voz (GSM) en zonas rurales se deciden elegir valores de alturas elevadas

que permitan tener una amplia cobertura para brindar el acceso al servicio a la población que comúnmente en ese tipo de zonas la densidad poblacional es baja y la ubicación de la poblaciones se encuentran dispersas.

La legislación nicaragüense mediante la Ley 843 establece límites y condiciones de altura para las estructura de soporte y por lo tanto los valores máximos para las alturas de las antenas. En el artículo 16 “Criterios generales para la instalación de estructuras de soporte” en el punto número 3 establece los límites que muestra la **Tabla 3.1**.

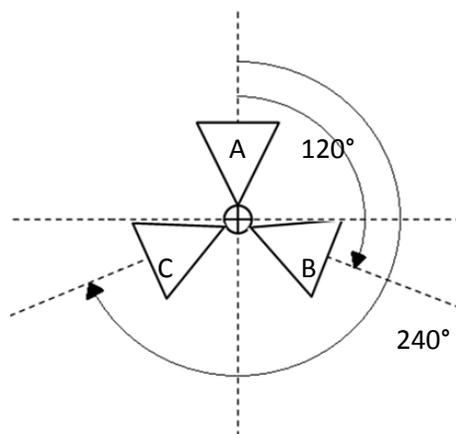
Tabla 3.1: Criterios de altura de estructura en entornos urbanos - Ley 843

Estación base ubicada:	Altura máxima de estructura	Consideraciones de estructura
en área Urbana	45m y 9m para instalaciones sobre edificios o azoteas.	Estructuras menores de 36m de altura pueden estar soportadas en un solo elemento o bien arriostradas o autoportadas.
fuera de área urbana	No establece límite de altura de estructura.	Estructuras mayores de 36m de altura deben ser estructuras autoportadas.

Azimut

Los bastidores de antenas por lo general tienen forma triangular ya que la mayoría de las células se dividen en tres sectores.

El azimut es el ángulo de orientación que tiene una antena desde su punto de ubicación hacia su objetivo de cobertura, el valor del azimut es medido en grados y el punto de referencia que se toma para iniciar a medir es el norte el cual toma siempre el valor de 0°. El azimut debe ser el adecuado tal que esté orientado al objetivo de cobertura.



Azimuths

Sector A: 0°

Sector B: 120°

Sector C: 240°

Figura 3.5: Esquema de asignación azimut

Inclinación de antena

En las comunicaciones móviles celulares es muy importante dar a la antena una correcta inclinación ya que de no ser así toda la energía radiada por la misma estará dirigida hacia el horizonte y perderá eficiencia. La inclinación correcta de la antena ayuda a que la energía radiada se concentre en un objetivo de cobertura específico, en este caso el sector al cual fue asignado, evitando de esta misma forma la interferencia que se podría causar a sectores vecinos.

El establecer la inclinación adecuada de la antena es muy importante en el diseño y para realizar este ajuste hay que tener en consideración muchos aspectos como la zona de cobertura para cada celda, la altura de la antena y la distancia de nuestro objetivo de cobertura. En la siguiente Figura se muestran los aspectos que hay que considerar para el cálculo de inclinación. [19]

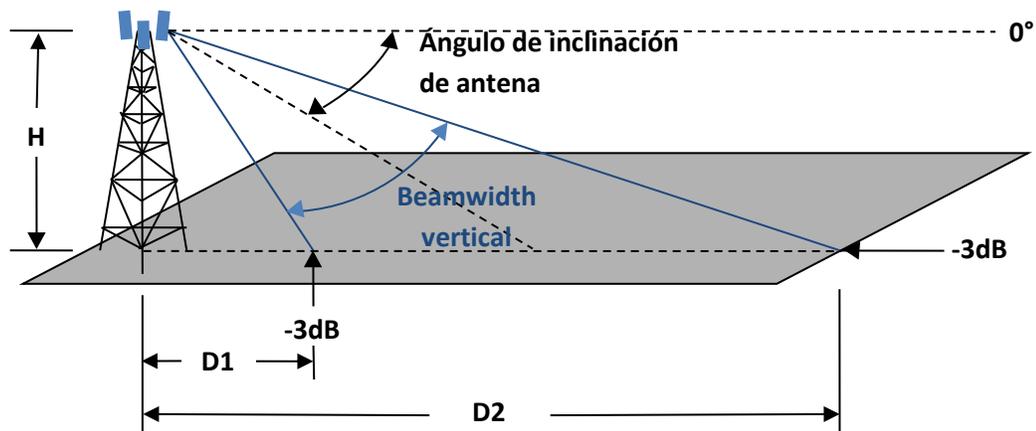


Figura 3.6: Esquema de inclinación de antena

“Fuente de referencia: [19]”

Dónde:

H = Diferencia de cota entre el punto central donde queremos direccionar nuestro haz principal y la antena panel instalada.

VBW = Ancho de haz vertical de la antena. Este ancho de haz en antenas utilizadas para telefonía móvil suele ser de unos 6° .

DT = Downtilt. Inclinación del haz principal de la antena panel.

D = Distancia desde nuestra antena hasta dónde llegará el centro del haz principal.

D1 = Distancia mínima donde llegará nuestro haz principal. Suponemos una diferencia en grados con respecto al centro del haz de -3° .

D2 = Distancia máxima donde llegará nuestro haz principal. Suponemos una diferencia en grados con respecto al centro del haz de $+3^\circ$.

Una vez definido el área de cobertura de la celda se puede calcular la inclinación necesaria para cubrir dicha zona mediante las siguientes ecuaciones. [19]

$$D1 = \frac{H}{\tan(DT + \frac{VBW}{2})} \quad (\text{Ec.3.4})$$

$$D2 = \frac{H}{\tan(DT - \frac{VBW}{2})} \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$D = \frac{H}{\tan(DT)} \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$DT = \tan^{-1}\left(\frac{H}{D}\right) \quad (\text{Ec.3.7})$$

Existen dos tipos de inclinaciones que nos permiten concentrar la energía de la antena en un sector en específico.

Inclinación mecánica:

La inclinación mecánica de la antena se realiza con el objetivo de indicar la dirección deseada del patrón de radiación, también ha sido una técnica muy eficaz para reducir la interferencia por el confinamiento de la señal en su propia área de cobertura.

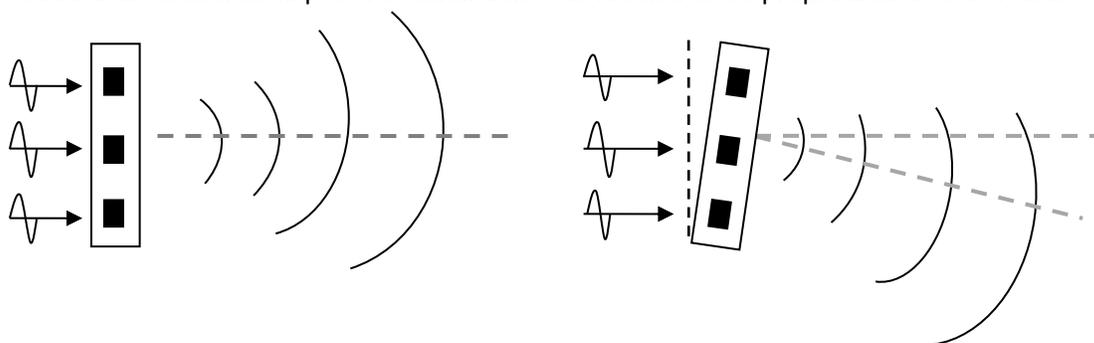


Figura 3.7: Inclinación Mecánica

Inclinación eléctrica:

La inclinación eléctrica básicamente se trata de modificar el patrón de radiación mediante el cambio de las características de la señal de cada antena. El valor de la inclinación puede ser fijo o variable, sin embargo la mejor opción es utilizar antenas con inclinación eléctrica variable ya que posibilita el ajuste de la distancia y da mayor flexibilidad y facilidad al optimizador, aunque existe un mayor costo en comparación con las antenas con inclinación eléctrica fija.

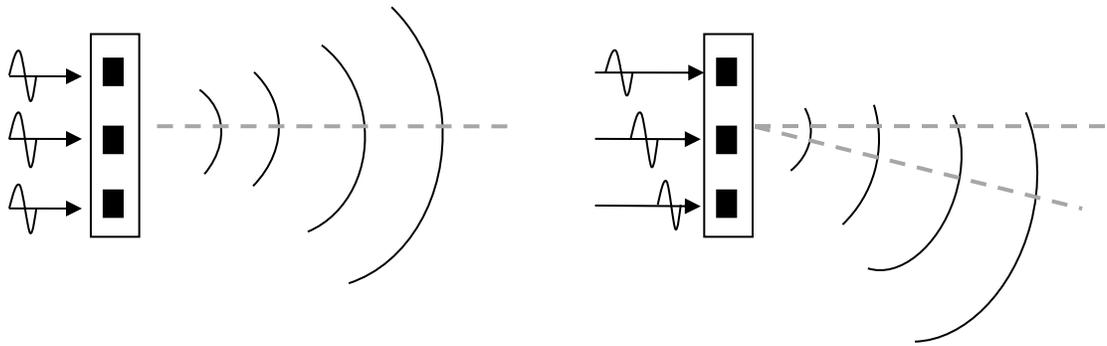


Figura 3.8: Inclinación Eléctrica

Modelo de antena

El modelo de antena es un elemento fundamental en el diseño de redes de telefonía móvil, debido a que la elección de este debe cumplir con las especificaciones de la tecnología utilizada y del terreno donde será instalada la estación base. Existen muchos modelos con importantes especificaciones como la frecuencia de operación, el rango de inclinación eléctrica, beamwidth y la ganancia de antena, entre otras que definen que modelo es el más indicado para el diseño considerando el escenario donde será instalada ya sea a nivel micro o macro. A continuación se muestran cuatro modelos de antena que según sus especificaciones técnicas se consideran la opción más adecuada para el diseño de una estación base en Nicaragua. Para mayor ilustración ir a data sheet del modelo de antena. [20]

- 80010634
- 742215
- 742215v01
- DBXLH-6565A-VTM

De los modelos presentados en este diseño se utilizará el modelo 80010634v01 del fabricante kathrein, ya que sus especificaciones técnicas se adaptan a lo que se implementará. Para consultar especificaciones técnicas para este modelo de antena puede revisar su hoja de datos que se pueden encontrar en la web. Otra opción de utilización es la antena dual band DBXLH-6565A-VTM del fabricante Andrew.

Potencia y pérdidas

El valor de potencia de transmisión es de mucha importancia ya que es la potencia con la que se emiten las ondas electromagnéticas y los niveles de recepción por parte de los equipos terminales utilizado por los usuarios deben ser lo suficientemente bueno para que el servicio requerido por el usuario sea de calidad. En Nicaragua el reglamento de servicio de telefonía celular establece la operación de las estaciones base de telefonía celular en 100 Watts (ERP). [9]

3GPP establece para una BTS GSM los valores máximos de potencia en el punto de entrada del combinador, esto en dependencia de la clase del terminal como se muestra en la **tabla 3.2**.

Tabla 3.2: Valores máximo de potencia de BTS en GSM

GSM 400 & GSM 900 & GSM 850 & MXM 850		DCS 1 800 & PCS 1 900 & MXM 1900	
TRX power class	Maximum output power	TRX power class	Maximum output power
1	320 - (< 640) W	1	20 - (< 40) W
2	160 - (< 320) W	2	10 - (< 20) W
3	80 - (< 160) W	3	5 - (< 10) W
4	40 - (< 80) W	4	2,5 - (< 5) W
5	20 - (< 40) W		
6	10 - (< 20) W		
7	5 - (< 10) W		
8	2,5 - (< 5) W		

Comúnmente no se trabaja con los valores máximos mencionados en la tabla, generalmente para el caso de GSM la potencia de transmisión es de 43dBm aproximadamente equivalente a 20 W, y es el valor que utilizaremos para el diseño GSM en Atoll®.

En el caso de UMTS – WCDMA FDD, estipula el valor máximo de valor de potencia de transmisión de una estación base en dependencia de condiciones de referencia, ver **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3: Valores de potencia de BTS en WCDMA

BS class	PRAT
Wide Area BS	- (note)
Medium Range BS	< +38 dBm
Local Area BS	< + 24 dBm
Home BS	$\leq + 20$ dBm (without transmit diversity or MIMO) $\leq + 17$ dBm (with transmit diversity or dual branch MIMO) $< + 14$ dBm (with four branch MIMO)
NOTE:	There is no upper limit required for the rated output power of the Wide Area Base Station like for the base station for General Purpose application in Release 99, 4, and 5.

Para el presente proyecto se hace el diseño para escenarios que requieran Nodos b a nivel macro-cell en los que típicamente se establece la potencia de transmisión máxima en 43dBm aproximadamente equivalente a 20 W, siendo el valor de la portadora piloto 33dBm.

Calidad de servicio

Los buenos niveles de cobertura son importantes ya que influyen en la calidad de servicio que percibe el usuario, ya que a bajos niveles de señal baja calidad de servicio. En

Nicaragua se establece como máximo de 2% de probabilidad de caídas de llamadas dentro del área de cobertura, y un grado de servicio congestión no superior al 2% en la hora pico (hora conformada por periodos de tiempos en que se presenta el mayor tráfico cursado por la estación base). [9]

Otros factores a tomar en consideración en la calidad de servicio son el ruido y la interferencia.

Ruido en sistemas de comunicaciones

El fenómeno conocido como ruido surge de la introducción de señales no deseadas a la señal útil que se desea transmitir dentro de su propio ancho de banda.

Las principales causas de ruido se deben a los elementos que conforman el sistema comunicación mismo ya que los equipos de transmisión no son perfectos. El ruido puede tener un menor impacto pero es un elemento que siempre está presente debido de a las características de los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Interferencia en GSM

La principal fuente interferencia en GSM proviene de la propagación de las celdas de estaciones bases que transmiten en un mismo canal de frecuencia, interferencia co-canal y adyacente en canales BCCH y TCH.

Interferencia en UMTS

El sistema UMTS es más susceptible a la interferencia de las celdas vecinas debido a que cada celda transmisora utiliza el mismo canal de frecuencia en la transmisión.

En esta tecnología la interferencia se presenta cuando las celdas propagan en exceso e inclusive más allá de otras celdas. UMTS tiene como característica la macro-diversidad que consiste en la capacidad de que un usuario obtenga recurso de más de una celda, al conjunto de radio enlaces de los que el UE obtiene recurso se le llama "Active Set" el cual está conformado por tres celdas servidoras.

Asignación y utilización del espectro

El reuso de frecuencia es una técnica que se usa en las redes de tecnología 2G ya que para las estaciones base asigna segmentos de frecuencia sobre la que se transmitirá, pues la utilización de determinada frecuencia sobre la misma área produce interferencia ya que el espectro es un recurso limitado por lo tanto se tendrá que reusar los canales de frecuencias establecidas para las portadoras.

3G por su parte utiliza todo el segmento de los 5MHz del espectro de la banda de frecuencia que usa para transmitir, teniéndose entonces un reuso de frecuencia de factor 1, es decir que cada celda de la estación base transmitirán sobre la misma frecuencia. En esta tecnología se supera el detalle de la *inter-frequency interference* ya que la diferenciación de las celdas se realiza

mediante códigos. En Nicaragua existen dos bandas de frecuencia 850MHz y 1900MHz destinadas para telefonía móvil, las cuales son presentadas en la **Tabla 3.4** con sus respectivos segmentos de frecuencia. [9] [21].

Tabla 3.4: Plan de Frecuencia para telefonía celular en Nicaragua

Banda de Frecuencia: 824 – 894 MHz		Banda de Frecuencia: 1850 – 1990 MHz		
Transmisión desde ET (Equipo Terminal)	Transmisión desde EB (Estación Base)	Transmisión desde ET (Equipo Terminal)	Transmisión desde EB (Equipo Base)	Modo de operación
Bloque A		A: 1850 – 1865	A': 1930 – 1945	FDD
A1: 824.040 – 825.000	A1': 869.040 – 870.000	B: 1870 – 1885	B': 1950 – 1965	FDD
A2: 825.030 – 834.990	A2': 870.030 – 879.990	C: 1895 – 1910	C': 1975 – 1990	FDD
A3: 845.010 – 846.480	A3': 890.010 – 891.480	D: 1865 – 1870	D': 1945 – 1950	FDD
Bloque B		E: 1885 – 1890	E': 1965 – 1970	FDD
B1: 835.020 – 835.980	B1': 880.020 – 880.980	F: 1890 – 1895	F': 1970 – 1975	FDD
B2: 836.010 – 844.980	B2': 881.010 – 889.980	G: 1910 – 1920	G': 1910 – 1920	TDD
B3: 846.510 – 848.970	B3': 891.510 – 893.970	H: 1920 – 1930	H': 1920 – 1930	TDD

UPLINK (25 MHz)

DOWNLINK (25 MHz)

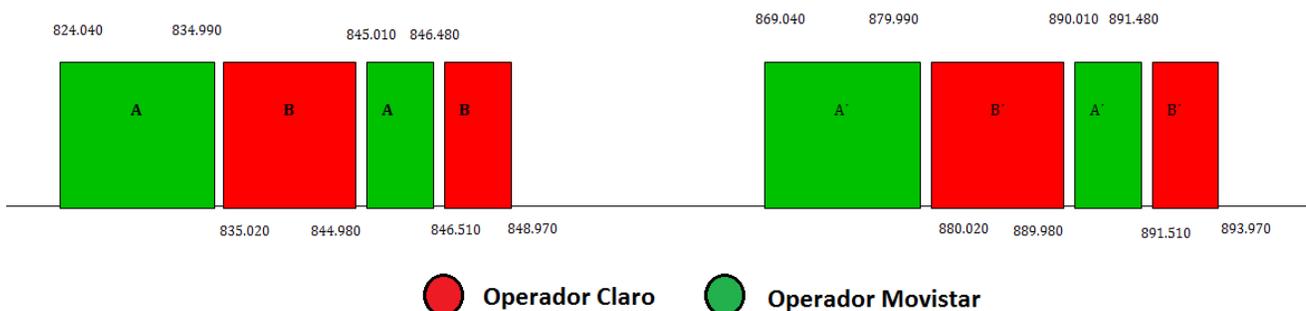


Figura 3.9 Mapa espectral y asignación de banda 850 en Nicaragua

UPLINK (60 MHz)

DOWNLINK (60 MHz)

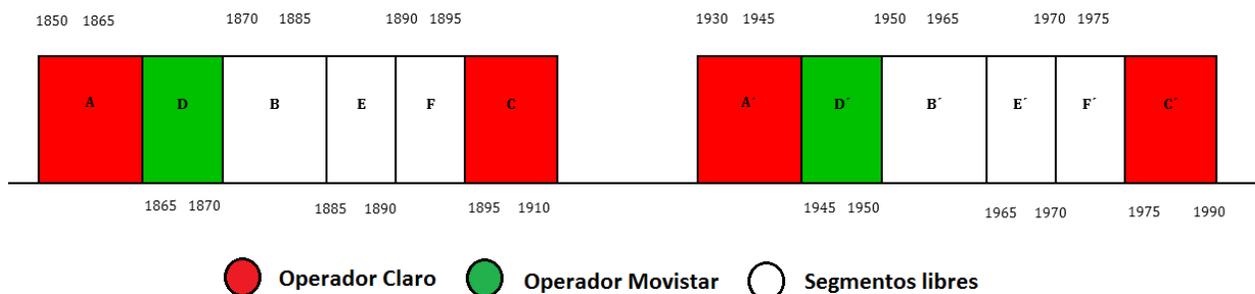


Figura 3.10 Mapa espectral y asignación de banda 1900 en Nicaragua

ARFCN

En las redes de telefonía celular basadas en tecnologías GSM, el ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel*) es un código que especifica un valor numérico asignado a cada frecuencia de portadora, cada canal GSM tiene una separación de 200KHz entre ellas. [22]

Tabla 3.5: Distribución de canales GSM

Banda de operación en Nicaragua	ARFCN	Frecuencia del canal en enlace ascendente	Frecuencia del canal en enlace descendente
GSM 850	$128 \leq n \leq 251$	$F_l(n) = 824.2 + 0.2*(n-128)$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
PCS 1900	$512 \leq n \leq 810$	$F_l(n) = 1850.2 + 0.2*(n-512)$	$F_u(n) = F_l(n) + 80$

Reúso de frecuencia en WCDMA (Codificación de canal)

En la tecnología WCDMA a diferencia de GSM no es necesario realizar Plan de frecuencia ya que todos los transmisores emiten a la misma frecuencia, es decir el factor de reúso de frecuencia es 1, ya que la diferenciación de transmisores y el envío de la información se realiza utilizando codificación.

UARFCN

En las redes de telefonía celular basadas en tecnologías WCDMA, el UARFCN (*UTRA Absolute Radio Frequency Channel*) es un código que especifica un valor numérico asignado a cada canal de radio dentro de las bandas de frecuencias utilizadas en los sistemas UMTS. [23]

Tabla 3.6: Distribución de canales UMTS

Banda de operación en Nicaragua	Enlace de subida (UpLink)		Enlace de bajada (DownLink)	
	UARFCN en el enlace ascendente	Rango de frecuencia de la portadora F_{UL}	UARFCN en el enlace descendente	Rango de frecuencia de la portadora F_{DL}
II	$N_U=5*(F_{UL} - F_{UL_Offset})$	$1852.4 \leq F_{UL} \leq 1907.6$	$N_D=5*(F_{DL} - F_{DL_Offset})$	$1932.4 \leq F_{DL} \leq 1987.6$
V	$N_U=5*(F_{UL} - F_{UL_Offset})$	$826.4 \leq F_{UL} \leq 846.6$	$N_D=5*(F_{DL} - F_{DL_Offset})$	$871.4 \leq F_{DL} \leq 891.6$

Para las bandas II y V el $F_{UL_Offset}=0$ y el $F_{DL_Offset}=0$.

Planificación de capacidad y tráfico

Para el diseño de nuevas estaciones base de telefonía móvil es de suma importancia tomar en consideración la capacidad de dicha estación base al brindar servicio a un determinado número de usuarios simultáneamente y también el tráfico que los subscriptores genera a través de la estación base. El objetivo principal del análisis de capacidad y tráfico es identificar la cantidad de canales de servicio que la celda de estación base debe tener para manejar la intensidad de tráfico que los subscriptores generan. El Erlang es la unidad de medición de la intensidad de tráfico, y este puede ser calculado mediante la ecuación Ec.3.8, donde n es el número de llamadas por hora, T el tiempo promedio de llamada en segundos.

$$A = \frac{n * T}{3600} \tag{Ec.3.8}$$

Aplicado a la telefonía celular móvil, el Erlang representa el tiempo de conexión de los usuarios dentro de la celda durante cierto intervalo de tiempo. [8]

La cantidad de tráfico y líneas de servicio para las que se diseña una estación base varía en dependencia de la densidad poblacional y potenciales usuarios en la zona objetivo, es decir el tráfico que cursará por una estación base ubicada en una zona urbana será mucho mayor en comparación que una ubicada en una zona rural.

Para nuevo sitio ubicado en entorno urbano comúnmente se realiza su diseño e integración como último recurso (después de haber realizado optimización sin tener resultado positivo) para poder suplir capacidad de las celdas de las estaciones bases existentes que presentan congestión debido a que estas se encuentran a su máxima capacidad de servicio, realizándolo mediante el proceso de *cell split*, o co-ubicando estación base que opere en banda distinta, ver **Figura 3.11**; A diferencia del entorno urbano, el diseño e integración de un nuevo sitio en entorno rural está destinado a la ampliación de cobertura.



Figura 3.11: cell split

Otro punto importante a tomar en consideración es el grado de servicio que como se mencionó anteriormente. En Nicaragua se establece como un máximo de 2% la probabilidad de bloqueo de llamada y en 2% de llamadas caídas dentro de área de cobertura. [9]

Erlang B

Para conocer el tráfico el método Erlang B, es el comúnmente usado y consiste en el uso de una tabla que expresa la relación que existe entre tráfico, cantidad de canales de servicio y grado de servicio (Probabilidad de bloqueo de llamadas), ver **Tabla 3.7**, esta tabla es como resultado de la siguiente ecuación:

$$P_b = B(A, m) = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}} \quad (\text{Ec.3.9})$$

En donde:

P_b Es la probabilidad de bloqueo

m Es el número de recursos tales como servidores o circuitos en un grupo

A Es la cantidad total de tráfico ofrecido en Erlangs

Tabla 3.7: Tabla de Erlang B

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4	n
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.5171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32

Análisis de capacidad y tráfico GSM

En los sistemas GSM la cantidad de usuarios que puede atender simultáneamente una celda está en dependencia del recurso de hardware asignado a dicha celda, también depende de la relación portadora interferencia C/I tolerable desde el terminal móvil.

Para el realizar el cálculo de la cantidad de líneas (Time slots) necesarias para brindar servicio a una población que generará tráfico en una estación base se hará uso de Erlang_B (A , tráfico en Erlangs) con un grado de servicio (P_b , Probabilidad de bloqueo de llamada que en Nicaragua es de 2%). El tráfico que cursará una estación base se determina mediante la cantidad de usuarios y el tráfico que genera una llamada de determinada duración promedio (estudios estiman que el trafico promedio por usuario durante la hora pico es típicamente entre 15-20mE correspondiendo a duración de llamada de 54 y 72 segundos respectivamente). [8]

Para estimar la cantidad de suscriptores para una estación base se calcula en base a un porcentaje de la población a la cual se le brindará el servicio, el cual puede variar en dependencia de la zona del diseño. De tal manera que para una población de 5000 personas en zona urbana se tendrá como objetivo de usuario de servicios a 2000 suscriptores, por lo tanto el tráfico que cursará en la estación base será $A=2000*20mE=40E$.

Mediante la fórmula de Erlang B se obtiene que para 40 Erlangs con una probabilidad de bloqueo de 2% se requieren 50 líneas las que se divide entre los 3 sectores de la estación base lo que equivaldría a 17 líneas por sector, a partir de esto se puede calcular el número de portadoras necesarias por sector para manejar dicho tráfico, cada portadora permite transmitir 8 canales físicos (8 time slot) de los cuales 1 es usado para control (generalmente el TS0) y los 7 restantes son usados para tráfico. La cantidad de portadoras necesarias para las 17 líneas requeridas es igual a la cantidad de líneas entre 7 (correspondiente a los 7 TS usados para tráfico), para este caso el número de portadoras a usar serán 3 por sector.

Análisis de capacidad y tráfico UMTS

En los sistemas WCDMA la cantidad de usuarios que una estación puede brindar servicios no solamente está en función del recurso de hardware sino que influye la variable interferencia la cual proviene de los fenómenos internos y externos del sistema, en el caso de los sistemas de 3ra generación la principal fuente de interferencia proviene de los mismos móviles conectados (uplink) y de las estaciones bases vecinas (downlink), el principal efecto producido por la interferencia se refleja en la capacidad, debido a que en el sistema WCDMA el factor de reúso de frecuencia es 1 la radio propagaciones de las celdas vecinas es percibida como interferencia, por lo que a mayor interferencia entre celdas se tendrá baja capacidad, por el contrario a menor interferencia entre celdas mayor capacidad. [12]. Para mayor ilustración ver **Figura 3.12**

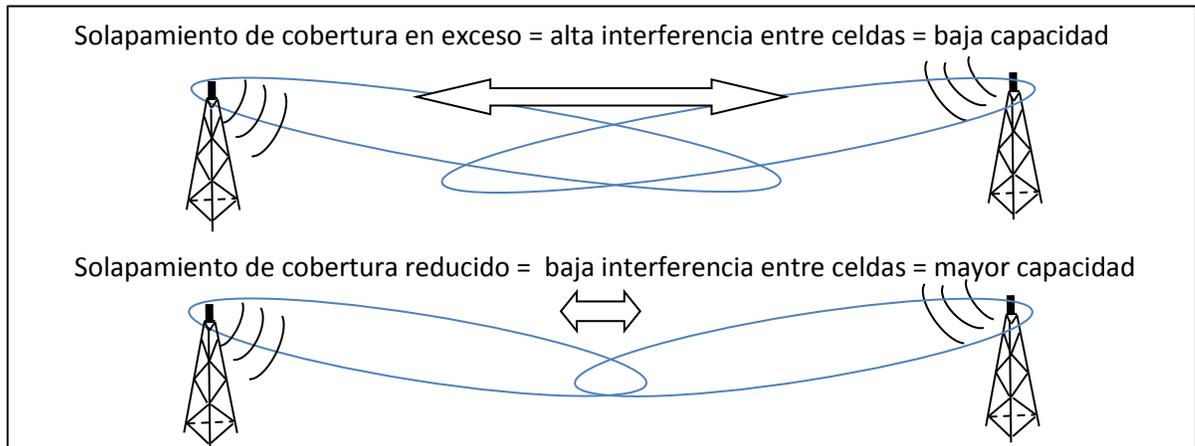


Figura 3.12: Solapamiento entre radio propagación de celdas

Para estimación de capacidad en los sistemas WCDMA es necesario considerar el término factor de carga ya que esta tendrá efecto sobre la capacidad, para ello se han definido las ecuaciones de factor de carga en enlace de subida y factor de carga en el enlace de bajada.

Factor de carga del enlace de subida

La ecuación de factor de carga expresa la relación entre la señal del usuario y la interferencia producida por los demás usuarios. [11], como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \quad (\text{Ec.3.10})$$

En donde:

- N es el número de usuarios por celda.
- v_j Es el factor de actividad del usuario j en la capa física.
- E_b/N_0 Es la energía de la señal por bit dividido entre la densidad espectral del ruido.
- W Es el WCDMA chip rate (3.84 Mcps).
- R_j Es el bit rate del usuario j .
- i Es la interferencia generada de otras celdas a la propia celda.

Factor de carga del enlace de bajada

De forma similar para el enlace de bajada la ecuación de factor de carga del enlace descendente expresa la relación entre la potencia de señal transmitida por la estación base entre la interferencia generada por la potencia de transmisión de las celdas de estaciones base vecinas, la particularidad que difiere es en cierto parámetro utilizado el cual es el factor de ortogonalidad.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (\text{Ec.3.11})$$

El factor de carga puede ser aproximado mediante ciertos valores promedio.

$$\overline{\eta}_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \bar{\alpha}) + \bar{i}] \quad (\text{Ec.3.12})$$

- N Es el número de usuarios por celda.
- v_j Es el factor de actividad del usuario j en la capa física.
- E_b/N_0 Es la energía de la señal por bit dividido entre la densidad espectral del ruido.
- W Es el WCDMA chip rate (3.84 Mcps).
- R_j Es el bit rate del usuario j .
- α_j Factor de ortogonalidad.
- i Es la interferencia generada de otras celdas a la propia celda.
- $\bar{\alpha}$ Valor promedio de factor de ortogonalidad
- \bar{i} Valor promedio de interferencia generada por las otras celdas a la propia celda (mejor celda servidora).

Relación cobertura capacidad y calidad.

En los sistemas de segunda generación la planeación se centra más detalladamente en la cobertura. Los sistemas de tercera generación la planificación está centrada mayoritariamente en la capacidad e interferencia. Para ambos casos GSM/UMTS la relación que existe entre la cobertura, capacidad y calidad son tratadas y estabilizadas desde los puntos respectivamente que fueron mencionados anteriormente.

En el sistema de segunda generación se centra desde el punto de vista de la cobertura puesto que la capacidad y calidad no presentan una relevante influencia en ella, ya que el recurso de radio es fijo (hardware) [24]. En GSM la interferencia afecta principalmente la calidad del enlace de usuario (interface Um) y no altera la capacidad y cobertura. La principal fuente de interferencia generada en GSM proviene del reúso de frecuencia por lo tanto es necesario efectuar un correcto plan de frecuencia.

En los sistemas de tercera generación la planificación se enfoca en la capacidad y calidad debido a que el desempeño de un nodo B depende de la interferencia generada por las estaciones base y la cantidad de usuarios conectados a este dentro del área de cobertura [24]. Una gran cantidad de usuarios haciendo uso de los servicios de la red generará una mayor interferencia, limitando el desempeño de la estación base.

Planificación de relaciones de vecinas

Handover

La movilidad es una de las principales características de los actuales sistemas de telefonía celular, lo que permite al usuario realizar una llamada y moverse por toda el área de cobertura sin interrupciones. El handover o traspaso se realiza cuando el receptor móvil en servicio de conmutación de circuito se aleja de la celda servidora (Celda A) provocando que el enlace se afecte negativamente, por otra parte al acercarse el móvil a una celda vecina (Celda B) los niveles de señal de esta son y serán mejores a medida que el móvil se acerque a la celda vecina, por lo que es necesario realizar el handover entre dicha celdas. Ver **Figura 3.13** El handover es muy importante dentro de una red de telefonía celular no solo por la facilidad de movilidad si no porque una red con un esquema de handover mal diseñado disminuye su calidad de servicio (QoS) en indicadores de dropped call. [11]

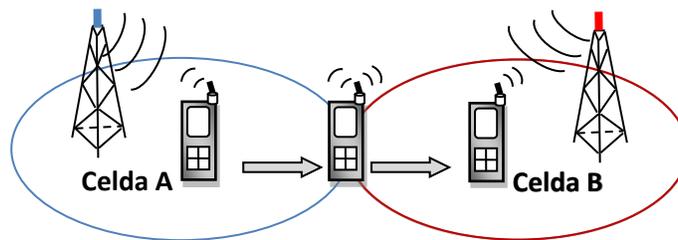


Figura 3.13: Handover

En base al algoritmo de traspaso y la tecnología celular existen distintos tipos de handover entre los más conocidos están:

Soft - Handover

Este tipo de handover previamente asegura una conexión entre el móvil y la celda de la estación base vecina con la que realizará el traspaso antes de romper la conexión con su actual celda servidora, este tipo de Handover es conocido o llamado como: " Make-Before-Break " hacer antes de romper. El soft-handover se efectúa en las redes celulares UMTS en donde se aprovecha la macro-diversidad que permite utilizar esta tecnología. Ver **Figura 3.14**.

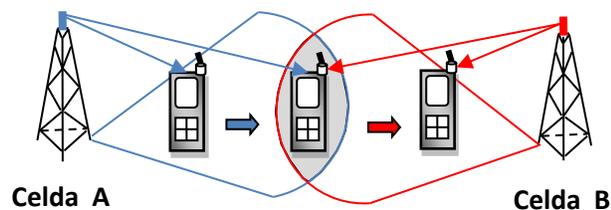


Figura 3.14: Soft Handover

Softer - Handover

Este tipo de Traspaso es muy similar al anterior, con la diferencia que se da cuando un usuario se mueve de una celda a otra pero dentro de la misma estación base, a como se muestra en la siguiente figura.

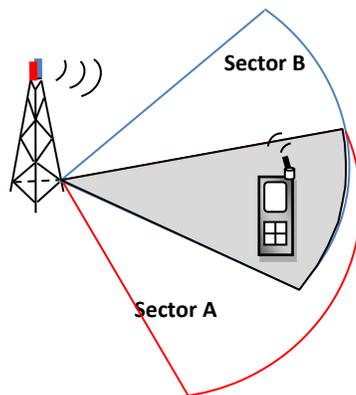


Figura 3.15: Softer Handover

Este tipo de traspaso se emplea en redes UMTS debido a la ventaja y aprovechamiento de la macro diversidad de estas redes.

Macro diversidad

La función de macro diversidad es permitir al equipo terminal del usuario recibir datos de varias conexiones simultáneamente, sin embargo en el caso ideal se pretende que el UE reciba información de un número no mayor a tres celdas servidoras ya que en caso contrario se genera interferencia en el sistema lo que también influye directamente en la capacidad de la red. En la siguiente imagen se ilustra el concepto de macro diversidad.

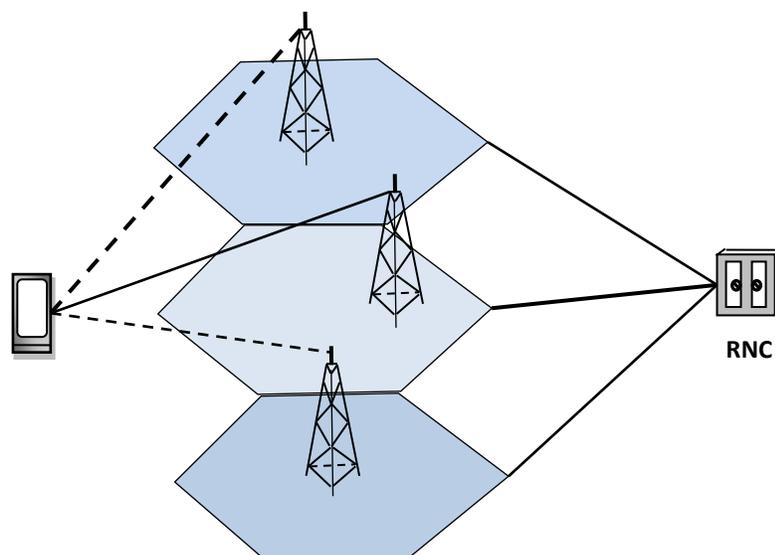


Figura 3.16: Macro diversidad

Hard - Handover

Este tipo de traspaso sucede cuando la terminal libera el canal utilizado actualmente y luego adquiere otro canal proveniente de una celda vecina, acción que es llamada romper después hacer " Break-After-Make ". Durante este tipo de traspaso existe un pequeño deterioro de la calidad del radio enlace ya que se genera una corta interrupción al momento de hacer el cambio de una celda a otra. Para este tipo de traspaso la red decide si es necesario o no hacerlo tomando en cuenta la intensidad de señal de la conexión existente, este tipo de traspaso es común en las redes con tecnologías de acceso FDMA y TDMA como lo es GSM. Ver **Figura 3.17**.

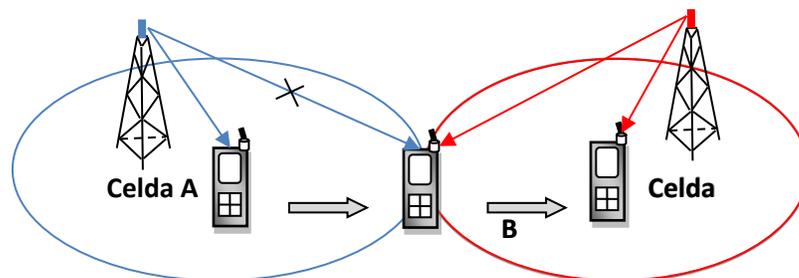


Figura 3.17: Hard Handover

IRAT – Handover

Es un tipo de Handover que se efectúa entre tecnologías, se efectúa cuando el UE está saliendo del área de cobertura de UMTS y entrando a área donde hay cobertura GSM o vice versa. Ver **Figura 3.18**.

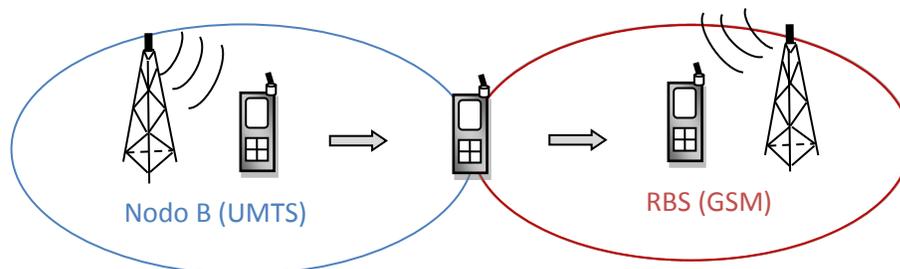


Figura 3.18: IRAT Handover

Relaciones de vecinas

Es necesario saber que los handover se efectúan solo si existen definidas las relaciones de vecinas entre las celdas con mejores condiciones para efectuar handover. En el caso de UMTS el número de relaciones intra-frequency es limitado a 32, el numero para relaciones inter-Frequency es limitado a 32 y el número de relaciones inter-RAT es limitado a 32. [25]

Con respecto a la tecnología GSM la falta de relaciones de vecinas puede conllevar a que un móvil durante una llamada, en una zona de borde de cobertura de su celda servidora y alejándose de esta puede percibir los buenos niveles de señal de una celda vecina pero por la ausencia de la relación de vecina entre ellas no se realizará el handover y por efecto de los bajos niveles de señal provocará la caída de la llamada.

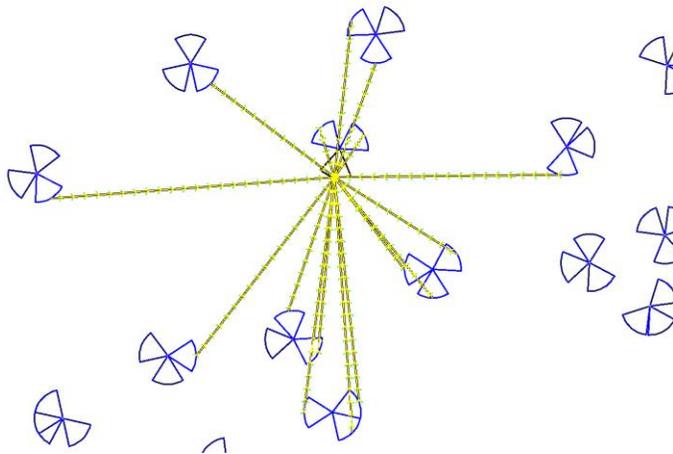


Figura 3.19: Relaciones de vecinas

Las definiciones de relaciones de vecinas en el caso de la tecnología WCDMA, es de suma importancia y más crítico ya que de estas depende el desempeño de las celdas y por ende el desempeño de la red, debido a que en WCDMA el factor de reuso de frecuencia es 1 la ausencia de definiciones de vecinas entre celdas de Nodos B vecinos implica interferencia entre las celdas, lo que también significa que la delimitación de las coberturas de las celdas es necesario para evitar sobre propagación y la existencia de celdas overshooter (Celdas que su propagación se extiende más allá de la cobertura de estaciones base vecinas) y ,en casos menos críticos pero perjudicial, demasiado overlapping (solapamiento de las propagación entre celdas vecinas).

Herramientas para el diseño de estaciones base

Es fundamental estar equipado para poder realizar el diseño de las estaciones base de una forma eficiente, primeramente es necesario poder identificar las zonas que presentan un bajo desempeño en indicadores. Los indicadores son estándares establecidos en base al cual se observa el desempeño de la red mediante estadísticas. El indicador de Accesibilidad muestra la admisión y tiene importancia al momento de diseñar un nuevo sitio ya que muestra que posiblemente la distribución de usuarios es muy dispersa y amplia en zona cubierta por sitios existentes.

Drive Test

El drive test es el proceso de recolección en campo de los datos de señalización y geo-referenciándolos revelando los parámetros de cobertura y el desempeño de la red en campo mediante software especializado y dispositivos terminales; Los dispositivos usados

están en dependencia del tipo de medición que se realice. Los drive test brindan la información necesaria para el planeamiento de la radio cobertura en los sistemas de comunicación móvil. [11]

Las mediciones de campo nos permiten la identificación de las zonas que presentan bajos o mal desempeño de los parámetros de niveles de señal, calidad del radioenlace, caídas de llamadas, bloqueo de llamadas, esto permite identificar las zonas donde es necesaria la integración de nuevos sitios, ya sea para brindar una mejor cobertura o incrementar capacidad dentro de la red.

Parámetros de medición en Drive Test

Los parámetros de mayor relevancia se muestran a continuación:

Tabla 3.8: Parámetros de medición Drive Test

Parámetros de medición	GSM	WCDMA
Nivel de señal	RxLev	RSCP, RSSI
Calidad de radio-enlace	RxQual	EcNo, CQI
Cobertura por dominancia	Cobertura por BCCH	Cobertura por SC
Active Set	---	Celdas en Active Set
Call	Dropped call, blocked call	Dropped call, blocked call
Data Rate	Throughput (kbps)	Throughput (kbps)

Niveles de Señal (RxLev/RSCP)

Para que un usuario pueda acceder a los servicios de telefonía celular es necesario tener buenos niveles de potencia de la señal recibida. Para ello se debe establecer niveles capaces de brindar el servicio.

En GSM a los niveles de señal se le conocen como niveles de RxLev (Nivel de potencia recibida por el móvil) en WCDMA se les ha designado el término RSCP (Received Signal Code Power).

Calidad del radio-enlace (RxQual/EcNo)

La medición del desempeño de un radioenlace se establece mediante los parámetros RxQual (Calidad de recepción de señal) en el caso de GSM y EcNo (Relación señal a ruido) en el caso de WCDMA, los cuales reflejan la relación existente entre los niveles de señal e interferencia.

Software de Predicción

El software de predicción es una herramienta fundamental para el despliegue de una red de telefonía celular ya que permite determinar parámetros físicos y pronosticar su desempeño durante la etapa de planeación antes de ser aplicados en campo.

Existe una variedad de Software utilizados para el diseño de radio propagación sin embargo muchos de estos requieren de licencias las que son muy costosas y de los cuales se puede encontrar información en Internet como ejemplos se mencionan ASSET, ICS Telecom, Atoll®, Path loss, entre otros.

En este documento se hace referencia al software de planeación y simulación llamado Atoll® desarrollado por la empresa Forsk, dicho programa es muy completo respecto a análisis de predicción y es de fácil uso, además la Universidad Nacional de Ingeniería posee licencia de dicho software para desarrollar proyectos con fines académicos. Debido a los distintos análisis y plataforma de diseño para múltiples redes inalámbricas es muy utilizada y mayoritariamente en los procesos de planning y optimización de las redes de telefonía celular.

Las características principales de Atoll® son el cálculo de radiopropagación, modelado de tráfico, planeación de frecuencia, planeación códigos, planeación de vecinas y muchas herramientas fundamentales en cuanto a optimización. Para la integración de un nuevo sitio dentro una red de telefonía celular es necesaria la planeación y estudio de la situación que se presenta, por esta razón el software antes mencionado es de considerable utilidad ya que mediante el mismo se pueden simular parámetros como: Nivel de señal en cuanto a cobertura, calidad de señal, Solapamiento entre señales y otras simulaciones importantes que serán presentadas y explicadas en el siguiente capítulo de este documento, estas predicciones permiten obtener un diagnóstico sobre el comportamiento de un nuevo sitio con respecto a la red existente.

Requerimientos de Atoll®

Para cada proyecto de radio planificación que se realiza en Atoll® se debe reunir la información necesaria:

Equipos de radio: Sitios transmisores, antenas, repetidores, y otros equipos que se utiliza en dependencia de la tecnología.

Los datos de radio: Bandas de frecuencia, parámetros específicos de la tecnología, sistemas de coordenadas, etc.

Los datos geográficos: clutter classes, clutter heights, DTM, population maps, etc.

Diseño de una red GSM/GPRS/EDGE en Atoll

A continuación la figura describe la ayuda de Atoll sobre el proceso de planeación y creación de una red GSM/GPRS/EDGE.

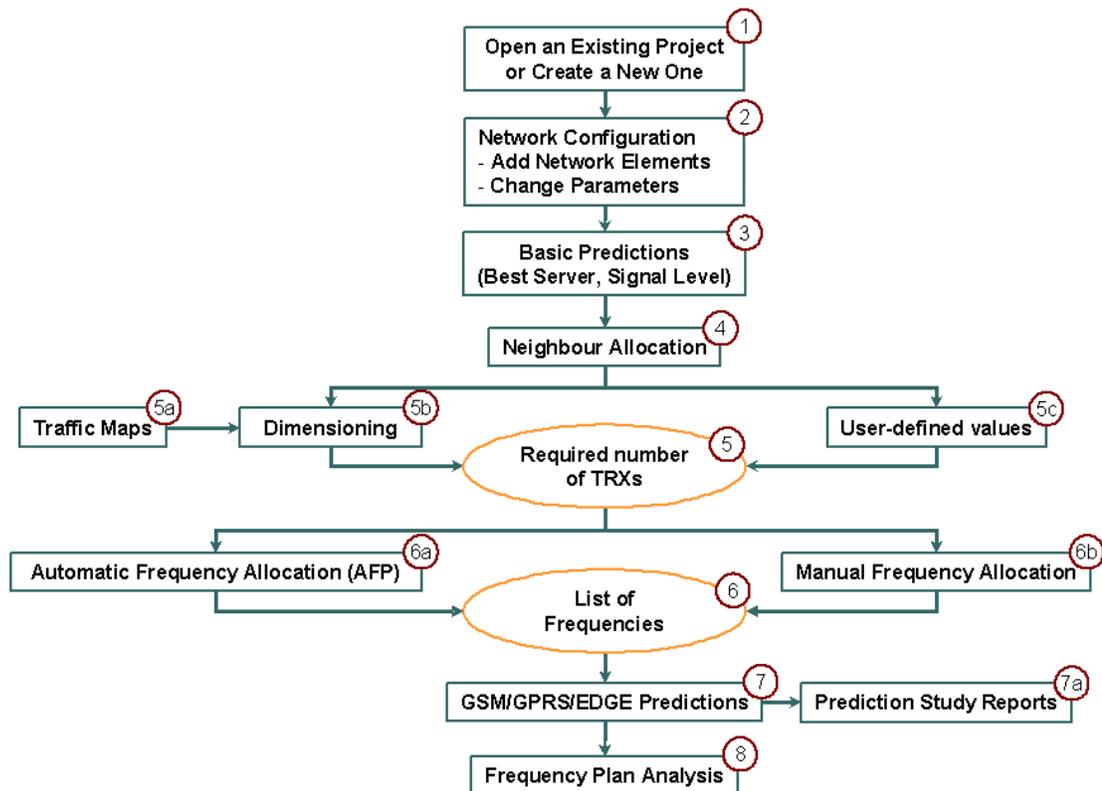


Figura 3.20: Proceso de planeación y creación de una red 2G en Atoll

“Imagen tomada de la ayuda que proporciona el software Atoll®”

Integración de estación base en proyecto GSM de Atoll®

Una estación base consiste en un sitio con uno o más transmisores, varios equipos de radio y sus respectivas configuraciones.

Con el apoyo de la herramienta de software como Atoll® se demostrará el funcionamiento de la estación base para ambas tecnologías a través de predicciones importantes en el diseño de una estación base como: nivel señal, cobertura por transmisor, análisis de calidad de señal y solapamiento excesivo (overlapping) entre señales para el caso de UMTS.

Para crear una nueva estación base GSM en Atoll® son necesarios algunos elementos y ciertos parámetros de configuración que se presentan a continuación.

Descripción de sitio

En el Tab general de Sites se puede configurar el nombre y la ubicación de la nueva estación base la cual se logra mediante las coordenadas del terreno donde será instalada. Ver **Figura 3.21**.

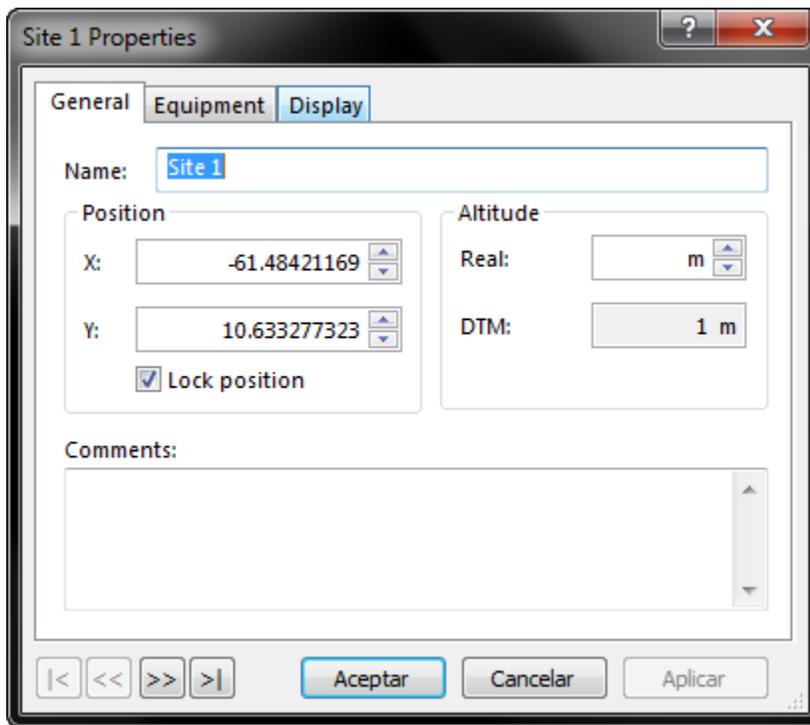


Figura 3.21: Interface propiedades de estación base en Atoll

- **Descripción del Transmisor**

En “*Transmitters*” se encuentra toda la información acerca de la configuración de la celda como identificación de la misma, potencia de transmisión y configuraciones físicas, a como se puede apreciar en la **Figura 3.22**.

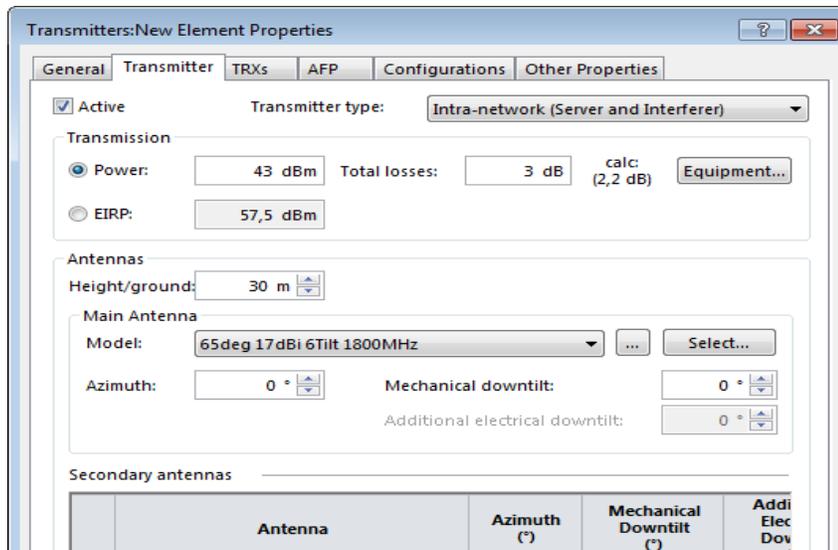


Figura 3.22: interface de propiedades del transmisor GSM en Atoll

Además se pueden realizar configuraciones de equipos como el tipo de feeder que se utiliza y la longitud para considerar pérdidas en la señal causadas por el mismo. Ver **Figura 3.23**.

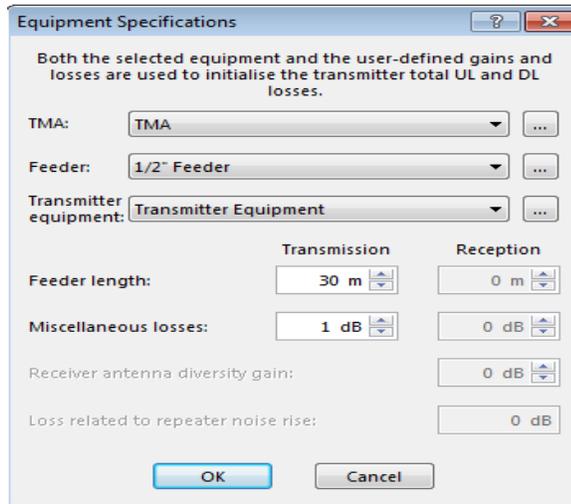


Figura 3.23: Configuración Feeder

El proceso anteriormente presentado muestra las configuraciones básicas de Atoll® para la creación de una nueva estación base GSM, para mayor ilustración ver "Creating a GSM/GPRS/EDGE Base Station ", en la sección de ayuda proporcionada por Atoll®.

En la **Figura 3.24** se ejemplifica la ubicación de estación base y celdas en un proyecto GSM de Atoll®.

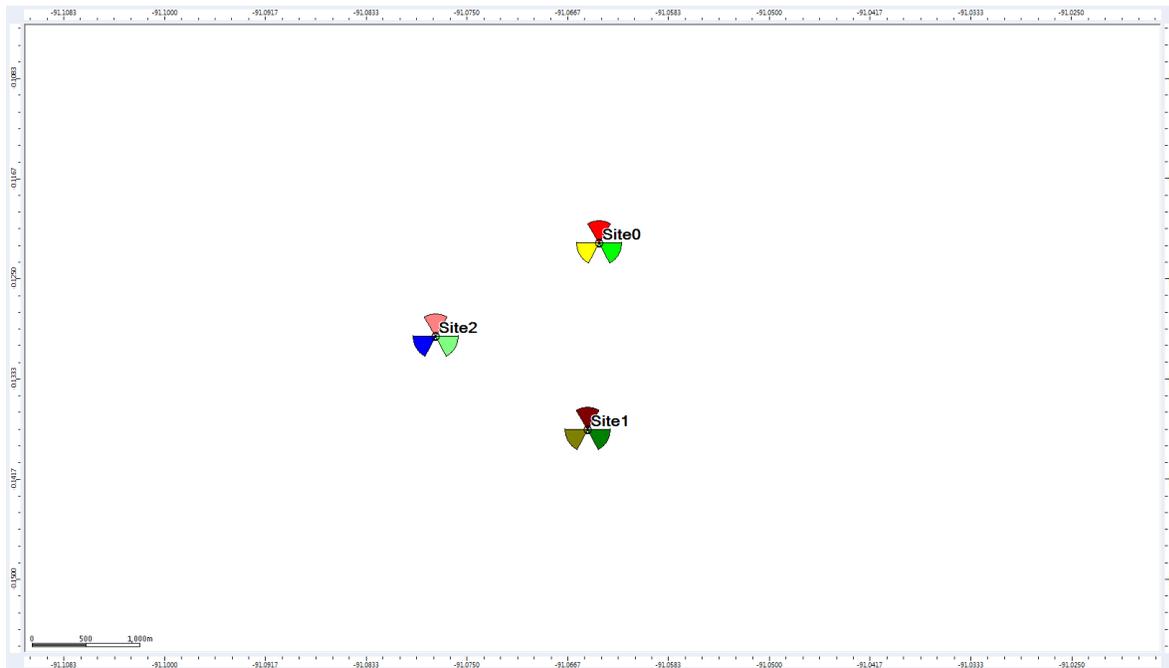


Figura 3.24: Estación base instalada en el proyecto GSM de Atoll®

Generación de predicciones en Atoll® para estación base GSM.

Los distintos tipos de predicciones nos permiten observar el comportamiento de la nueva estación base antes de ser instalada en el campo, ya que es muy importante realizar el proceso de optimización de la estación base antes de que esta inicie a transmitir.

Cobertura por Transmisor

Mediante la predicción de cobertura por transmisor se identifica que cada una de los transmisores de la estación base esté penetrando la zona de cobertura objetivo. Cada uno de los transmisores tiene un color asignado y la zona abarcada por cada uno de estos colores representa la zona que el transmisor está cubriendo con las configuraciones físicas establecidas. A continuación se muestran ejemplo de predicción de cobertura por transmisor.

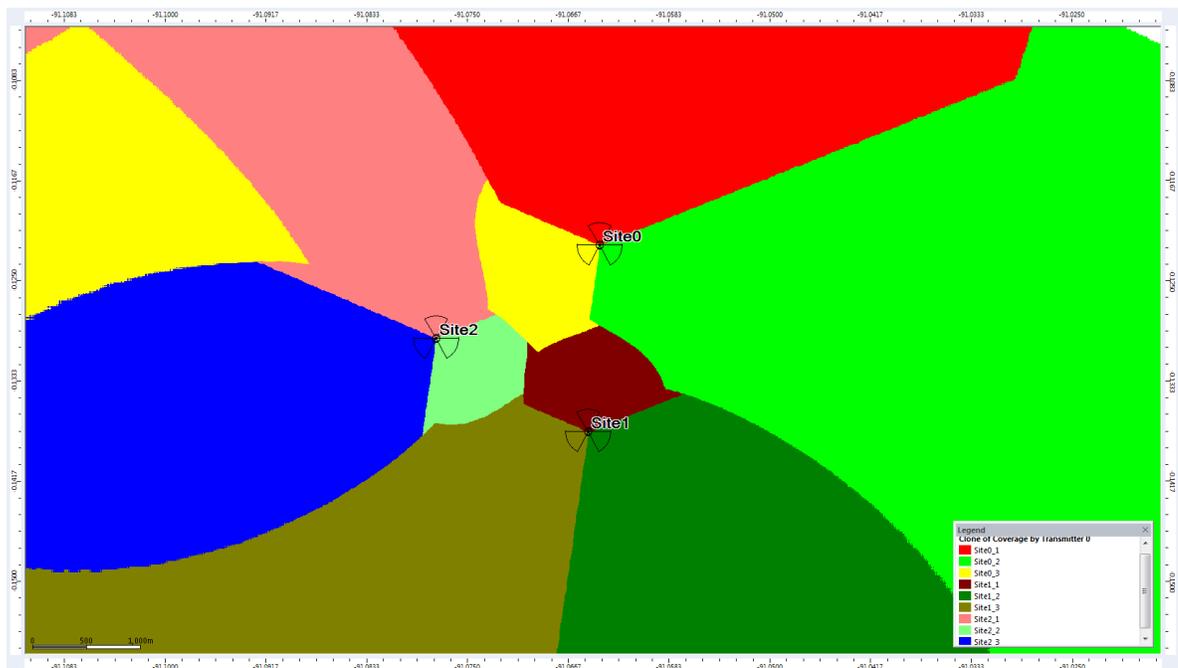


Figura 3.25: Cobertura por transmisor GSM

Niveles de señal (RxLev)

Con la predicción de Nivel de señal podemos identificar la distancia de cobertura de cada transmisor y con qué nivel la señal penetra en la zona objetivo. Cada uno de los colores representa diferentes niveles de señal que van desde los -65dBm hasta los -120dBm. A continuación se muestran ejemplo de predicción de niveles de señal.

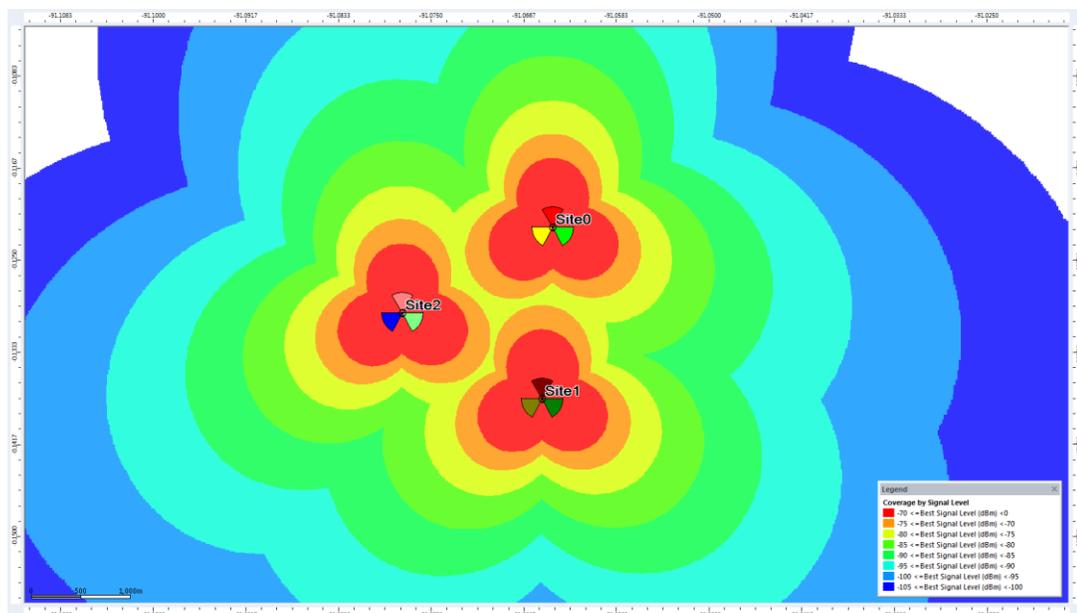


Figura 3.26: Cobertura por nivel de señal GSM

Diseño de una red UMTS en Atoll

A continuación la figura describe la ayuda de Atoll sobre el proceso de planeación y creación de una red UMTS.

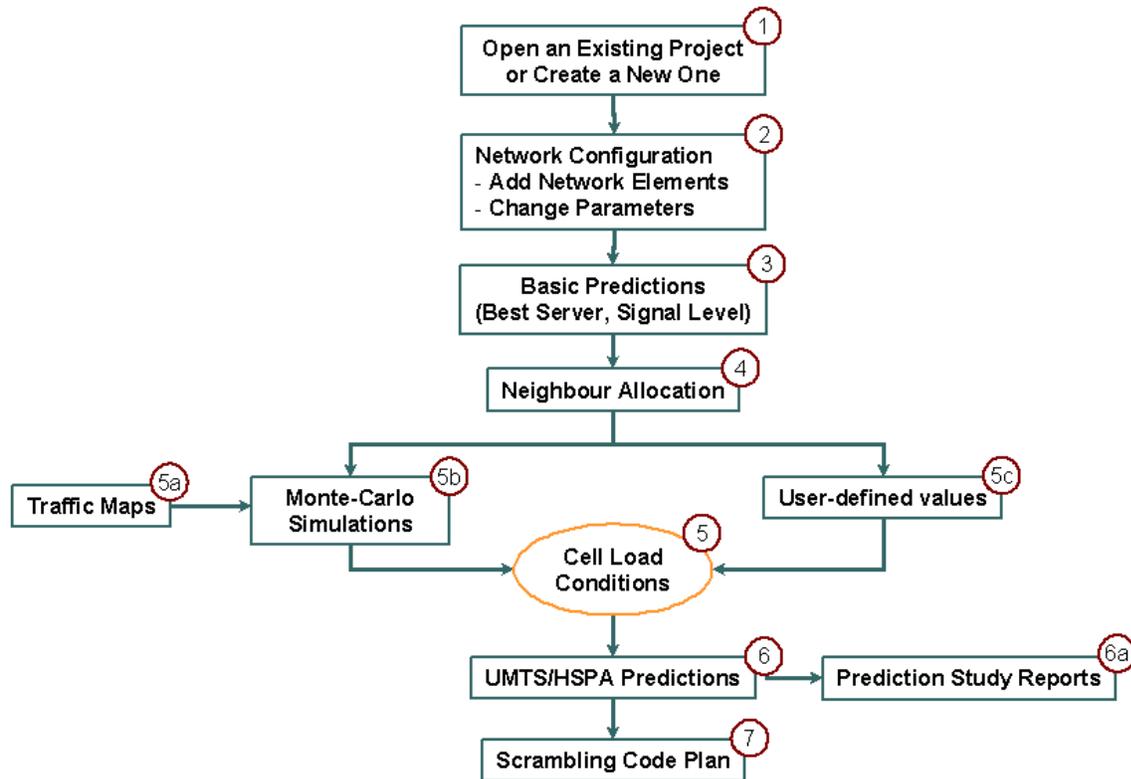


Figura 3.27: Proceso de planeación y creación de una red UMTS en Atoll

“Imagen tomada de la ayuda que proporciona el software Atoll®”

Integración de nodo b en proyecto UMTS de Atoll®

Para la creación de una nueva estación base UMTS en Atoll® al igual que en GSM son necesarios algunos elementos y ciertos parámetros de configuración que se presentan a continuación.

- **Descripción de sitio**

En la pestaña llamada *Sites* se puede configurar el nombre y la ubicación del nuevo nodo B ya que el software define nombre y ubicación por defecto la cual puede ser modificada mediante las coordenadas del terreno donde será instalado el nuevo nodo B. Ver **Figura 3.28**.

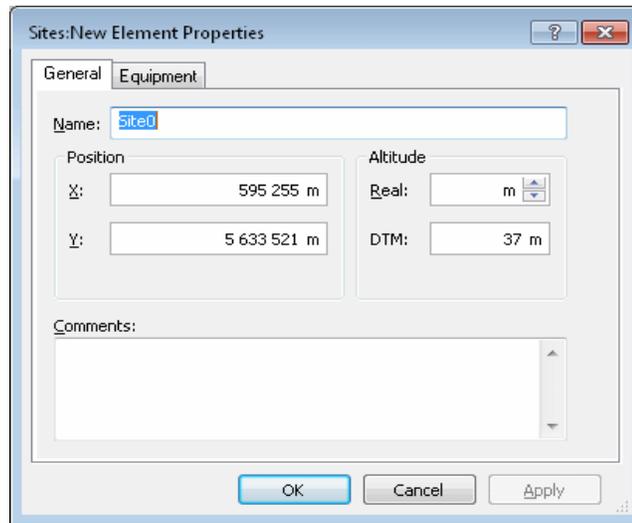


Figura 3.28: Interface propiedades de nodo b en Atoll

- Descripción del Transmisor

En la pestaña de Transmitters se encuentra toda la información acerca de la configuración de cada transmisor como identificación del mismo, potencia de transmisión, modelo de antena y configuraciones físicas. Para mayor ilustración ver **Figura 3.29**.

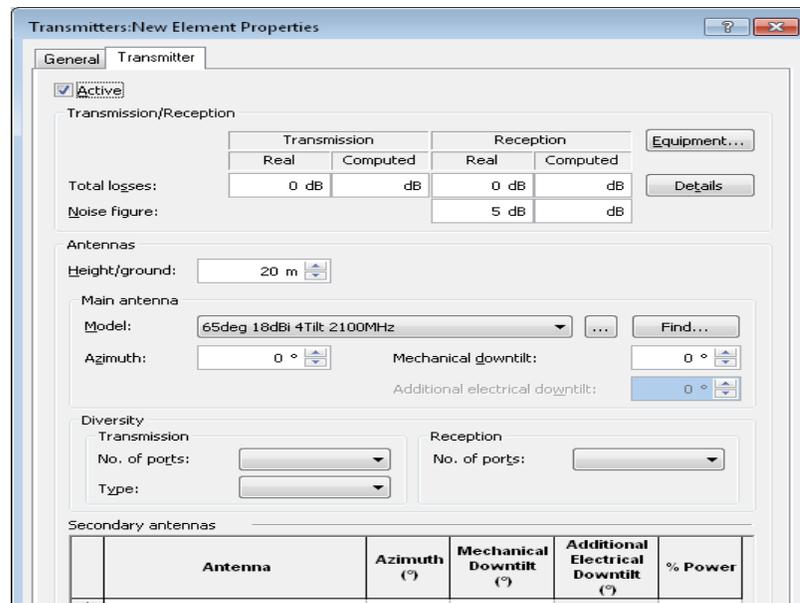


Figura 3.29: interface de propiedades del transmisor UMTS en Atoll

De igual forma que en GSM se pueden realizar configuraciones de equipos como el tipo de feeder que se utiliza y la longitud para considerar pérdidas en la señal causadas por el mismo. Ver **Figura 3.30**.

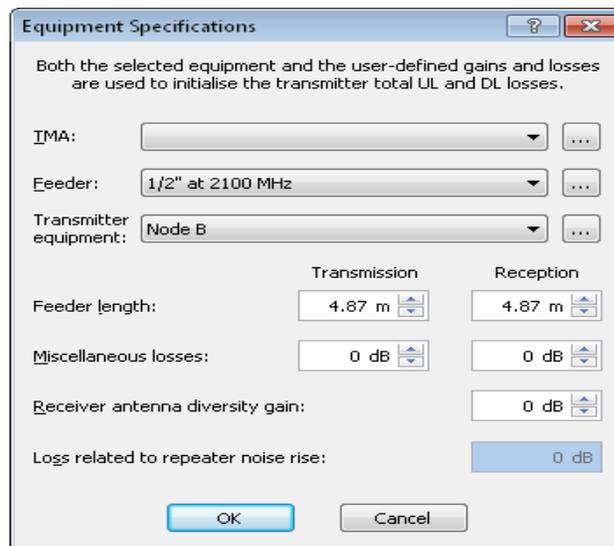


Figura 3.30: Configuración Feeder

El proceso anteriormente descrito muestra las configuraciones básicas de Atoll® para la creación de una nueva estación base UMTS, para mayor ilustración ver “Creating a UMTS Base Station”, en la sección de ayuda proporcionada por Atoll®.

En la **Figura 3.21** se ejemplifica la ubicación de los Nodo B UMTS en Atoll®.

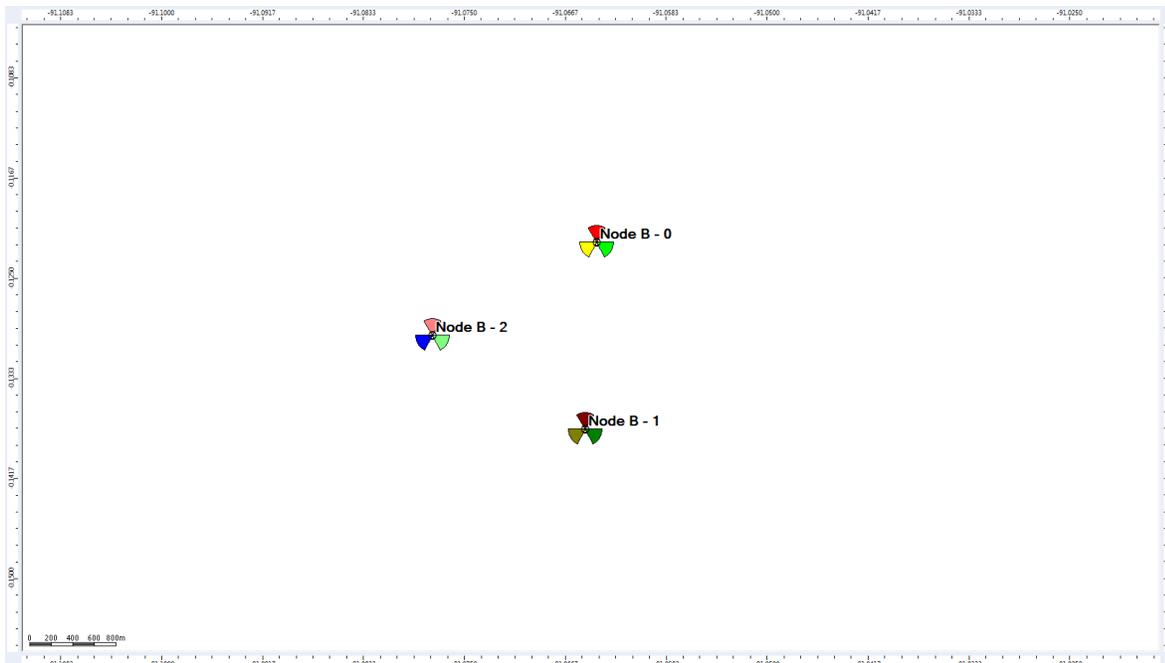


Figura 3.31: Visualización en mapa de Nodo B en un proyecto de Atoll® UMTS.

Generación de predicciones en Atoll® para nodo B UMTS.

Los distintos tipos de predicciones nos permiten observar el comportamiento del nuevo nodo B antes de ser instalada en el campo, ya que es muy importante realizar el proceso de optimización del nodo B antes de que entre en operación permanente.

Cobertura por Transmisor

En la predicción de cobertura por transmisor de manera similar que en la predicción de GSM se identifica que cada una de los transmisores de la estación base esté cubriendo la zona objetivo. Cada uno de los transmisores tiene un color asignado y la zona abarcada por cada uno de estos colores representa la zona que el transmisor está cubriendo con las configuraciones físicas establecidas y debido a que todos los trasmisores en UMTS operan en la misma frecuencia se trata de que no exista la unión de más de tres sectores en esta predicción y poder disminuir interferencia al conservar tres celdas servidoras en el Active Set .La siguiente Figura se muestran la predicción de cobertura por transmisor de nodo B.

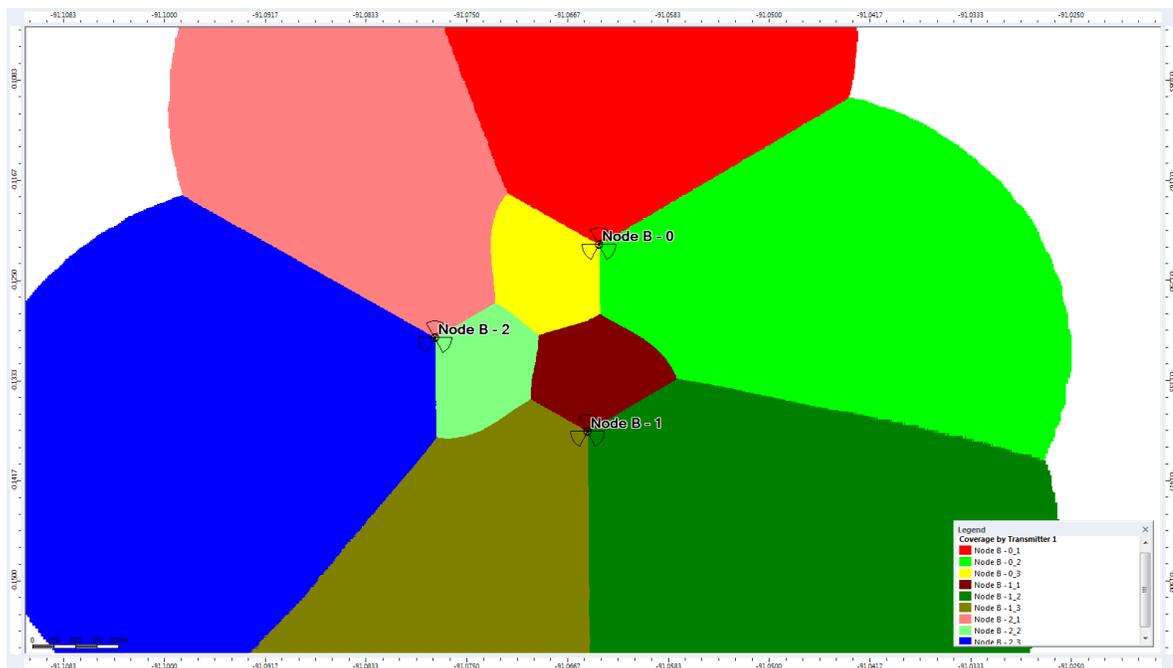


Figura 3.32: Cobertura por transmisor UMTS

Niveles de señal (RSCP)

La predicción de nivel de señal representa los niveles de la señal presentes en el área de cobertura de cada transmisor y cada estación base cubriendo una zona en específico. Cada uno de los colores representa diferentes niveles de señal que van desde los -65dBm hasta los -120dBm. A continuación se muestran las predicciones por cobertura de nivel de señal.

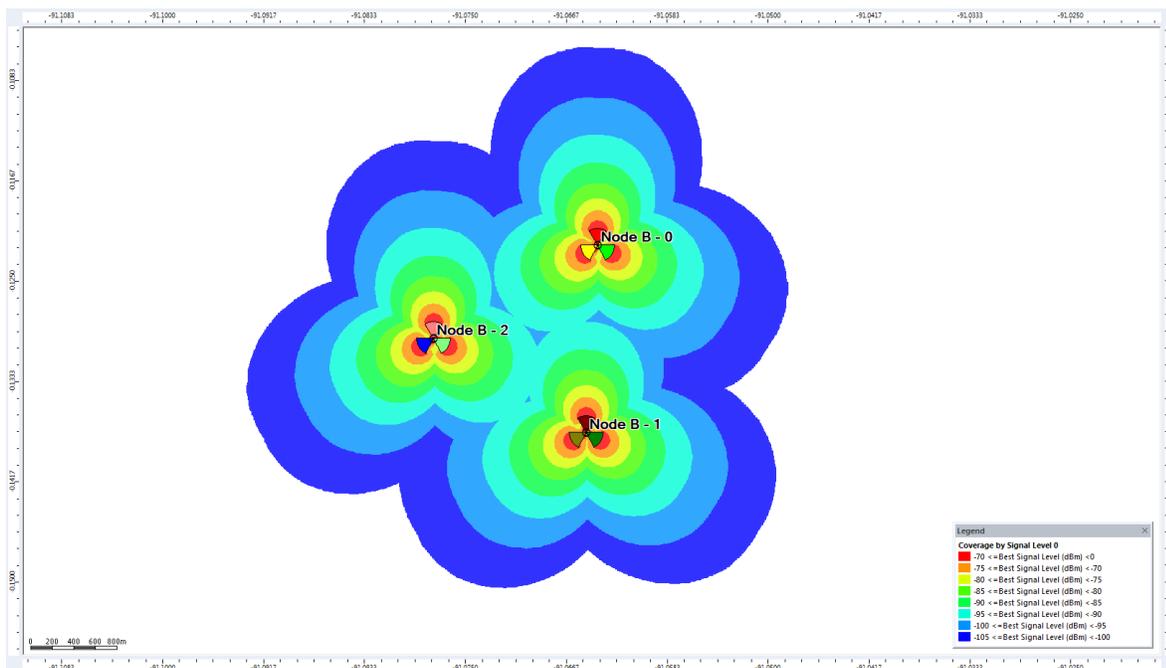


Figura 3.33: Cobertura por nivel de señal UMTS

Calidad de señal (E_c/I_0)

La predicción de calidad de señal permite determinar los niveles de la señal transmitida vs nivel de señal de ruido en la zona de cobertura de nodo B y de igual forma identificar los puntos donde existen degradaciones de la señal debido a interferencias generadas por nodos B vecinos y por la utilización de códigos idénticos o códigos adyacentes.

Para este tipo de predicción antes se genera un mapa de tráfico y se realiza las simulaciones Monte-Carlo esto para establecer un número aleatorio de usuarios dentro del área de análisis en los diferentes estados de conexión. A continuación se muestra el resultado de la simulación Monte-Carlo. Ver **Figura 3.34**.

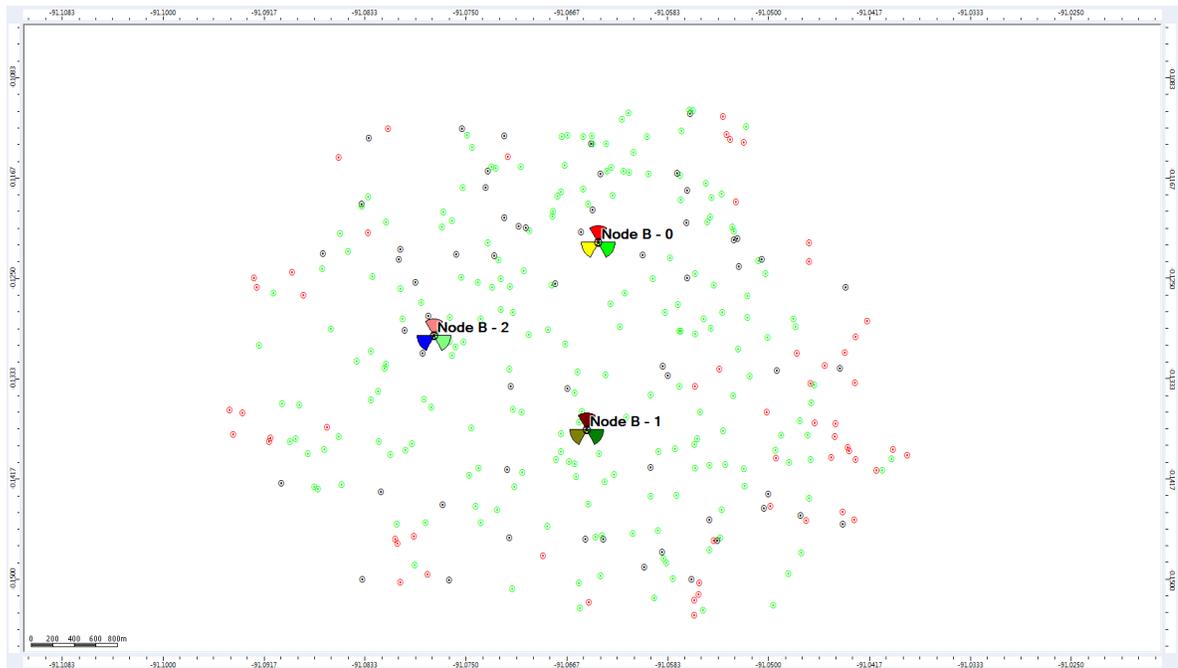


Figura 3.34: Simulación Monte-Carlo

Después de realizar la simulación Monte-Carlo se procede a realizar la predicción para el análisis de E_c/I_o . A continuación se muestra la predicciones de cálculo de E_c/I_o .

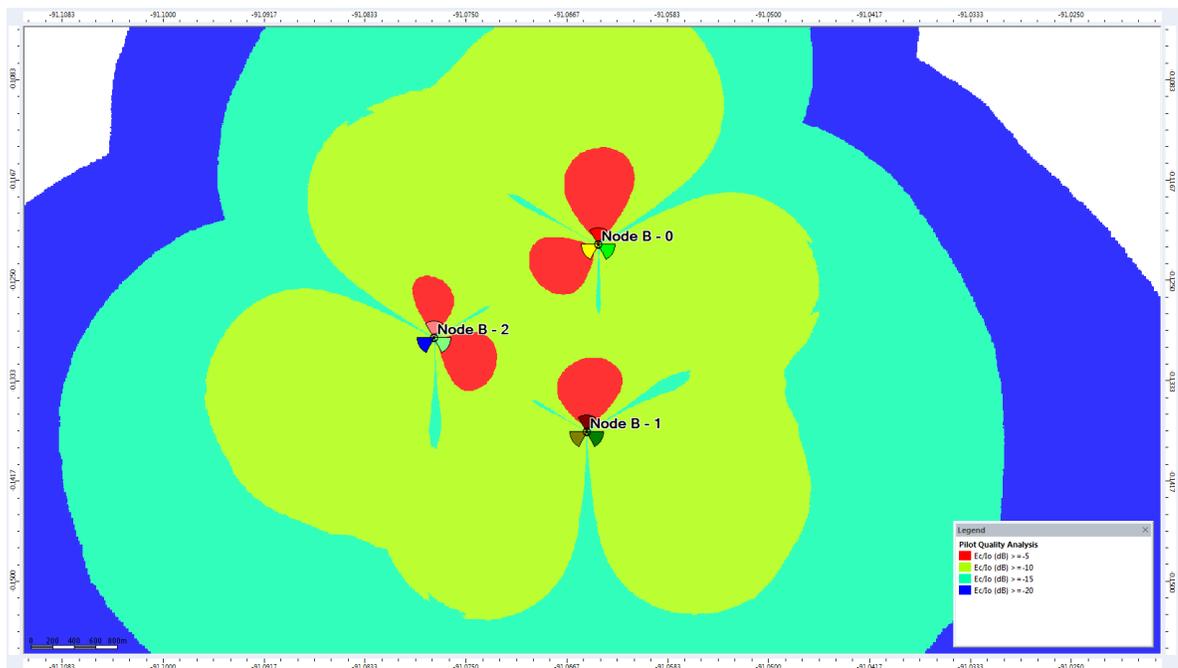


Figura 3.35: Predicción E_c/I_o en UMTS

4 Diseño de estación base en la comunidad de Pacayita

En este capítulo se abordan los posibles escenarios típicos de instalación de una estación base basada en tecnologías GSM/UMTS en Nicaragua abordando las consideraciones establecidas por la ley para la elección de la ubicación del nuevo emplazamiento.

Posteriormente se detallan los requerimientos ingenieriles RF de mayor importancia que se consideraron durante el diseño de una nueva estación base ubicada en la comunidad de Pacayita en el departamento de Masaya, mediante la creación del diseño por simulación, para ambas tecnologías usando el software de predicción Atoll®.

Finalizando con la descripción del proceso Initial Tuning, necesario para que el sitio sea integrado sin afectar el desempeño de la red existente.

4.1 Diseño de estación base y nodo b para ampliación de cobertura.

En este capítulo efectuaremos el diseño de una estación base y nodo B aplicando el proceso que se describe en el capítulo 3 “Metodología de diseño para estaciones bases/nodo B”.

Este diseño se realiza con un fin plenamente didáctico enfocándose más en el proceso del diseño RF de cobertura para los emplazamientos, y de carácter demostrativo se realiza el análisis de una situación real en una zona específica del territorio nacional, sin embargo no se cuenta con toda la información necesaria por lo que se asumirán ciertos puntos:

La existencia de una demanda considerable que requiere de los servicios de telefonía celular en la comunidad de Pacayita de la ciudad de Catarina en el departamento de Masaya.

También se asumirá que dicha demanda en la zona corresponde a un 40% de usuarios de telefonía móvil del operador para el cual se realiza el diseño.

4.2 Zona Objetivo para el Diseño

Como parte del presente trabajo se efectuará el análisis y diseño RF para la comunidad de Pacayita ubicada en la zona rural del departamento de Masaya. El diseño se efectuará para un “Operador A”, correspondiente a una empresa de telefonía celular que opera en Nicaragua, bajo la necesidad de los servicios que brinda su red celular y que los usuarios de dicha operadora requieren este servicio en la zona.

4.2.1 Descripción del escenario

Las estaciones base cercanas a la zona y con más posibilidades de brindar cobertura son los que se encuentran marcados en color amarillo, ver **Figura 4.1**.

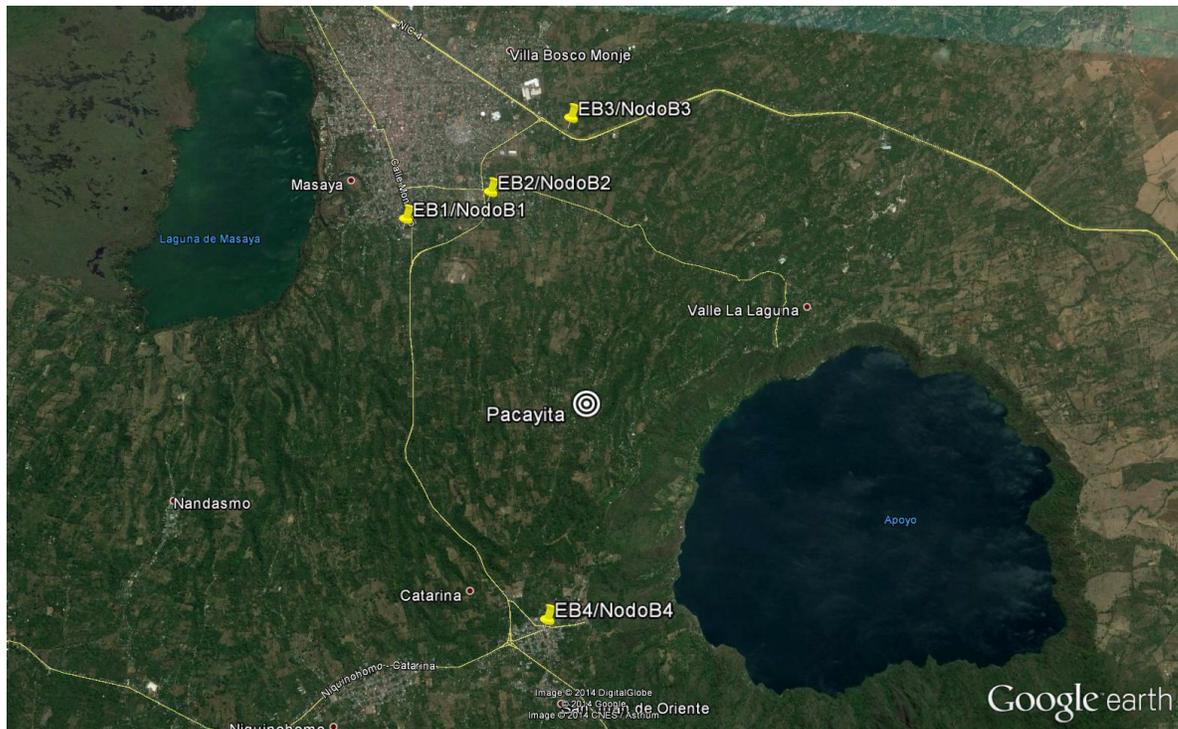


Figura 4.1: Zona de Pacayita y estaciones base más cercanas

Para la verificación del estado actual de cobertura se planificó un recorrido *drive test*, con el apoyo de la empresa Brightcomms, quien puso a disposición el recurso y equipos. Posterior a la recolección de las mediciones de campo se realiza post-procesamiento presentándose los siguientes resultados:

4.2.2 Resultado de recorrido Operador A.

Drive Test GSM

Como resultado del recorrido para la tecnología GSM se observa que los niveles de señal en la zona de análisis (Pacayita) son muy degradados, y son niveles con los que es restringido al servicio de llamada de voz.

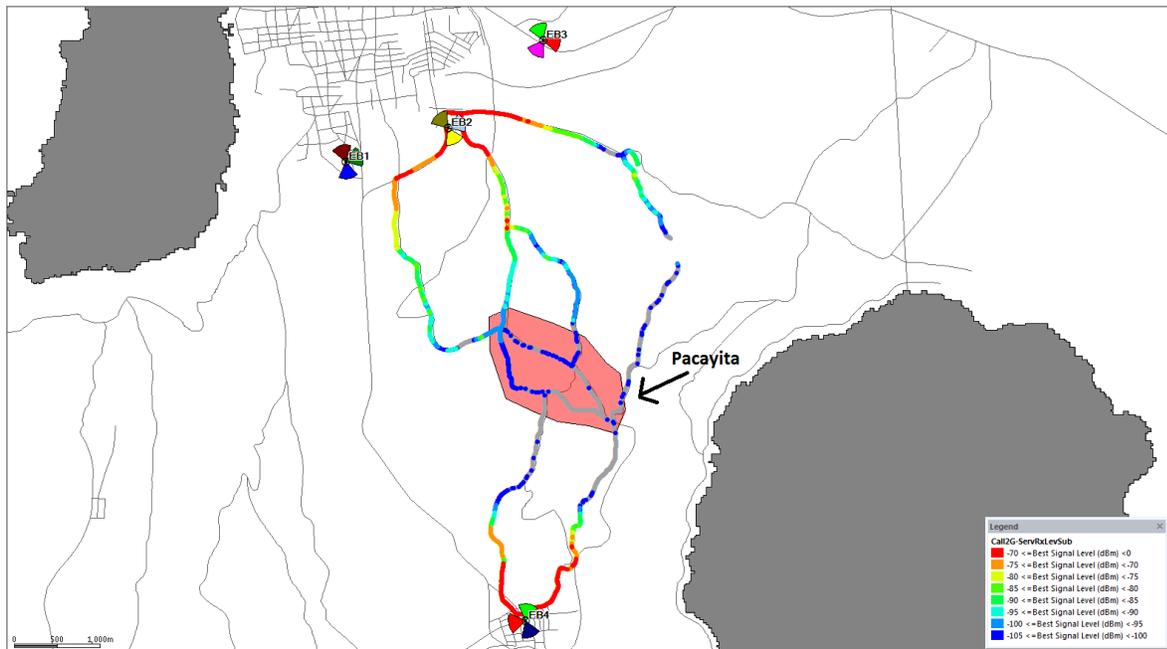


Figura 4.2: Recorrido Niveles de Señal de cobertura GSM, Operador A

Drive test WCDMA

Como resultado del recorrido para la tecnología WCDMA se observa que los niveles de señal en la zona de análisis (Pacayita) son muy degradados, y son niveles con los que es restringido al servicio de llamada de voz y mucho menos son los niveles adecuados para acceder al servicio de transmisión de datos (Internet).

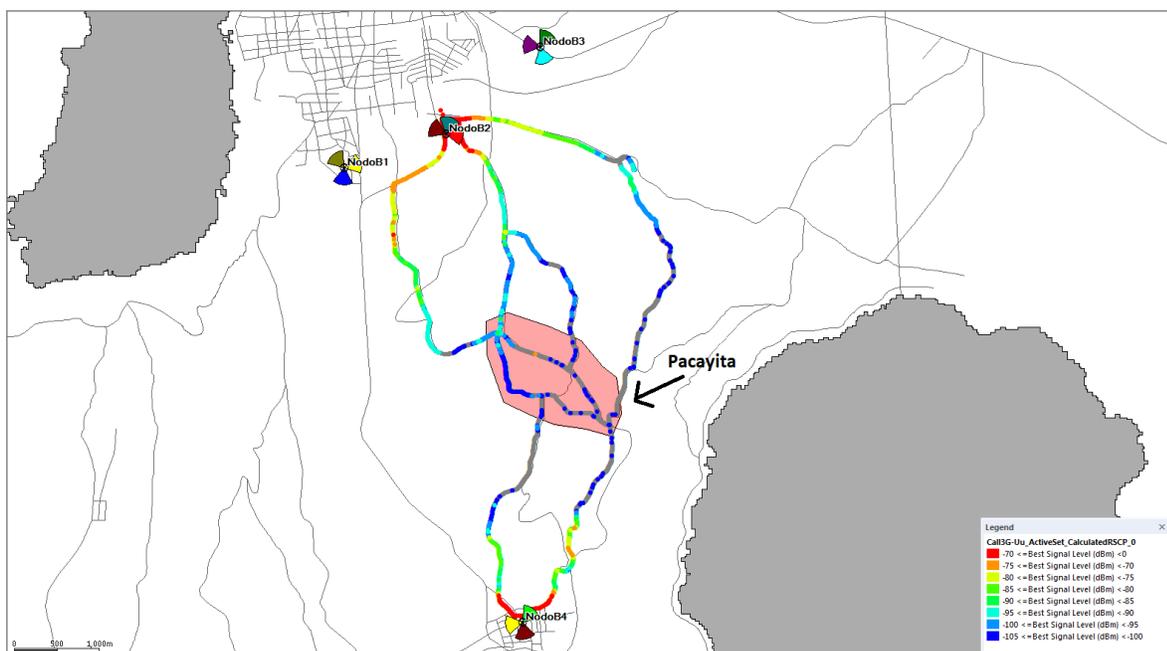


Figura 4.3: Recorrido Niveles de Señal de cobertura WCDMA, Operador A

4.2.3 Ajuste de proyecto de Atoll® en base a mediciones de campo

El proyecto de Atoll® se ha ajustado conforme a los niveles de señal recopilados durante las mediciones de campo, como resultado de la comparación entre varios modelos de radio propagación se ha determinado que el resultado de las simulación utilizando el modelo Okumura-Hata es el más aproximado a los datos recolectados en las mediciones de campo en conjunto con las configuraciones físicas que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Ajustes de parámetros proyecto Atoll® GSM

Sitio	Celda	altura	Azimut	Inclinación eléctrica	Inclinación mecánica
EB1	EB1X	42	345	7	0
EB1	EB1Y	42	70	9	0
EB1	EB1Z	42	170	8	0
EB2	EB2X	30	70	8	0
EB2	EB2Y	30	155	6	2
EB2	EB2Z	30	320	8	1
EB3	EB3X	35	100	6	4
EB3	EB3Y	35	210	6	2
EB3	EB3Z	35	340	5	0
EB4	EB4X	50	10	8	0
EB4	EB4Y	50	160	6	0
EB4	EB4Z	50	260	9	0

Resultados predicción niveles de señal ajustada a los niveles de señal del recorrido.

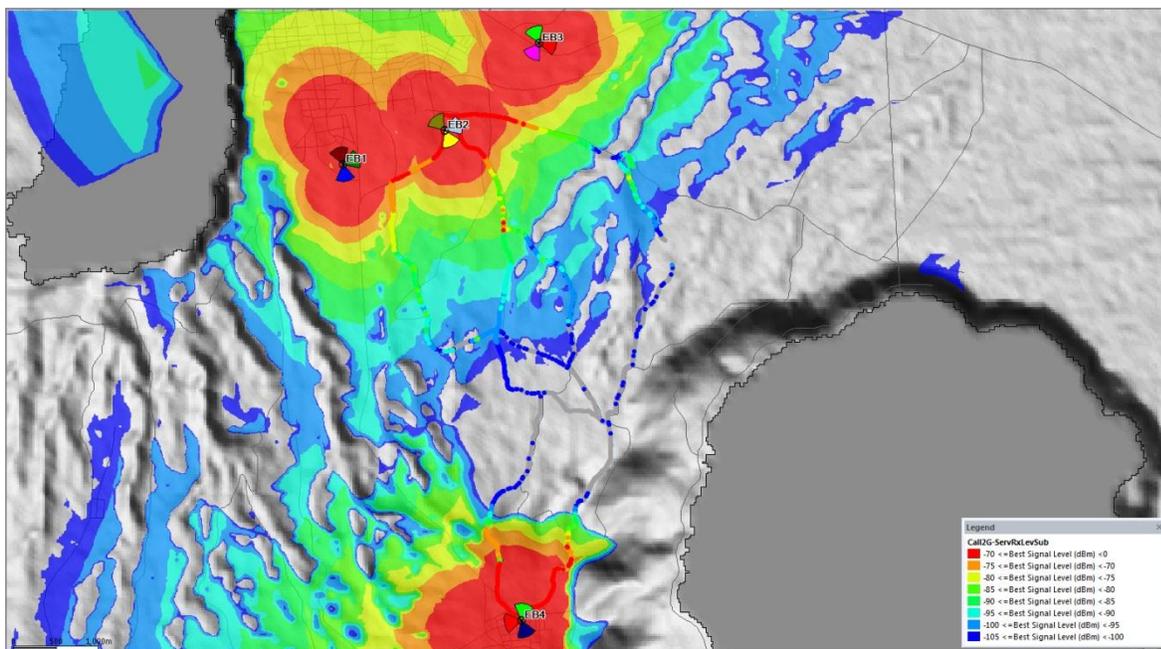


Figura 4.4: Resultado ajuste de mediciones al proyecto de Atoll® GSM

Tabla 4.2: Ajustes de parámetros proyecto Atoll® WCDMA

Sitio	Celda	altura	Azimut	Inclinación eléctrica	Inclinación mecánica
NodoB1	NodoB1A	35	75	5	2
NodoB1	NodoB1B	42	185	5	0
NodoB1	NodoB1C	35	320	7	2
NodoB2	NodoB2A	30	15	9	0
NodoB2	NodoB2B	30	95	8	4
NodoB2	NodoB2C	30	295	9	0
NodoB3	NodoB3A	56	35	7	3
NodoB3	NodoB3B	56	165	7	3
NodoB3	NodoB3C	36	280	5	3
NodoB4	NodoB4A	15	40	3	0
NodoB4	NodoB4B	25	170	10	0
NodoB4	NodoB4C	25	260	8	0

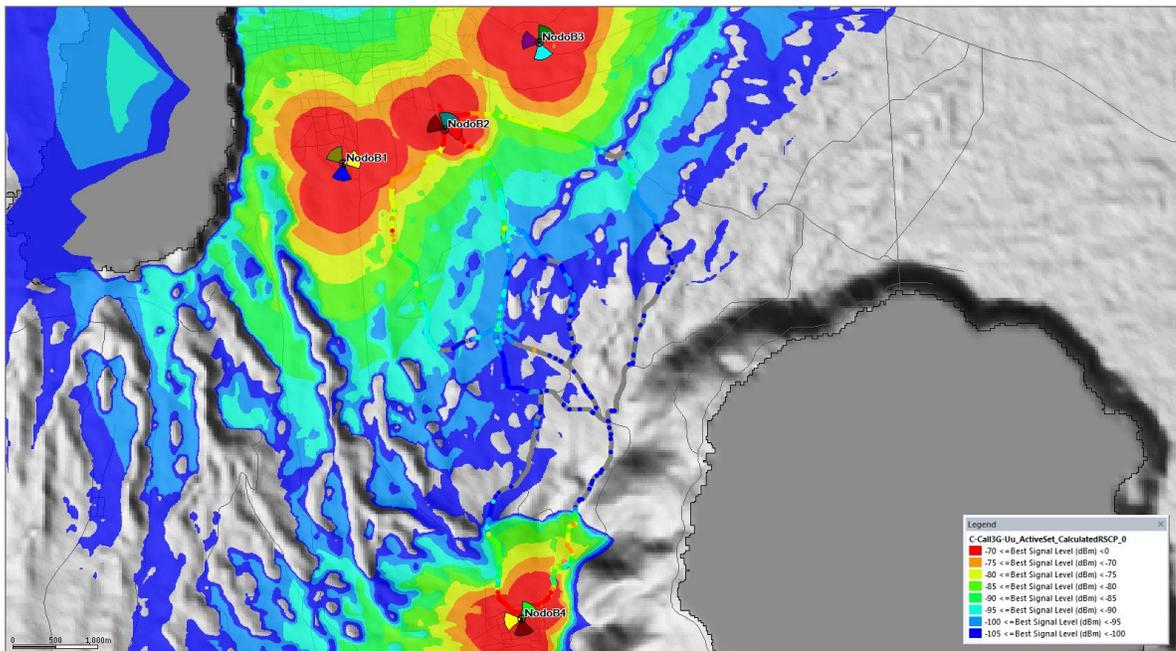


Figura 4.5: Resultado ajuste de mediciones al proyecto de Atoll® WCDMA

4.3 Selección de ubicación de coordenadas para el emplazamiento GSM/WCDMA.

Para la selección de ubicación de la nueva estación base y nodo b se eligió el punto que se muestra en la **Figura 4.6**, el cual brinda la ventaja de la existencia de estructuras de otra operadora en la zona, para un posible reuso de estas mediante un previo acuerdo con dicha operadora evitando así la construcción una estructura más. Para dicho emplazamiento existente han sido ubicadas en las siguientes coordenadas: **Latitud: 11.938321, Longitud: -86.069427.**

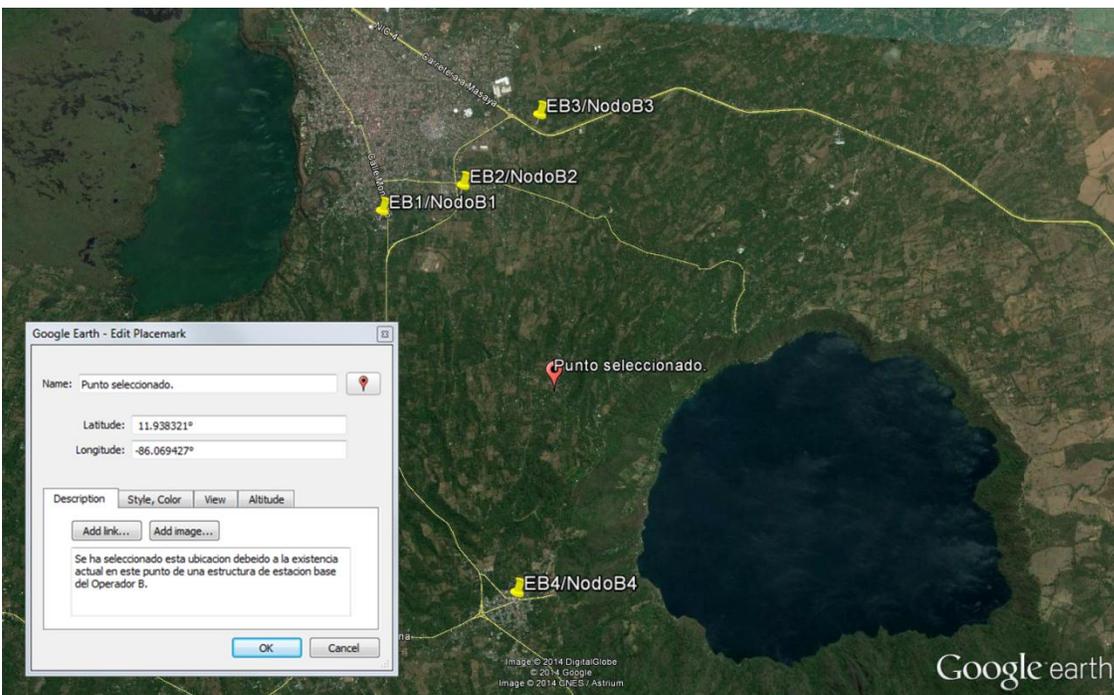


Figura 4.6: Ubicación del punto seleccionado para nuevo sitio.



Figura 4.7: Ubicación de la estructura respecto a lugares con criterios de restricción.

4.4 Recurso de Hardware y estructura de la estación base.

El crecimiento de la telefonía celular ha obligado a compañías de mercado a diseñar equipos (Hardware y Software) robustos que cumplan con las normas y exigencias de la tecnología y los estándares que fueron diseñados por entidades de investigación. Un diagrama de los elementos de una RBS/Nodo B se muestra en la **Figura 4.8.** [16]

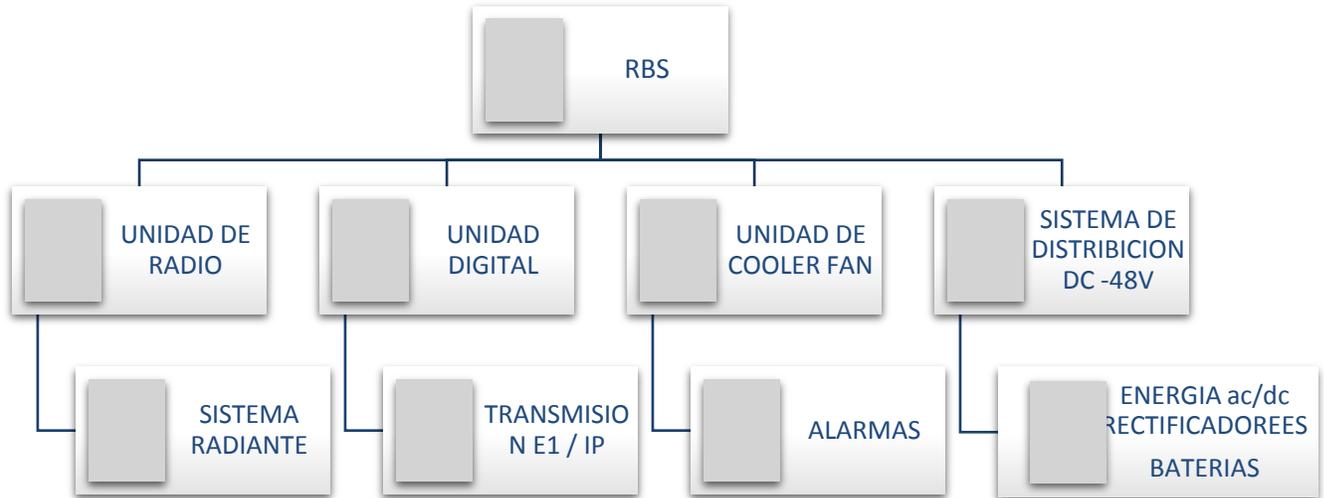


Figura 4.8: Diagrama de RBS.

Existen compañías como Ericsson, Nokia, Alcatel, ZTE, Huawei, entre otros que fabrican equipos para la transmisión celular, siendo Ericsson el fabricante de equipos para estaciones celulares que más es usado en el despliegue de redes celulares. En los últimos años las redes de telefonía móvil han experimentado considerables cambios en su estructura lógica y física desarrollando equipos más compactos gracias a los avances de la tecnología. La **Figura 4.9** muestra la distribución del hardware en una estación base/nodo B.

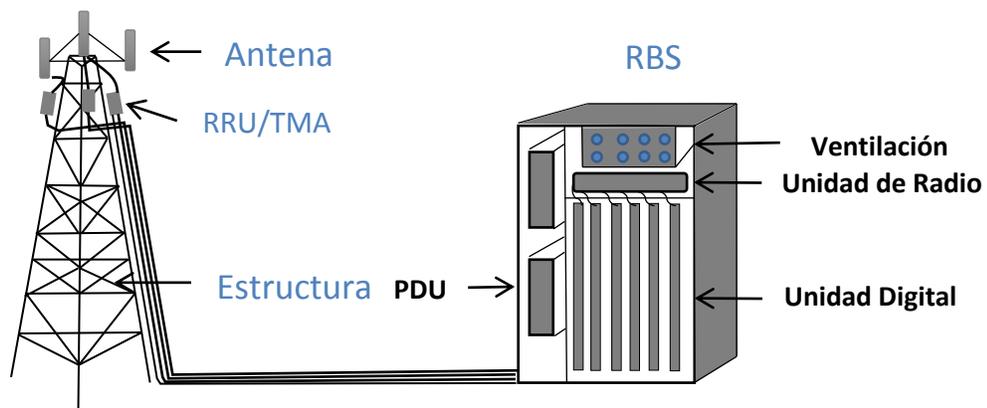


Figura 4.9: Esquema de distribución hardware.

4.4.1 Unidad de radio

Es la unidad encargada de generar la señal que contiene la información que es transmitida hacia las terminales móviles utilizadas por los usuarios en el área de cobertura de la celda, en la unidad de radio se alojan los canales de comunicación tanto de voz y datos, según la configuración del mismo se determina que cantidad de canales se utilizarán para cada servicio, esto se hace con la ayuda de la unidad digital en la integración.

4.4.2 Unidad digital

La unidad digital es la parte que codifica y decodifica las señales que provienen de los módulos RF, en la RBS existen una unidad digital de control el cual está conformado por procesadores, memorias, puertos de entrada y salida. Esta unidad también es la encargada de comunicar directamente con el controlador principal llamado BSC para GSM y RNC para UMTS.

Una RBS necesita un medio de comunicación de salida y entrada, dicho equipo se enlaza con una transmisión a nivel de E1, T1, IP, por medio de redes ópticas, radio eléctrica microondas, redes ATM, etc.

4.4.3 Sistema de ventilación

El calor generado por los equipos eleva la temperatura interna dentro de la RBS es por ello que necesita un sistema de para mantener una temperatura optima y por ende el buen funcionamiento de los equipos.

4.4.4 Sistema de alimentación -48 VDC o 24 VDC

La distribución de la alimentación de los equipos de radio y unidad digital se logra con una barra paralela que en ella se conectan los 24 o -48 VDC correspondientes para ser repartidos a cada elemento funcional, la unidad es conocida como PDU (Power Distribution Unit) el cual se equipa con *breaker* de distintas capacidades de amperaje y como protector de lo que se conecte.

4.4.5 Sistema Radiante

El sistema radiante está conformado por todos los dispositivos encargados de enviar y recibir la información de las ondas electromagnéticas. Los dispositivos que conforman este sistema son los siguientes:

- ✓ Antenas
- ✓ Jumpers o patch cord
- ✓ Guía de ondas
- ✓ Fibra Óptica
- ✓ Conectores
- ✓ Grounding kit aterrizaje de guías de ondas.
- ✓ Clamp de guías
- ✓ Cables de energía
- ✓ Cables de aterrizaje
- ✓ Amplificadores

El elemento principal del sistema radiante es la antena y como principal fabricante destaca Kathrein Inc., Scala Division © con su amplia gama de producto de modelos de antenas.

4.4.6 Sistemas de alarmas

Para las RBS es necesario mantener un control de las alarmas y mantener el correcto funcionamiento de los equipos; esto ayudara a realizar un buen mantenimiento e identificar las causas de posibles fallas las cuales deberán ser atendidas con urgencia.

Alarmas internas: Muestran el funcionamiento de los equipos activos de la RBS, fallas de tarjetas, problemas de transmisión, des configuración de dispositivos RF, control del clima dependiendo de modelo del gabinete, etc.

Alarmas externas: Este tipo de alarmas son ajenas a la RBS pero que intrínsecamente afectan al funcionamiento de la misma por ejemplo: fallas del suministro eléctrico fijo o fallas en el suministro eléctrico de respaldo.

4.4.7 Estimación de costos de instalación de estación base/nodo b.

La estimación de costo de los equipos, instalación y estructura tienen un aproximado inicial de 250,932 US\$ para una estación base GSM, y para un nodo B corresponde un costo inicial 245,932 US\$ para mayor información se encuentra en Anexo D: Estimación de costos para instalación y equipos para una estación base (GSM/UMTS).

4.5 Diseño de emplazamiento GSM/WCDMA para escenario presente en la comunidad de Pacayita en la zona rural del departamento de Masaya.

4.5.1 Evaluación de la geografía del entorno.

A continuación se observa el perfil de elevación de norte-sur en la zona de Pacayita.

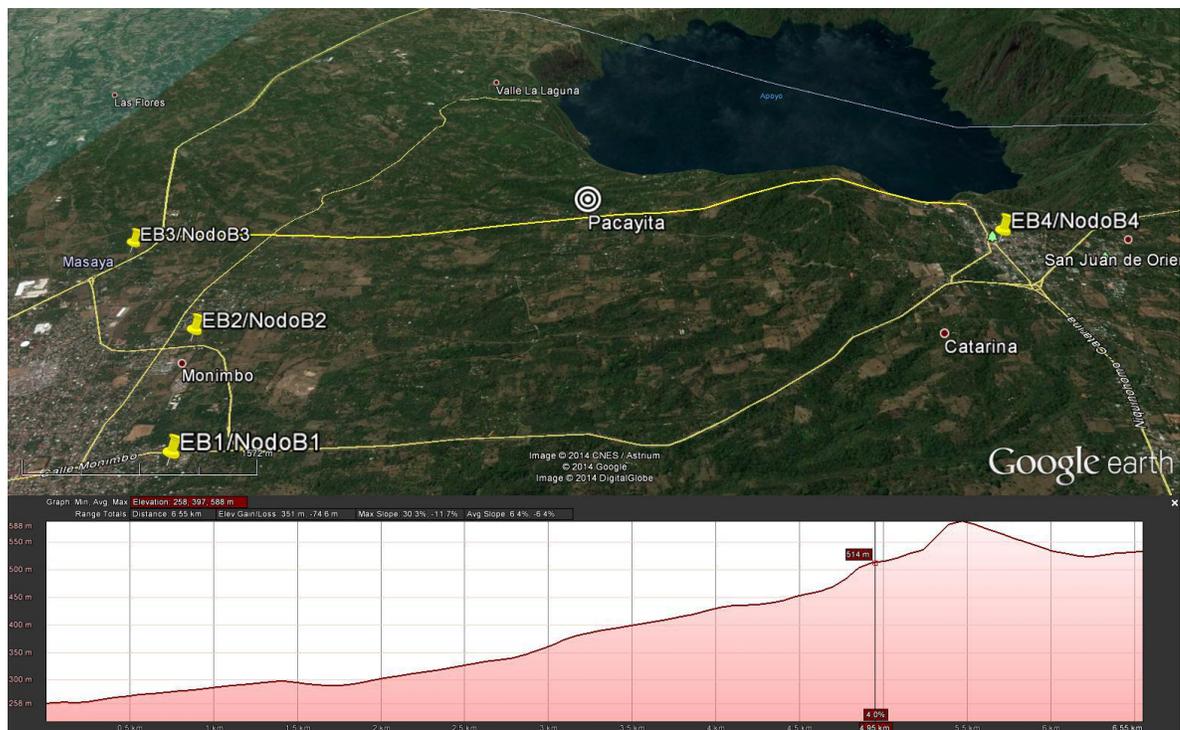


Figura 4.10: Perfil de elevación norte-sur en pacayita

La siguiente figura presenta el perfil de elevación este-oeste en Pacayita

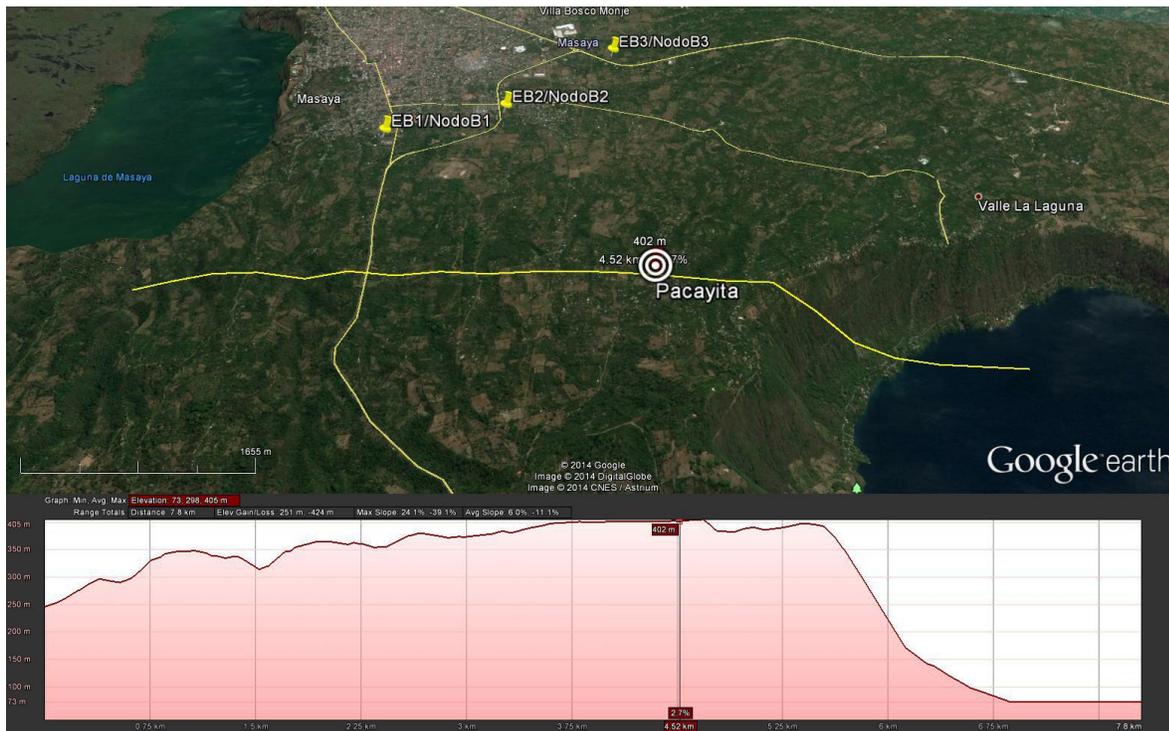


Figura 4.11: Perfil de elevación este-oeste en pacayita

En ambos perfiles de elevación se observa que la zona el alta, en el perfil norte-sur se observa una pendiente de inclinación negativa desde Pacayita hacia el norte.

En el caso del perfil de elevación este-oeste muestra la elevada zona, en la zona este se observa más evidente la elevación respecto a la laguna de apoyo.

4.5.2 Estimación de tráfico.

Para estimar la cantidad de suscriptores para una estación base se calcula en base a un porcentaje de la población a la cual se le brindará el servicio, se realiza el cálculo en base a la cantidad de población que comprenderá el área de cobertura para la cual se realiza el diseño, dentro de dicha área se encuentran las comarcas de: Pacayita, El túnel y parte de las comarcas de Diriomito y El valle de la laguna, por lo que se asumirá en base a la información del instituto nacional de información de desarrollo (INIDE) que la población dentro del área de cobertura es aproximadamente de 5000 personal [26]. Se estima que en Nicaragua la densidad de usuarios de telefonía móvil corresponde al 81.9% por cada 100 personas, siendo que en Nicaragua operan 2 empresas de telefonía celular se asumirá la distribución de los usuarios de telefonía celular de 50% para cada operador. Por consiguiente se calcula que la cantidad de suscriptores del operador para el que se realiza el diseño corresponde a 2047 usuarios. De tal manera que la cantidad de trafico de llamada que generaran esos 2047 usuarios es $A = (2047 * 76s) / 3600s = 40.94E$

Mediante Erlang B y con una probabilidad de bloqueo de 2% se calcula que para 40.94Erlangs la cantidad de líneas requeridas por la estación base es 51 líneas las que al dividir entre los 3 sectores de la estación base resultarían a 17 líneas por sector, a partir de esto se puede calcular el número de portadoras necesarias por sector para manejar dicho tráfico, cada portadora permite transmitir en 7 canales físicos o ranuras de tiempo usados para tráfico (ya habiendo reservado la ranura de tiempo destinado para control). La cantidad de portadoras necesarias para las 17 líneas requeridas es igual a la cantidad de líneas entre 7 (correspondiente a los 7 TS usados para tráfico), para este caso el número de portadoras a usar serán 3 por sector.

En el caso de la estimación de tráfico de UMTS es más complejo ya que estará en dependencia de factores como calidad de enlace velocidades de descargas o *bits rates*, factor de ortogonalidad y factor de carga, para más detalle revisar capítulo 3, sección de análisis de capacidad y tráfico UMTS.

4.5.3 Link Budget

Mediante el link Budget o presupuesto de enlace, se puede establecer el valor máximo de pérdidas que el sistema puede permitir respecto a la potencia de transmisión para brindar el acceso a los servicios. El cálculo de link Budget en GSM es diferente a WCDMA debido a que este incluye consideraciones de servicio (rate) y de pérdidas que en GSM no se presentan.

A continuación se muestran ejemplos de cálculos de link Budget en GSM y en WCDMA respectivamente:

GSM

Tabla 4.3: Elemento para el cálculo de Link Budget para una sistema GSM

Uplink

<u>Estación móvil</u>	<u>Unidades</u>	<u>Valor</u>	
Potencia de transmisión RF	dBm	33	A
Perdidas por cable	dB	0	B
Ganancia de antena transmisora	dBi	0	C
Pico PIRE	dBm	33	D=A-B+C
<u>Estación Base</u>	<u>Unidades</u>	<u>Valor</u>	
Ganancia de antena receptora	dBi	16	E
Diversidad de recepción	dB	4	F
Perdidas por despolarización	dB	0	G
Amplificador de bajo ruido	dB	5	H
Perdidas combinadores y equipos	dB	2.5	I
Perdidas por cable	dB	3	J
Sensibilidad de la BTS	dBm	-106	K
Mínimo Nivel de recepción	dBm	-125.5	L=-E-F+G-H+I+J+K
Perdidas Isotrópicas de trayecto	dB	158.5	M=D-L

Downlink

<u>Estación Base</u>	<u>Unidades</u>	<u>Valor</u>	
Potencia de transmisión RF	dBm	43	A
Perdidas de combinador y equipos	dB	2.5	B
Perdidas de cable	dB	3	C
Ganancia de antena transmisora	dBi	16	D
Pico PIRE	dBm	53.5	E=A-B-C+D
<u>Estación móvil</u>	<u>Unidades</u>	<u>Valor</u>	
Ganancia de antena receptora	dBi	0	F
Perdidas por cable	dB	0	G
Sensibilidad de MS	dBm	-105	H
Mínimo Nivel de recepción	dBm	-105	I=-F+G+H
Perdidas Isotrópicas de trayecto	dB	160.5	J=E-I

“Fuente de apoyo ‘RADIO INTERFACE SYSTEM PLANNING FOR GSM/GPRS/UMTS’, Lempiäinen, J., & Manninen”

UMTS

Para el siguiente ejemplo de cálculo de Link Budget de WCDMA se toman las siguientes consideraciones:

- Bit Rate en uplink: 64kbps, Bit Rate en downlink: 144kbps
- Estimación de carga en UPLINK: 30% , Estimación de carga en downlink: 50%
- 1W de potencia en la salida de BTS reservada para conexiones

Tabla 4.4: Elemento para el cálculo de Link Budget para una sistema UMTS.

Información General		Unidades	
Frecuencia	MHz	2100	
Chip Rate	Mcps	3.84	
Temperatura	K	293	
Constante de Boltzman	J/K	1.38E-23	
Información de servicio		Unidades	
		Urbano	
		UPLINK	DOWNLINK
Carga	%	30	50
Bit Rate	kbps	64	144
Recepción		unidades	UPLINK
Densidad de ruido térmico	dBm/Hz		DOWNLINK
Figura de ruido del receptor	dB	-173.93	-173.93
densidad de ruido del receptor	dBm/Hz	3	6
Potencia de ruido	dBm	-170.93	-167.93
Margen de Interferencia	dB	-105.09	-102.09
Potencia de interferencia del receptor	dBm	1.55	3.01
Ruido total (térmico + interferencia)	dBm	-108.77	-102.09
Ganancia de proceso	dB	-103.54	-99.08
Eb/No Requerido	dB	17.78	14.26
sensibilidad de receptor	dB	5	4
Ganancia de antena Receptora	dBm	-116.32	-109.34
Perdidas por cable	dB	18	0
Ganancia de amplificador de bajo ruido	dB	4	0
Ganancia por diversidad de Antena	dB	0	0
Ganancia por diversidad de Soft Handover	dB	0	0
Power Control Head Room	dB	3	3
Potencia de señal requerida	dB	0	0
intensidad de campo	dBm	-133.32	-112.34
	dBμV/m	10.32	31.31
Transmisión		Unidades	UPLINK
Potencia de transmisión por conexión	W		DOWNLINK
Potencia de transmisión	dBm	0.126	1
Perdidas por cable	dB	21	30
Ganancia de antena transmisora	dB	0	4
Pico PIRE	dB	0	18
Perdidas Isotrópicas de trayecto	dBm	21	44
	dB	154.32	156.34

“Fuente de apoyo ‘RADIO INTERFACE SYSTEM PLANNING FOR GSM/GPRS/UMTS’, Lempiäinen, J., & Manninen”

4.5.4 Predicciones con el nuevo sitio integrado en Atoll GSM/WCDMA

En las siguientes predicciones se muestra la cobertura en la zona con el antes y después de la integración del nuevo sitio. Las imágenes que se muestran a continuación corresponden a las predicciones del sistema GSM cobertura por nivel de señal (RxLev), cobertura por transmisor, y para el sistema WCDMA se presentarán las coberturas por nivel de señal (RSCP), cobertura por transmisor y cobertura por calidad de señal (Ec/Io). Se ha tenido en consideración las pendientes en la zona y mediante la evaluación de las predicciones se han definido las configuraciones físicas de para los emplazamientos GSM y UMTS. En las siguientes tablas se observan los parámetros físicos definidos durante el diseño:

Tabla 4.5: Configuraciones físicas del nuevo sitios GSM

Sitio	Celda	Altura (m)	Azimut	Inclinación eléctrica	Inclinación mecánica	Potencia (dBm)
EB5	EB5X	30	30	7	0	43
EB5	EB5Y	30	210	2	0	43
EB5	EB5Z	30	300	6	0	43

Tabla 4.6: Configuraciones físicas del nuevo nodo B WCDMA

Nodo B	Celda	Altura (m)	Azimut	Inclinación eléctrica	Inclinación mecánica	Potencia piloto	Potencia total de transmisión
NodoB5	EB5A	28	30	8	0	33	43
NodoB5	EB5A	28	210	5	0	33	43
NodoB5	EB5C	28	300	7	0	33	43

En el caso del diseño WCDMA se observará que con la implementación del sitio también se sugiere una optimización del sector NodoB2Y para mejorar su cobertura y distribuir adecuadamente la carga de usuarios y la dominancia de los sectores NodoB2Y, NodoB1X y NodoB5Z (tercer sector del nuevo Nodo b), para ello se realizó cambio de inclinación mecánica pasando de 4° a 0° es decir aplicando *up-tilt*, esto propició a mejorar la cobertura de NodoB2Y y por ende mejorar la calidad de la señal de los sectores vecino que presuntamente por tener aplicado mucho *down-tilt* producía degradación por interferencia a sus celdas vecinas.

Cobertura por nivel de señal (RxLev) - GSM

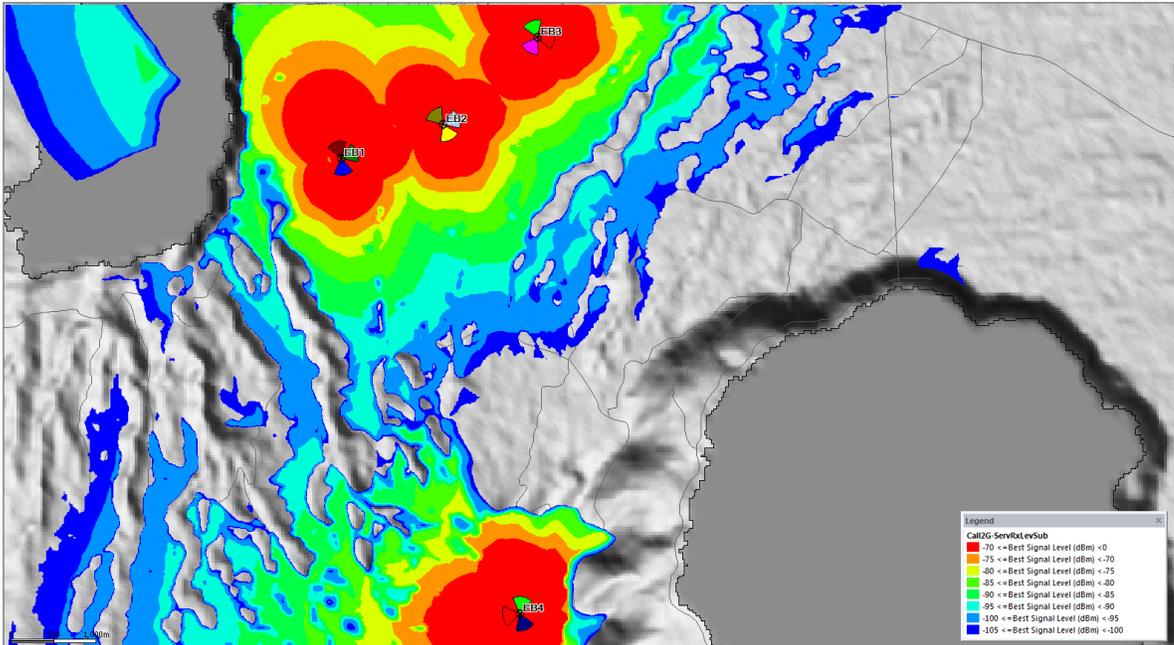


Figura 4.12: Predicción cobertura por nivel de señal - antes.

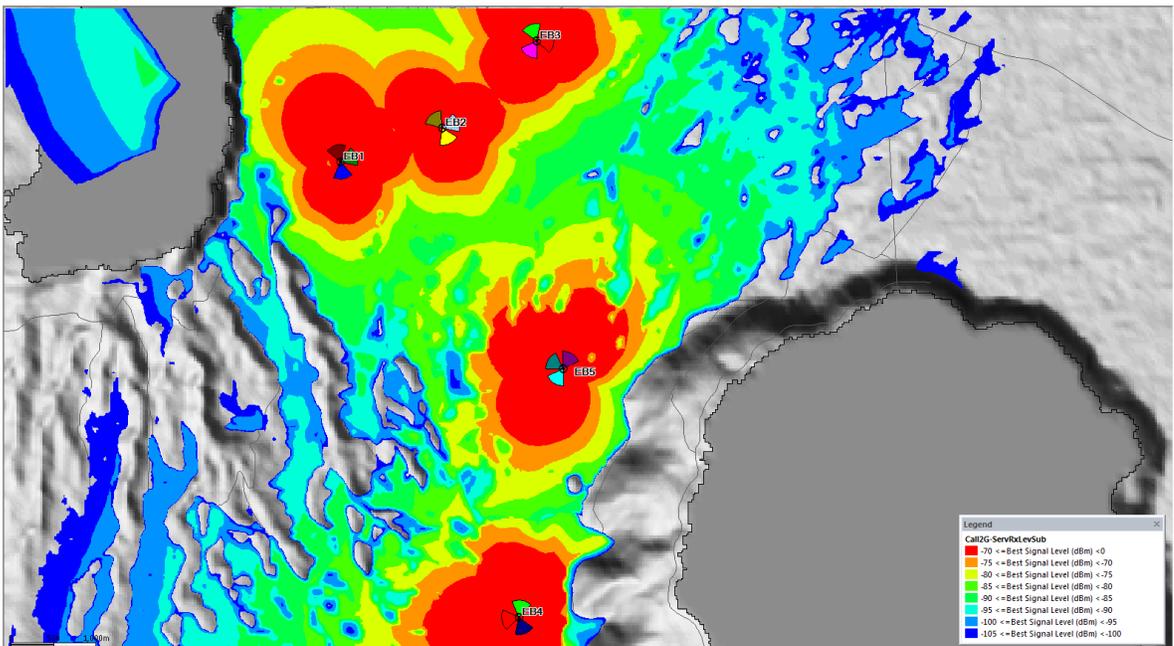


Figura 4.13: Predicción cobertura por nivel de señal - después.

Cobertura por transmisor - GSM

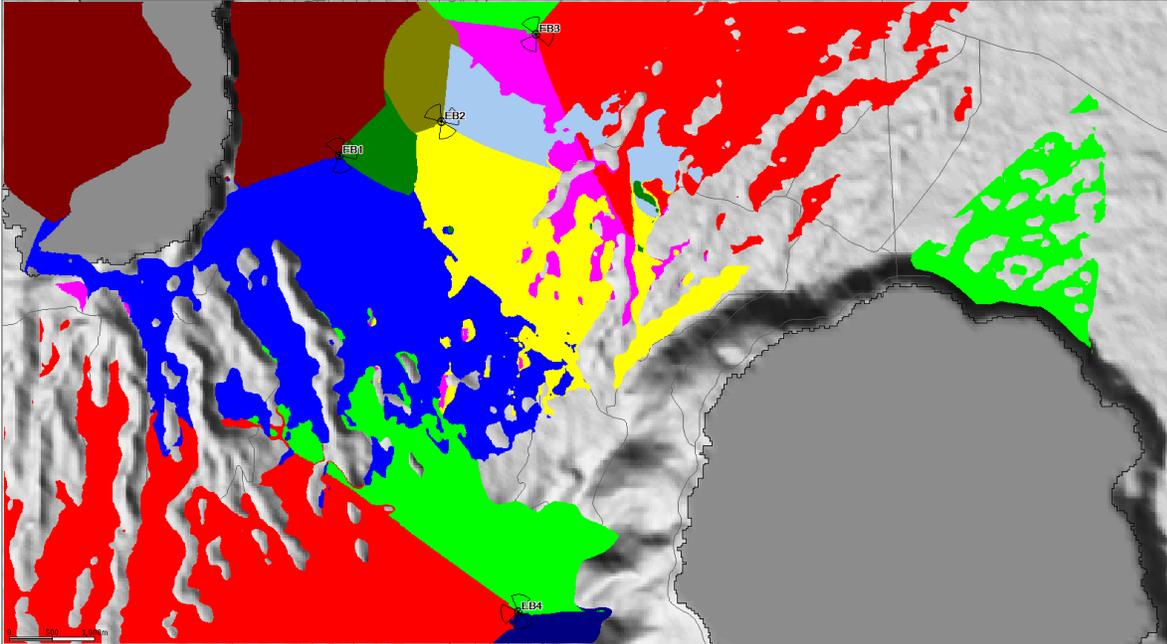


Figura 4.14: Predicción cobertura por transmisor GSM - antes.

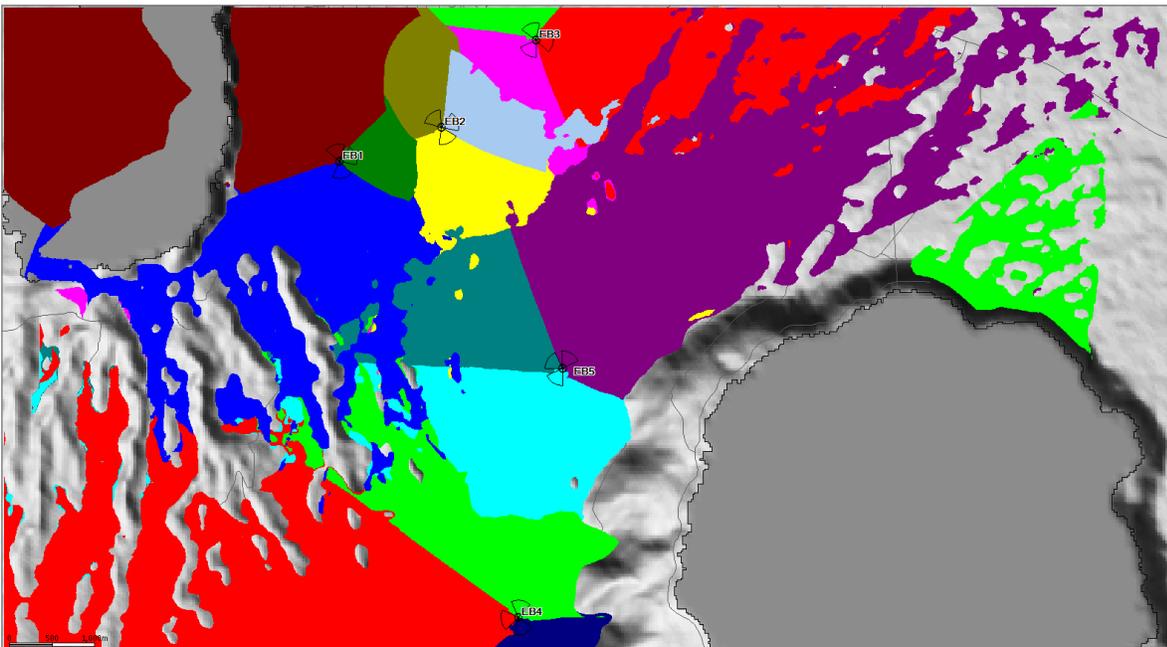


Figura 4.15: Predicción cobertura por transmisor GSM - después.

Cobertura por nivel de señal (RSCP) - WCDMA

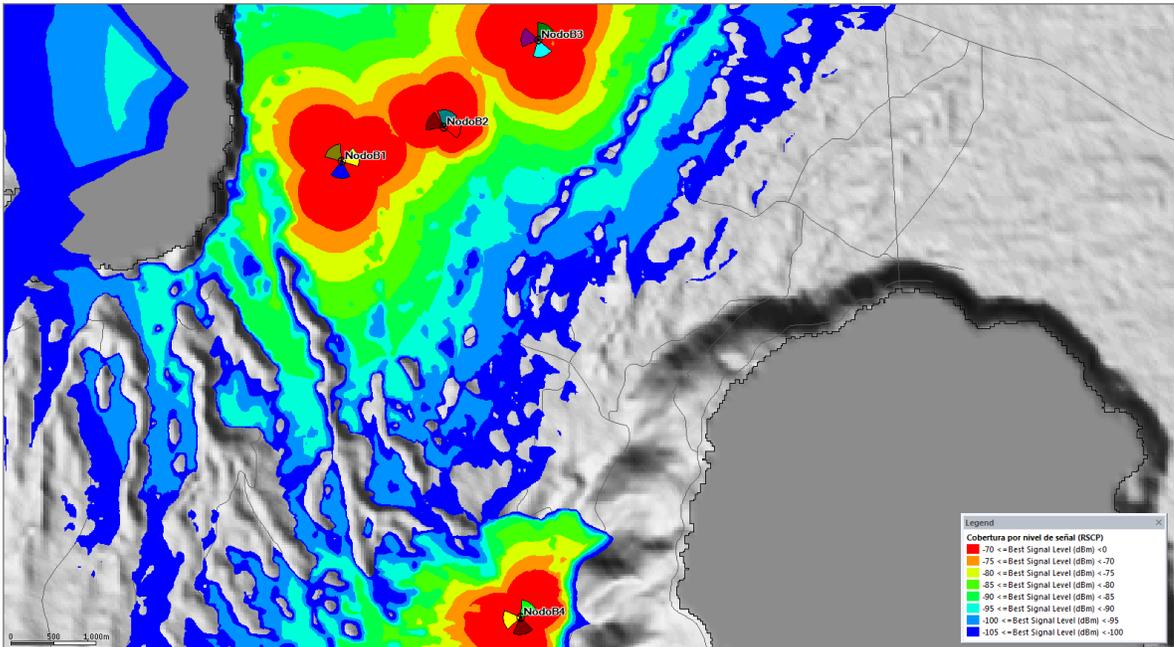


Figura 4.16: Predicción cobertura por nivel de señal WCDMA - antes.

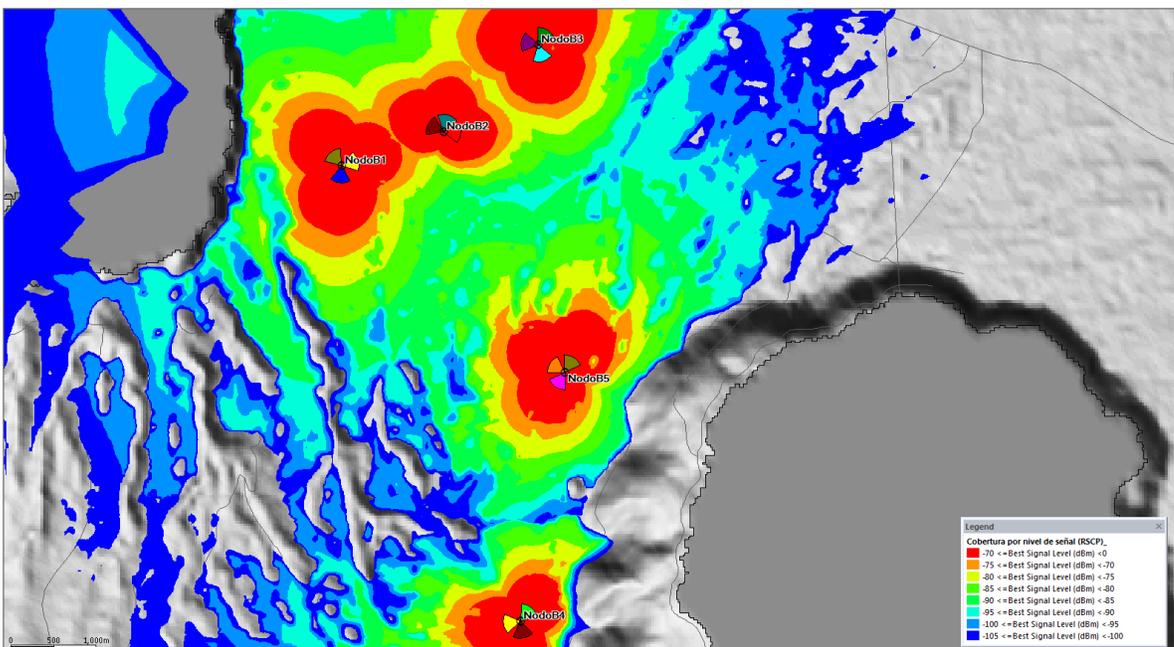


Figura 4.17: Predicción cobertura por nivel de señal WCDMA - después.

Cobertura por transmisor - WCDMA

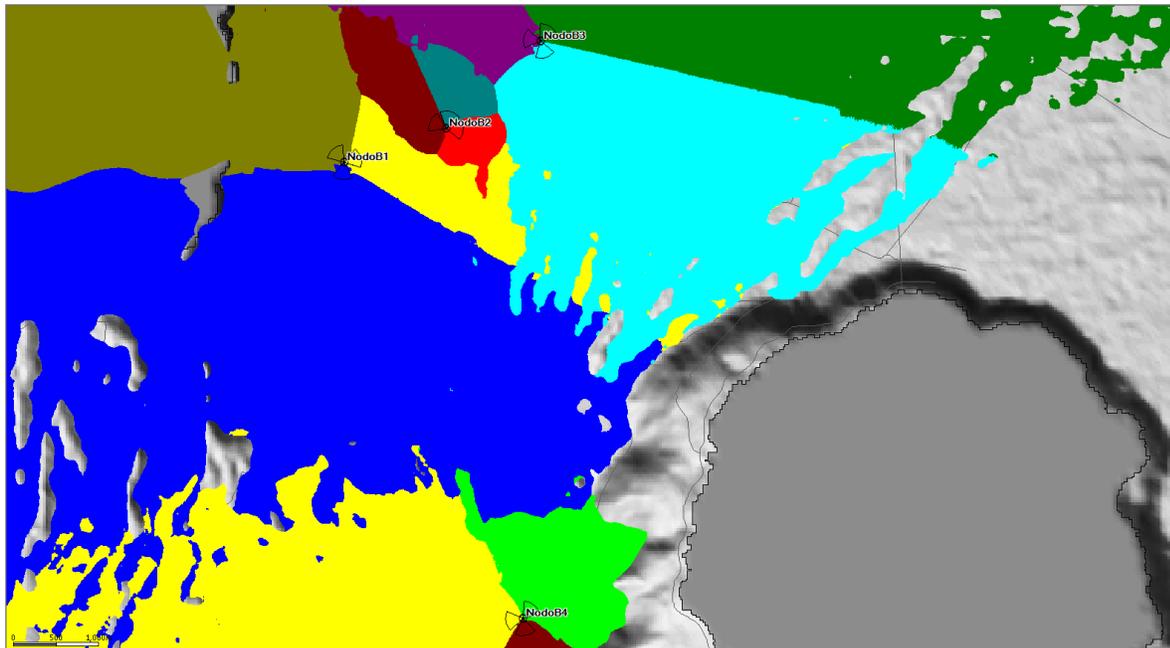


Figura 4.18: Predicción cobertura por transmisor GSM- antes.

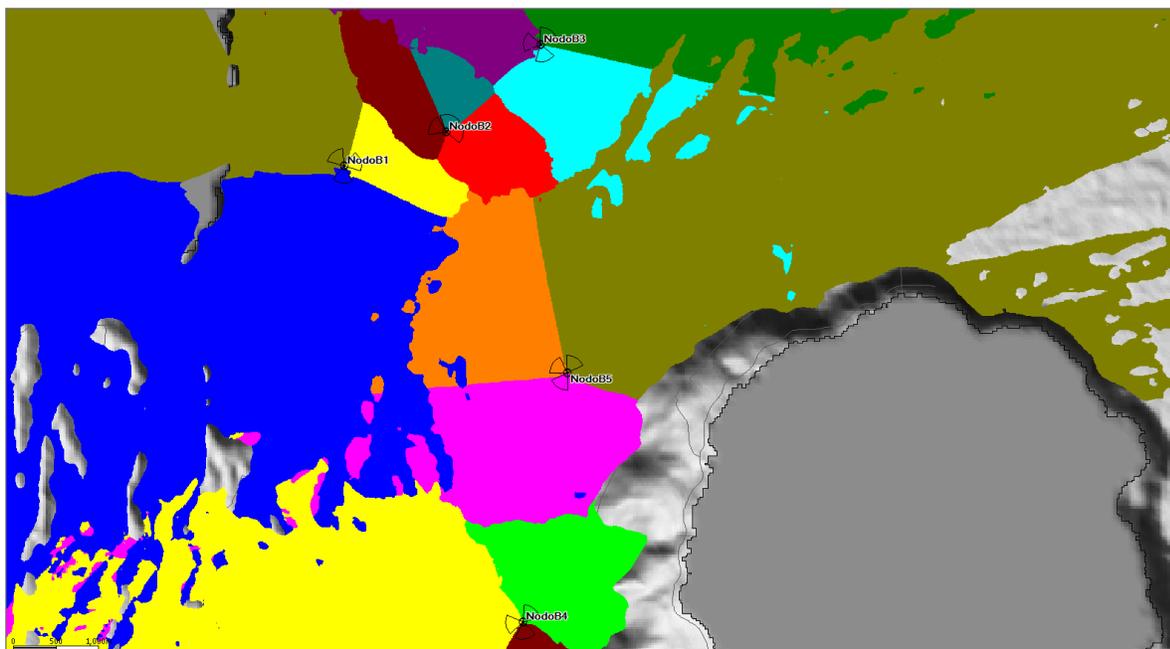


Figura 4.19: Predicción cobertura por transmisor GSM - después.

Análisis de calidad de señal (Ec/Io) - WCDMA

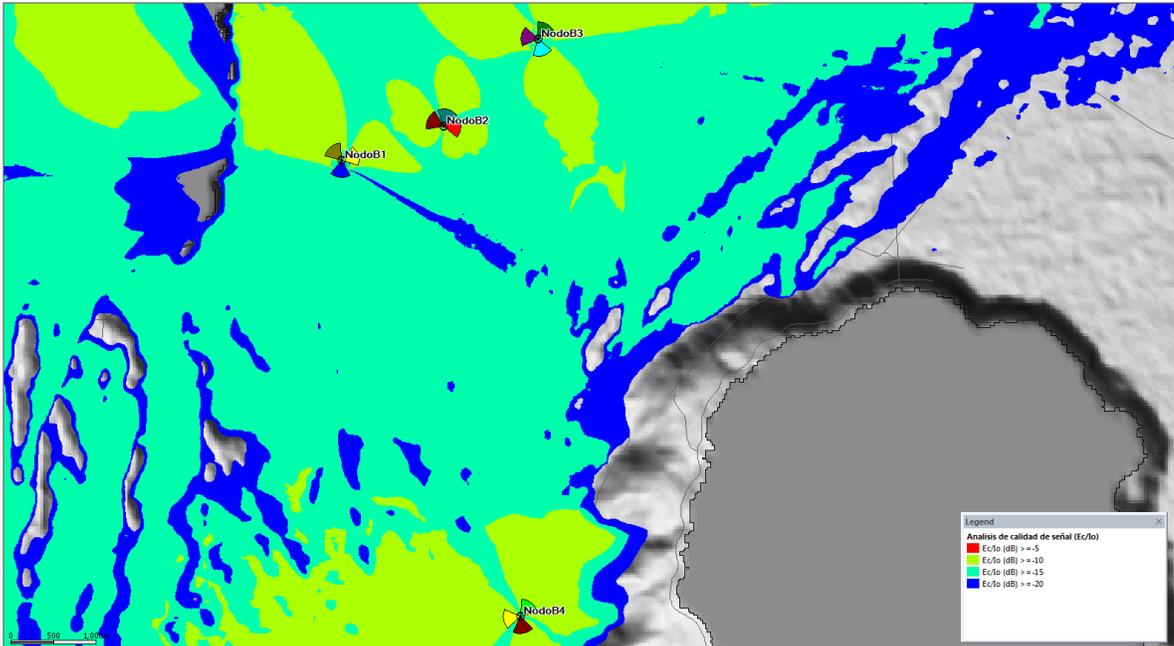


Figura 4.20: Análisis de calidad de señal WCDMA Ec/Io - antes.

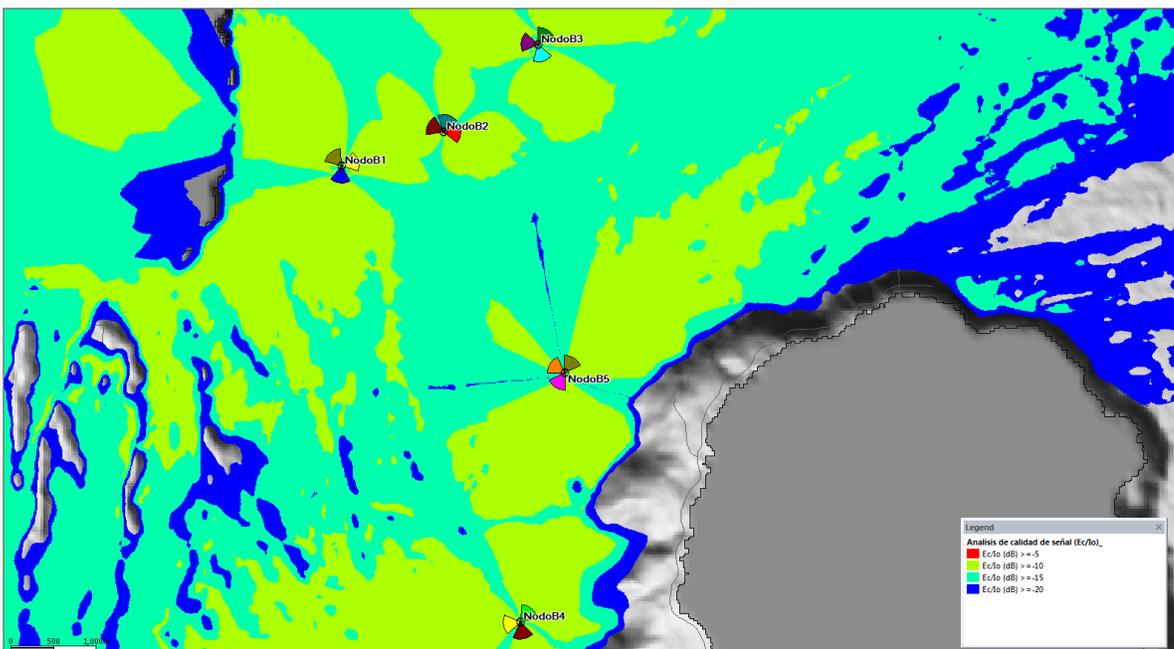


Figura 4.21: Análisis de calidad de señal WCDMA Ec/Io - después.

4.5.5 Plan de frecuencia.

En el capítulo 3, “Metodología de diseño para estaciones bases” se abordó sobre la asignación del espectro en Nicaragua y sobre el reuso de frecuencia en GSM, ahora en este punto se hará uso de lo descrito sobre plan de frecuencia y se realizará un plan de frecuencia para el emplazamiento diseño. Para este fin se utilizarán las mediciones de campo y se realizará plan de frecuencia en base a las ARFCN BCCH monitoreados y la distribución actual de los segmentos de frecuencia que en Nicaragua están establecidos para el uso de transmisión de redes celulares.

A continuación se presenta una tabla con los ARFCN en la banda 1900 monitoreados en el recorrido, así como su correspondencia dentro de los segmentos de frecuencia establecidos para la operación de las redes celulares en Nicaragua.

Tabla 4.7: BCCH monitoreados en recorrido y su correspondencia dentro de los segmentos de banda 1900 en Nicaragua.

ARFCN	Frecuencia en UpLink (MHz)	Frecuencia en DownLink (MHz)	Segmento	ARFCN's disponibles en el segmento
570	1861.8	1941.8	A	512, 513,, 584, 585 (74 canales disponibles)
572	1862.2	1942.2	A	
577	1863.2	1943.2	A	
580	1863.8	1943.8	A	
585	1864.8	1944.8	A	
760	1899.8	1979.8	C	737, 738,,809, 810 (74 canales disponibles)
763	1900.4	1980.4	C	
767	1901.2	1981.2	C	
768	1901.4	1981.4	C	
769	1901.6	1981.6	C	
775	1902.8	1982.8	C	
781	1904	1984	C	

Como se puede observar en la **Tabla 4.7** para el operador A la disponibilidad de canales es muy amplia ya que en la banda 1900 tiene a disposición 148 canales. Los ARFCN que se presentan en recorrido y su disposición dentro del listado de ARFCN disponible por banda indican que se tiene establecido 2 sub-segmentos, 1 sub-segmento de listado ARFCN para BCCH y otro para TCH. Sin problema alguno se podría hacer uso de un factor de reuso de frecuencia de 1/19 solo por segmento o bien 1/48 entre ambos segmentos, esto debería de quedar definido según una estrategia a usar para el plan de frecuencia de la red.

Para pasar a la asignación del plan de frecuencia para el diseño del nuevo emplazamiento, se asumirá en base a los ARFCN BCCH monitoreados, con la distribución de BCCH y TCH según como muestra la siguiente **Figura 4.22**.

512 – 566 (55 ch)	567 – 588 (19ch)	737 – 759 (23 ch)	760 – 786 (27 ch)	787 – 810 (24 ch)
----------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Figura 4.22: Segmentos de frecuencia y distribución de canales BCCH y TCH.

En la **Figura 4.23** Se muestra una de las posibles opciones de plan de frecuencia BCCH para el diseño del nuevo sitio.

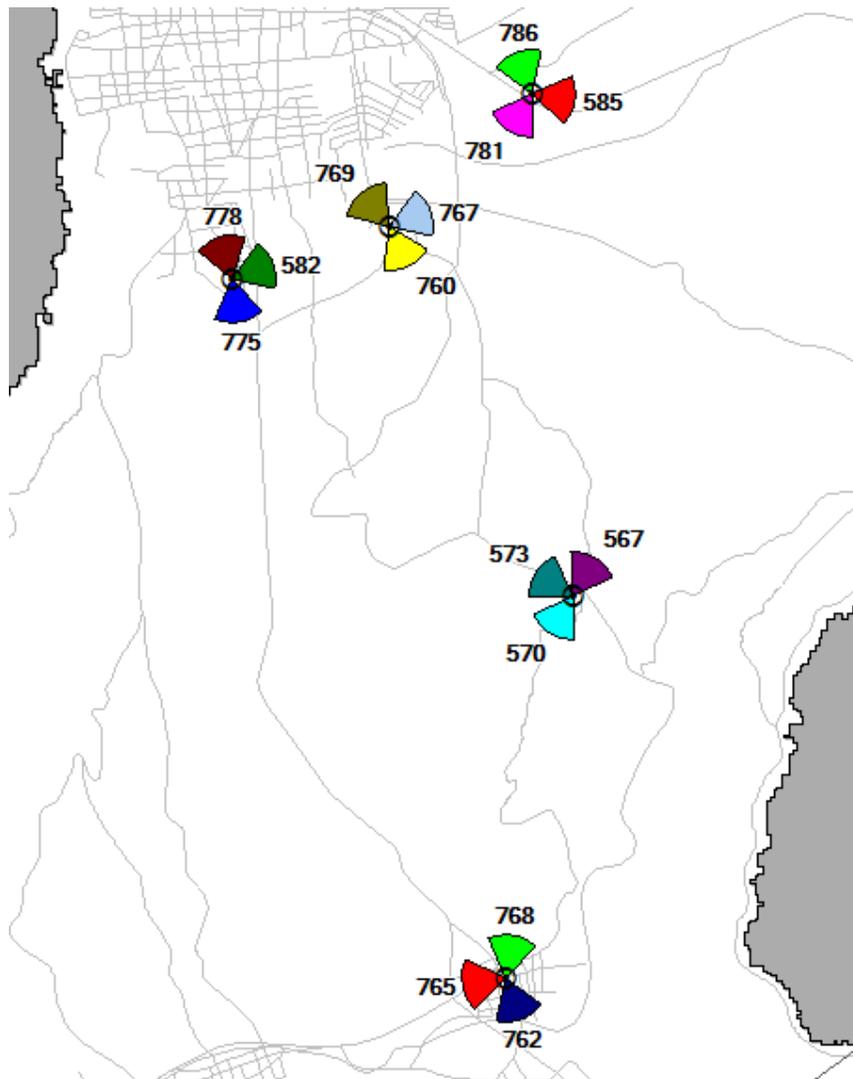


Figura 4.23: Plan de frecuencia BCCH para nuevo sitio.

4.5.6 Plan de vecinas.

GSM

Como se mencionó en la sección de relaciones de vecinas para poder efectuar el traspaso de llamadas entre celdas se realiza la definición de vecinas que consiste en relacionar las celdas con posibilidades de continuidad de cobertura evitando así que se presenten altas probabilidades de caídas de llamadas. Para el diseño del nuevo emplazamiento ubicado en la zona de Pacayita se recomienda definir las relaciones de vecinas que se muestran en la **Figura 4.24**.

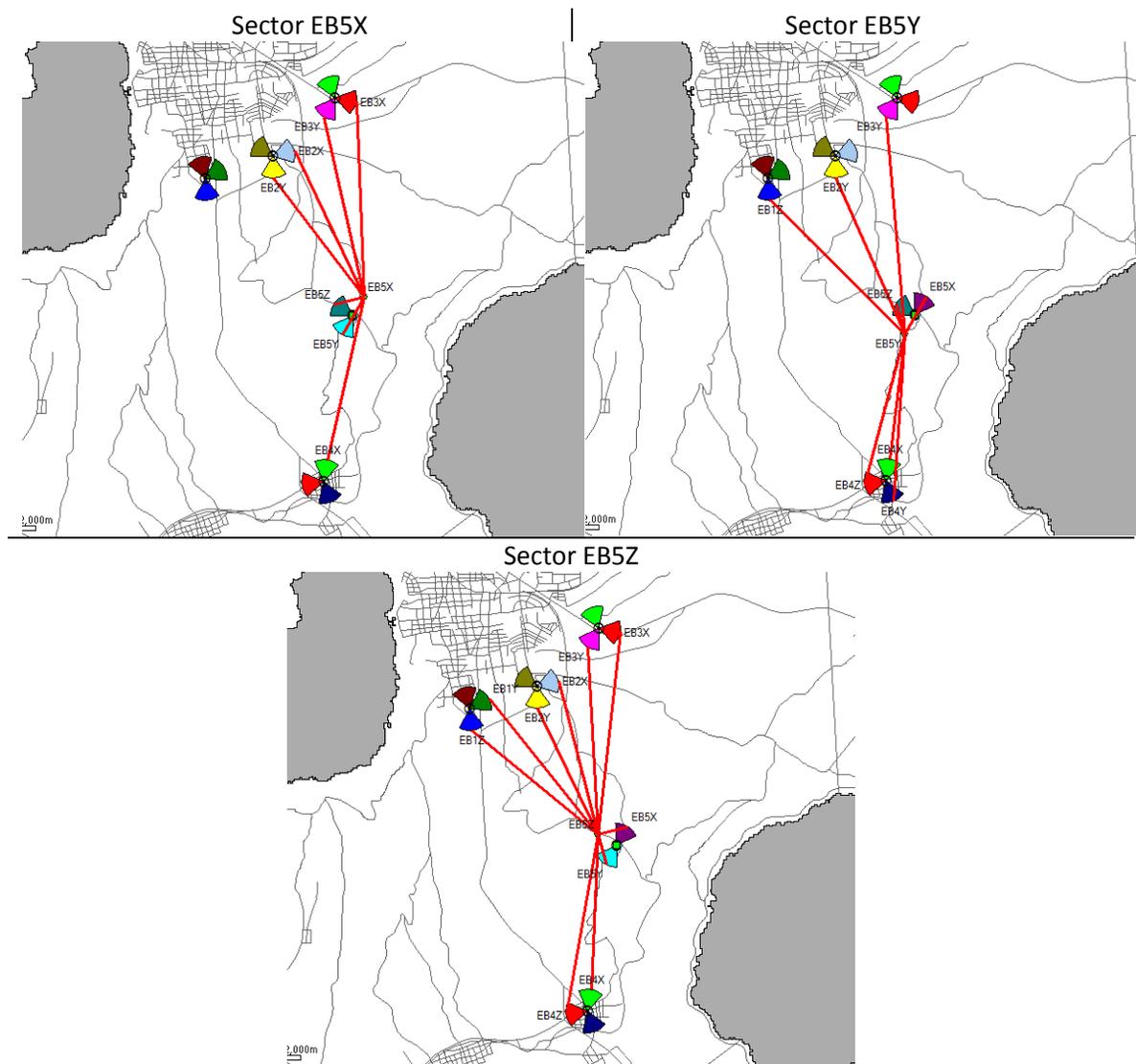


Figura 4.24: Relaciones de vecinas para los sectores del nuevo sitio GSM.

WCDMA

En el caso de las relaciones de vecinas en WCDMA, al igual que en GSM se realizan con el objetivo de establecer continuidad de cobertura y traspaso de llamadas entre celdas, a diferencia de GSM la definiciones de vecinas en WCDMA también tienen la finalidad de evitar la interferencia entre las celdas vecinas ya que hay que recordar que para esta tecnología todas las celdas operan en la misma frecuencia.

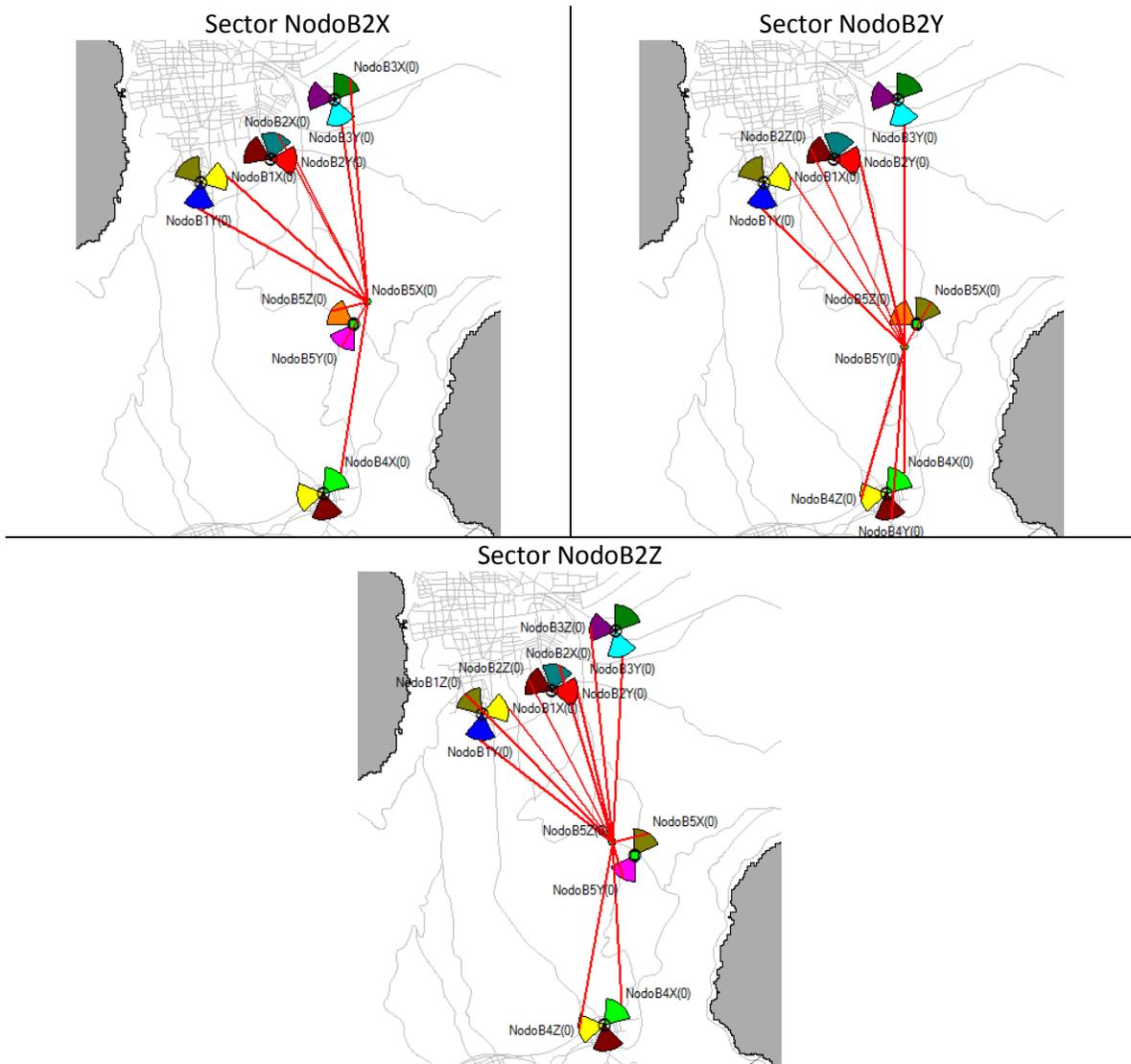


Figura 4.25: Relaciones de vecinas para los sectores del nuevo Nodo B.

4.5.7 Plan de código.

Para realizar una asignación adecuada se utilizarán los Scrambling Codes monitoreados como mejores servidoras en el recorrido, los cuales se muestran a continuación:

0	42	94	121	315	368	431
9	49	105	126	318	373	450
27	57	110	145	334	376	466
33	65	118	248	345	410	490
41	81	119	284	360	415	500

Del post proceso del recorrido se ha logrado determinar el SC de varios de los sitios y el resto ha sido asignado según se observó que el operador A tiene distribuido los SC en intervalos de 8 en cada sitio, esto se observó en el NodoB2 en que los sectores NodoB2A, NodoB2B y NodoB2C tienen asignado los SC 360, 368 y 376 respectivamente. Basado en la asignación de SC un adecuado plan de código será 140, 148, 155 como se muestra en la siguiente figura.

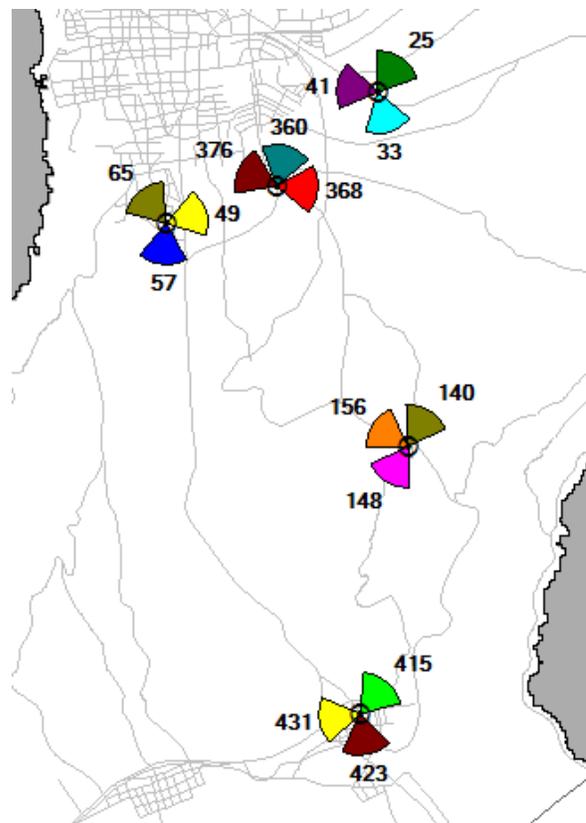


Figura 4.26: Plan de códigos para nuevo Nodo B.

4.6 Initial Tuning

El concepto básico de Initial Tuning (IT) consiste en proporcionar detalladamente al operador sobre los posibles problemas en la red como: diseño, equipos de usuarios y del sistema.

El IT se realiza cuando se integra una nueva zona de cobertura con todas las estaciones bases necesarias instaladas pero no están siendo utilizadas comercialmente y el otro caso es cuando la red es estable operacionalmente y se requiere de la integración de un nuevo sitio ya sea por ampliación de cobertura o ampliación de capacidad [27]. En la siguiente Figura se presenta el proceso general que se realiza durante el Initial Tuning.

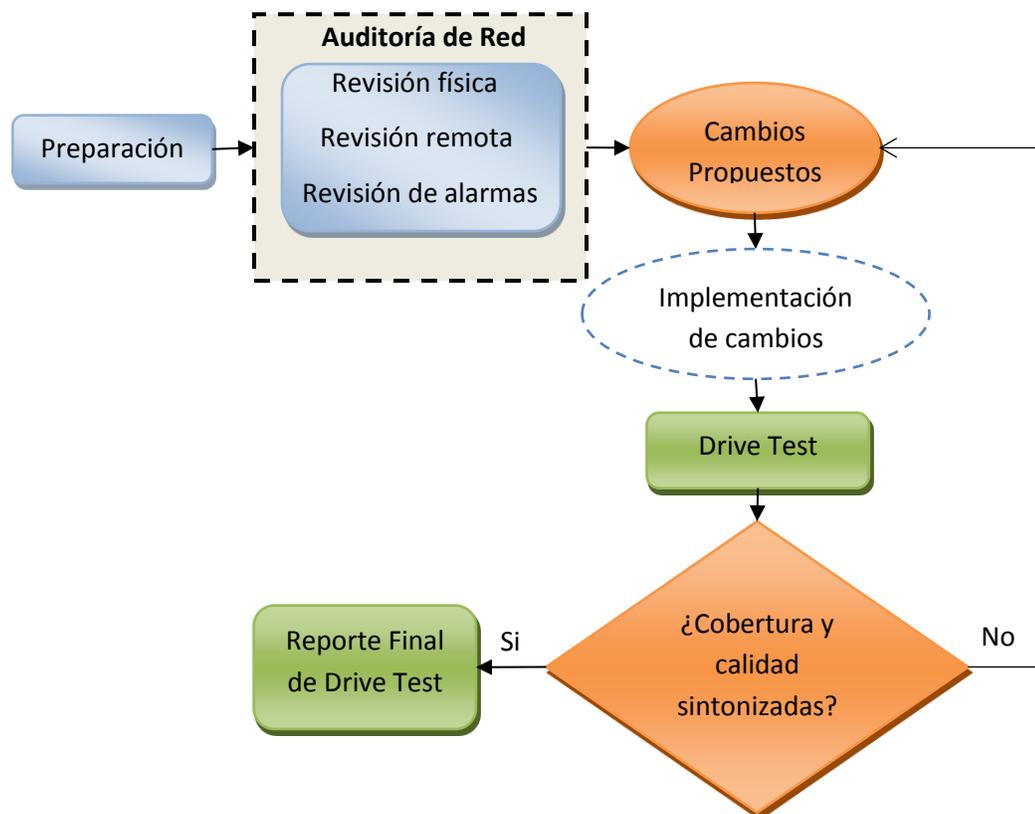


Figura 4.27: Proceso general Initial Tuning

El principal objetivo del Initial Tuning es establecer el desempeño de la red basado principalmente en mediciones de campo con el fin de asegurar que es posible conducir dentro del área de cobertura de la red sin que hallan caídas de llamadas y también asegurar la posibilidad de realizar llamadas desde cualquier punto dentro del área de cobertura.

El Initial Tuning es requerido para garantizar una buena operación del nuevo emplazamiento evitando degradar el desempeño de la red, para ello se debe identificar y resolver problemas e inconsistencias de la integración del sitio en la red. El proceso de IT está conformado por pasos

que se requieren de revisión previamente a su integración y entrada en operación de forma comercial o permanente.

- Revisión de parámetros de integración.

Es necesario establecer la revisión de los parámetros del sistema según lo establecido para las estaciones bases y Nodos B, existen múltiples parámetros que tienen determinadas funciones como parámetros de control, parámetros de potencia, parámetros de Handover, parámetros de acceso a los servicios, parámetros para control de llamada, parámetros para control de servicios de datos, entre otros. La mala configuración de parámetros puede incurrir en problemas de desempeño en indicadores como por ejemplo: accesibilidad, retenibilidad, drop call, blocked call y Handover fail, cuyos efectos pueden ser registrados en drive test al sitio que se integrará.

- Revisión estadística de desempeño.

La revisión estadística del desempeño del nuevo sitio tiene su importancia para visualizar si previamente a la visita al sitio se requerirá evaluación de configuración física, entre los comunes indicadores que se revisan son: accesibilidad, retenibilidad, drop call, handover fail, congestión. La recolección de las mediciones estadísticas se realiza durante un tiempo de prueba previamente a la visita al sitio.

- Auditoría de configuración de equipos y sistema radiante.

Esta auditoría se realiza en visita al sitio y se verifica la configuración física de las antenas y de los equipos de radio instalado según el diseño, esta auditoría debe ser entregada para mantener control del estado actual del sitio.

- Optimización física del sitio.

La optimización es parte del proceso de la visita al sitio, en dependencia del desempeño y su verificación con drive test se realizará optimización, en caso de no observarse buen desempeño en las mediciones estadísticas se deberá evaluar la optimización del sitio y realizar otras visitas al sitio para aplicar los cambios requeridos y efectuar nuevamente drive test.

- Drive test

El drive test es un recorrido en el que se realiza mediciones con terminales móviles, en dicho drive test se puede identificar posibles problemas que afecten el desempeño del nuevo emplazamiento, ya sea identificando afectaciones por otras estaciones base o el nuevo emplazamiento mismo. Los comunes problemas que se identifican en drive test son: sectores cruzados, missing neighbour, agujeros de cobertura, bajo o limitado throughput, mala calidad.

Conclusiones

Finalizado el presente proyecto hemos logrado aprender sobre los aspectos legales del proceso de diseño de los emplazamientos de las tecnologías GSM y WCDMA, que actualmente tienen auge en Nicaragua para brindar servicios y cobertura para los sistemas celulares. Los aspectos legales para la regulación del servicio y el diseño de nuevos emplazamientos los establece la legislación nicaragüense mediante “Reglamento del servicio de telefonía celular” y la “Ley 843, Ley que regula la ubicación, construcción e instalación de estructuras de soporte para equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico”, bajo la responsabilidad del ente regulador TELCOR.

Hemos investigado los requerimientos técnicos y características de las tecnologías GSM y WCDMA las que se pueden observar con detalle en el marco teórico, los equipos usados para la entrada en funcionamiento del nuevo emplazamiento, además investigamos y desarrollamos el proceso de diseño que comúnmente realizan las operadoras de redes celulares.

Logramos hacer el diseño de los emplazamientos celulares GSM y UMTS (WCDMA) mediante las herramientas de predicción, para tal fin usamos el software de predicción Atoll™ que permite efectuar simulaciones y predicciones del comportamiento de la cobertura y calidad de la radio propagación, siendo muy completo para lograr adecuadamente el diseño de las estaciones base y los Nodos B.

A manera de aplicación de lo aprendido realizamos el diseño de un nuevo emplazamiento para un escenario en que los niveles de cobertura del operador al que se realiza el diseño no son adecuados para los servicios que brindan las redes celulares GSM y UMTS (WCDMA), como resultado el diseño efectuado mediante el software de predicción estima mejoras de cobertura y niveles de señal los que son adecuados para acceder a los servicios que ofrecen las redes celulares GSM y UMTS (WCDMA).

Finalmente, concluimos que el desarrollo natural de la integración de estaciones base con tecnologías de cuarta generación como LTE se estarán llevando a cabo en el corto/mediano plazo y operaran con las redes de 2G (GSM) y 3G (UMTS) estudiadas en este proyecto monográfico y que le servirán de soporte para cobertura de datos servicios de voz y servicio de roaming e interoperando en el proceso de migración hacia las redes de LTE para la transmisión de voz y datos.

Recomendaciones

El presente proyecto se ha enfocado en el diseño de estaciones bases para su integración en una red celular que operan con tecnologías de GSM y UMTS y como ampliación a este proyecto monográfico es importante profundizar acerca del plan de frecuencia GSM ya que en el ejemplo de plan de frecuencia solo se ha efectuado para BCCH pero dentro de un plan de frecuencia existen otros parámetros relevantes como: canales TCH, BSIC, HSN y MAIO que también requieren asignación, esto puede ser un tema para desarrollar un proyecto monográfico ya que a pesar del surgimiento de nuevas tecnologías celulares GSM sigue fundamental como tecnología celular para las telecomunicaciones móviles en Nicaragua.

Por otra parte este proyecto monográfico se puede extender sobre el proceso de optimización ya el Initial tuning efectuado en la integración del nuevo sitio garantiza la correcta operación de los nuevos emplazamientos, sin embargo a lo largo del tiempo es necesario efectuar optimización frecuentemente para dichos sitios.

Otro punto importante es el avance tecnológico ya que los operadores de servicios de Telefonía celular en Nicaragua ofertarán en el corto/mediano plazo los servicios y velocidades de la tecnología LTE (4G), que se encuentra a la vanguardia a nivel mundial, por lo que debe ser necesario realizar investigación acerca del diseño de emplazamientos LTE, las medidas que el ente regulador tomará cuando se realicen el despliegue de redes LTE, así también recomendamos realizar investigación sobre la interoperabilidad de la tecnología LTE con las tecnologías GSM y WCDMA actualmente operando en Nicaragua.

Otro aspecto importante que no se incluyen en este trabajo son los aspectos de Calidad de Servicio (QoS) de datos para los usuarios en las redes de 2G y 3G existentes ya que estos están limitados al concepto de transmisión de datos con el “mejor esfuerzo”. Pero en redes LTE la calidad de servicio es un área clave de solución para los usuarios.

Se espera que con la introducción en nuestro país del despliegue de redes LTE (4G) los operadores tengan la disponibilidad de ofrecer a los usuarios planes de servicios con niveles de calidad diferenciados y por lo tanto es un tópico adicional de interés para desarrollo de futuros proyectos monográficos.

Bibliografía

- [1] La Gaceta, «Ley 843,» 12 Julio 2013. [En línea]. Available: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/SILEG/Iniciativas.nsf/\(\\$All\)/D7DE495F015E91AA06257B66007AE2A3?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/SILEG/Iniciativas.nsf/($All)/D7DE495F015E91AA06257B66007AE2A3?OpenDocument). [Último acceso: 15 agosto 2013].
- [2] INAC, «Instituto Nicaraguense de Aeronautica Civil,» [En línea]. Available: www.inac.gob.ni. [Último acceso: 20 junio 2014].
- [3] J. M. H. Rábanos, *Transmision por Radio*, Madrid: CENTRO DE ESTUDIOS RAMON ARECES, S.A., 1998.
- [4] E. C. G., «coimbraweb,» [En línea]. Available: <http://www.coimbraweb.com/>.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice Hall Communications Ingeniering and Emerging Technologies Series, 2001.
- [6] M. Hata, *Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services*, 1980.
- [7] J. Lempiäinen y M. Manninen, *RADIO INTERFACE SYSTEM PLANNING FOR GSM/GPRS/UMTS*, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002.
- [8] Ericsson, *GSM Cell Planing Principles*, 1999.
- [9] TELCOR, «Reglamento del servicio de telefonía celular,» 30 Marzo 1998. [En línea]. Available: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/799591BF23AF2FE5062570C200591159?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/799591BF23AF2FE5062570C200591159?OpenDocument). [Último acceso: 03 septiembre 2013].
- [10] J. M. H. Rábanos, *Comunicaciones Móviles*, Centro de Estudios Ramón Areces, 2004.
- [11] A. Wacker, J. Laiho y T. Novosad, *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, WILEY, 2006.
- [12] Ericsson, *WCDMA RADIO NETWORK DESIGN*, 2002.
- [13] D. Pilgrim, «Simplifying RF front-end design in multiband handsets,» 2008.
- [14] «UMTSWorld,» [En línea]. Available: <http://www.umtsworld.com/>. [Último acceso: diciembre 2013].
- [15] Ericsson, *ERICSSON WCDMA/UMTS SYSTEM OVERVIEW*, 2001.
- [16] V. M. F. Salmerón, «Ejemplo de diseño e implementacion de una estacion base GSM/UMTS,» Valencia,España, 2010.
- [17] O. N. Martinez, *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidas por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*, Managua, 2013.

- [18] C. A. Balanis, ANTENNA THEORY, Hoboken, New Jersey: WILEY, 2005.
- [19] A. G. Castillo, «Integración de una estación base en una red móvil existente,» Sevilla, España, Mayo 2010.
- [20] Kathrein, «Katherin-Scala Division,» 20 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.kathrein-scala.com/product_search.php?BRSR=30&antennas_model&antennas_band&antennas_freq&antennas_gain&antennas_gain_range&antennas_pol=X&antennas_HBW&antennas_HBW_range&antennas_tilt&antennas_style&antennas_data_sheet.
- [21] TELCOR, «MODIFICACIÓN DE LA ATRIBUCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO,» 01 octubre 2004. [En línea]. Available: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/F3C8C939FEE4DDF2062570A100583721?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/F3C8C939FEE4DDF2062570A100583721?OpenDocument). [Último acceso: 10 octubre 2013].
- [22] 3GPP, «3GPP,» 15 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.3gpp.org/DynaReport/45005.htm>. [Último acceso: 20 Noviembre 2013].
- [23] 3GPP, «3GPP,» 27 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.3gpp.org/DynaReport/25104.htm>. [Último acceso: 20 Noviembre 2013].
- [24] A. T. Harri Holma, WCDMA FOR UMTS, WILWY, 2007.
- [25] Ericsson, *Librerías de Alex*.
- [26] INIDE, «Masaya en cifras,» Masaya, 2008.
- [27] Ericsson, WCDMA Radio Access Network, © Ericsson 2006, 2006.

Anexos

- **Anexo A:** *Formato de solicitud de autorización para prestar servicios de telecomunicaciones*
- **Anexo b:** *“Tramite para desarrollo urbano tipo de proyecto especial: Torres de soporte de telecomunicaciones”, Información de dirección de urbanismo de la alcaldía de Managua.*
- **Anexo C:** *Formato de solicitud de permiso de MARENA.*
- **Anexo D:** *Estimación de costos para instalación y equipos para una estación base (GSM/UMTS).*

Anexo A: Formato de solicitud de autorización para prestar servicios de telecomunicaciones

Telcor
ENTE REGULADOR

Formato de Solicitud de Autorización para prestar servicios de Telecomunicaciones

FECHA: _____

1. DATOS DEL SOLICITANTE

1.1 Nombre: _____

1.2 Domicilio: _____

1.3 Teléfono: _____ Fax: _____ R.U.C.: _____
(Requerido en la Sección 4)

1.4 Correo Electrónico: _____

2. DATOS DEL REPRESENTANTE LEGAL

2.1 Nombre: _____

2.2 Domicilio: _____

2.3 Teléfono: _____ Fax: _____ R.U.C.: _____

2.4 Correo Electrónico: _____

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO SOLICITADO

Página 1 de 3



4. DOCUMENTACIÓN QUE ACREDITA JURÍDICAMENTE AL SOLICITANTE*

Partida de Nacimiento: (Sólo Medios de Comunicación Social)
 R.U.C: (De la Empresa)
 Identificación: (Pasaporte o Cédula)

Acta Constitutiva: (De la Sociedad Anónima)
 Poder de Representante Legal:

*Toda documentación que sea presentada en copia, deberá estar autenticada por un Notario Público

5. ESTRUCTURA ACCIONARIA DEL SOLICITANTE

Nombre de los Accionistas	Nacionalidad	Nº de Acciones	Valor Nominativo	Capital Aportado	% de Participación sobre el Total

6. INGENIERIA DEL PROYECTO TÉCNICO

Características Técnicas:
Referencia de la Capacidad Técnica:

Descripción Funcional:
Inventario de Equipos:

Topología del Sistema:
Coordenadas Geográficas*:

Plan de Expansión
Mapa de área de Cobertura*:

*Para infraestructura y sistemas que harán uso del Espectro Radioeléctrico



7. PROYECTO ECONOMICO

Estado de Flujos:

Detalle de Inversiones:

Cuadro de Tarifas:

Referencia de Capacidad Económica:

Fuentes de Financiamiento:

8. COMENTARIOS O INFORMACIÓN ADICIONAL DEL TRAMITE SOLICITADO

Firma del Solicitante o Representante Legal

Para Uso de TELCOR

Instructivo para Llenar los formatos de solicitudes para la obtención de Título Habilitante para la prestación de servicios de interés General, Especial, Particular Y No Regulados

1. Llenar el **Formato de Solicitud Correspondiente**, el que deberá estar firmado por el Representante Legal de la Empresa.

2. Presentar la documentación legal requerida en el formato (Sección 4):

- Acta de constitución de la empresa debidamente autenticada por notario público o certificada por un consulado Nicaragüense y el Ministerio del Exterior en el caso de las empresas extranjeras *.
- Documentos oficiales de identificación de todos los socios de la empresa, debidamente autenticados por notario público o certificados por un consulado Nicaragüense y el Ministerio de Relaciones Exteriores en el caso de las empresas extranjeras *.
- Copia del número de registro único de contribuyente (RUC) de la persona natural o jurídica que presenta la solicitud.
- Poder de representación legal con domicilio Nicaragüense debidamente autenticado por notario público o certificado por un consulado Nicaragüense y el Ministerio del Exterior en el caso de las empresas extranjeras *.

* No es posible otorgar licencias a empresas o personas naturales extranjeras para la operación de Medios de Comunicación Social (radiodifusión AM/FM y televisión abierta)

3. Presentar el anexo de proyecto técnico (Sección 6), el que deberá contener los siguientes componentes:

- Descripción de la capacidad técnica de la empresa (incluir documentos de referencia)
- Topología del sistema describiendo la ubicación de los equipos y nodos que integran la red acorde con los (requisitos establecidos para cada servicio). Así mismo el deberá adjuntarse el Plan de Expansión propuesto durante el tiempo de vigencia del documento habilitante.
- Descripción funcional del sistema de manera detallada como interactúan cada uno de los componentes para proporcionar el servicio objeto de la licencia, (indicar la velocidad de cada enlace y el arrendador, la conexión entre nodos y los medios de acceso de los usuarios al servicio).
- Inventario detallado de los equipos del sistema, incluyendo la configuración básica de los mismos (Marca, versión, modelo, # de serie, tarjetas relevantes, etc).
- Características técnicas proporcionadas por el fabricante de cada uno de los equipos.

4. Presentar el anexo de proyecto económico (Sección 7), el que deberá contener los siguientes componentes:

- Estado de flujos detallado correspondiente al periodo de evaluación del proyecto.

- Detalle de las inversiones a realizar durante el período de evaluación del proyecto (equipos, infraestructura, gastos de instalación, etc).
 - Cuadro detallado de tarifas propuestas por servicios y estimado de demanda que brinde soporte a los ingresos reflejados en el estado de flujos.
 - Descripción de la capacidad empresarial y económica de la empresa, debidamente sustentada por constancia emitida por una institución financiera.
 - Describir las fuentes de financiamiento especificando los montos provenientes de fuentes externas y la aportación directa de los accionistas.
5. Pagar el estudio de solicitud acorde con las tasas vigentes al momento de la entrega de la solicitud C\$ 500.00 + IVA = ~~C\$ 575.00~~ 949.10
6. Una vez presentada formalmente la solicitud y aprobada por TELCOR, si se trata de un servicio de Interés General, el interesado deberá proceder a su publicación en 2 (dos) periódicos de circulación nacional. El costo de la publicación será cubierto por el solicitante.
7. Cancelar la tasa anual del primer año de operación de la licencia o constancia de registro como requisito indispensable para la entrega de la misma.
8. En el caso de aquellos Servicios que lo requieran (ver Anexo), presentar Garantía Bancaria por el equivalente al 5 % del promedio mensual de los ingresos brutos del primer año de operación, emitida por una Institución Financiera con domicilio Nicaragüense y adecuada al formato proporcionado por TELCOR. (De acuerdo a lo establecido en el Arto. 34 del Reglamento de la Ley Reformado, Decreto No. 131-2004)

Anexo.

- Estos valores en ningún caso serán menores a los siguientes expresados en córdobas y que se actualizan anualmente con la evolución de la inflación:
 - Concesiones de servicios públicos: 1,000,000.00
 - Licencias de telefonía móvil: 1,000,000.00
 - Licencia de servicios de transmisión de datos en general: 100,000.00
 - Licencia de servicios de acceso a Internet: 50,000.00
 - Licencia de otros servicios: 40,000.00
 - Certificados de registro: 10,000.00

Para el caso del servicio de Televisión por suscripción deberán presentar garantía bancaria por el 10 % de la inversión inicial, con una vigencia de un año, renovable anualmente conforme al título Habilitante.

- Para el caso de solicitudes de servicios VSAT y Telepuertos se deberá adjuntar el Site Survey correspondiente.
- El proveedor satelital, que arrendará capacidad a sistemas que lo requieren, deberá tener un convenio de aterrizaje de señal en territorio Nicaragüense, en caso de no existir, este deberá ser tramitado por el proveedor y TELCOR.

- Las solicitudes para prestar servicio de **Radiodifusión Sonora** y **Televisión Abierta** deberán presentar los estudios de área de cobertura de cada estación transmisora y repetidor, en donde se indique el área que se pretende servir. El trazo de las áreas de cubrimiento se deberá realizar en los planos disponibles, utilizando un mínimo de 8 radiales.
- Los servicios de **Telecomunicaciones** requieren de un Título Habilitante para cada uno de ellos.

Las solicitudes de servicios de Interés Particular están exceptuados de la presentación del anexo correspondiente al proyecto económico.

Anexo b: "Trámite para desarrollo urbano tipo de proyecto especial: Torres de soporte de telecomunicaciones", Información de dirección de urbanismo de la alcaldía de Managua.



ALCALDÍA DE MANAGUA
DIRECCIÓN DE URBANISMO
VENTANILLA ÚNICA DE LA CONSTRUCCIÓN
TRAMITES

TRAMITES PARA DESARROLLO URBANO
TIPO PROYECTO ESPECIAL:
TORRES DE SOPORTE DE TELECOMUNICACIONES.

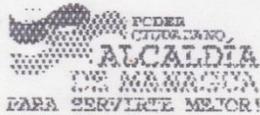
I. Tramite de Constancia de Uso de Suelo:

- ☛ Carta de Solicitud con la Descripción del Proyecto; área de Construcción de Cada Pedestal y de la Zapata, Losas Para Soporte de Radio Base y Equipos, Metros Lineales de Muros, Portones, Entre Otras, Dirección Exacta del Sitio, Alcances del Proyecto, Altura de la Torre, Tipo de Torre Como Propuesta Instalar, Numero Catastral del Lote, la Carta Debe de Ser Dirigida a la Licenciada Adriana Marcela Acuña Alonzo, Directora de Urbanismo.
- ☛ Fotocopia de:
 - Escritura de Propiedad Debidamente Inscrita en el Registro Público.
 - Escritura Pública de Contrato de Arriendo, Autenticada por un Notario.
 - Plano de Localización en escala 1:10,000, Avalado por la Dirección de Catastro Municipal.
 - Plano de Ubicación en Escala 1:1000, Avalado por la Dirección de Catastro Municipal.
 - Plano Topográfico del Lote con su Cuadro de áreas; área total, área a arrendar, cuadro derrotero, Cotas de retiros de linderos de propiedad.
 - Plano Topográfico Avalado por INETER del Terreno Matriz, con Curvas de Nivel a Cada 20 Centímetros.
 - Especificaciones Técnicas del Proyecto, Detallar: Materiales (resistencia, durabilidad y tratamiento) y Programación de Obra.
 - Aval de un Punto del Terreno Matriz y Aval de un Punto del área de Terreno Arrendado; BM's en Coordenadas Geodésicas NAD-27 CA, Avalado por INETER. Reflejar Derechos de Vías, Anchos y Secciones Existentes. Arboles Existentes en el Lote Matriz y el área a Arrendar o Adquirir.
 - Certificado Catastral del Terreno Matriz, Emitido por INETER.
 - Poder General del Representante del Dueño del Proyecto.
 - Matricula de Negocios y Cedula RUC del Dueño del Proyecto.
 - Documento que acredite al Tramitante.
 - Recibo Oficial de Caja Emitido por la Dirección General de Recaudación Sobre el Pago de la Tasa Por Servicio de la Constancia de Uso de Suelo Comercial.

II. Tramite para Revisión de Ante-proyecto:

- a. Pago de la Tasa por Servicio de Revisión de Anteproyecto ALMA, en Base a la Ordenanza Municipal 03-1998; "Tasas por Servicios".
- b. Fotocopia de:
 - i. Aval del MINSA.
 - ii. Carta de Anuncia Vecinal Firmada por el Poder Ciudadano del Barrio, por Todos los Coordinadores.
 - iii. Carta de Anuncia Vecinal Firmada por los Vecinos Colindantes; Frente, Fondo, Laterales.
 - iv. Carta de No Objeción Emitida por la Dirección General de Aeronáutica Civil.
 - v. Carta de Trámite Recibida en las Oficinas del MARENA. Y Plan de Mitigación.

Página 1 de 2

 PCDEA
CIVILIANO
ALCALDÍA
DE MANAGUA
PARA SERVIRTE MEJOR!

DIRECCIÓN DE URBANISMO
Centro Cívico. Apartado 141
www.managua.gob.ni • 2265-0197 / 2265-1909



ALCALDÍA DE MANAGUA
DIRECCIÓN DE URBANISMO
VENTANILLA ÚNICA DE LA CONSTRUCCIÓN
TRAMITES

2014
2014
2014

TRAMITES PARA DESARROLLO URBANO
TIPO PROYECTO ESPECIAL:
TORRES DE SOPORTE DE TELECOMUNICACIONES.

- vi. Estudio Geológico por Fallamiento Superficial Avalado por INETER.
- vii. Estudio Geotécnico del Suelo. Para Verificar Cimentación.
- viii. Planos Arquitectónicos en Formato A-3, dos Copias, Digital e Impreso:
 - 1. Plano de Localización, Ubicación y Plano de Conjunto, el Cual Refleje Calles, Avenidas, Elementos Componentes del Derecho de Vía; Andenes, Faja Verde, Bordillos, Cunetas, Calzadas, Radios de Curva y de Cunetas del Derecho de Vía. Lotes Colindantes. Arboles Existentes y Su Especie.
 - 2. Plano Arquitectónico de la Ubicación de la Torre con sus Retiros a Partir del Lindero de Propiedad y lo Explicado en el Gráfico de la Página 4.
 - 3. Plano de Conjunto con Curvas de Nivel a Cada 1 Metro. Así Como Cuadro de áreas de Construcción; Metros Lineales de Muro, Metros Cuadrados de Losas, Pedestales, Zapatas.
 - 4. Detalles Arquitectónicos.
 - 5. Entre Otros que se Consideren Necesarios.

III. Tramite Para Revisión de Proyecto:

- a. Pago de la Tasa por Servicio de Revisión de Proyecto ALMA, en Base a la Ordenanza Municipal 03-1998; "Tasas por Servicios".
- b. Pago de la Tasa por Servicio de Revisión de Proyecto Dirección General de Bomberos.
- c. Memorias de Cálculos por Especialidad: Eléctrica, Estructural, Hidrosanitario (Esta última de Ser Necesaria). Adjuntar la Licencia de Cada Diseñador (Eléctrico Emitida por DGBN y el Estructural Por el MTI) y Su Matrícula de Negocios Emitida por la Alcaldía del Municipio.
- d. Fotocopia de:
 - i. Resolución Administrativa (Aprobación Ambiental) del MARENA.
 - ii. Dos Juegos de Planos Constructivos del Proyecto; Especialidades y Detalles Constructivos – Estructurales.

IV. Tramite para Permiso de Construcción:

- a. Recibo Oficial de Caja Emitido por la Dirección General de Recaudación de la Alcaldía de Managua que Refleje el Pago del Impuesto de Construcción y el Pago de la Tasa por Servicio de Supervisión.
- b. Licencia del Constructor Emitida por el MTI.
- c. Matricula y Solvencia Actualizada del Constructor.
- d. Solvencia del Dueño del Proyecto, Que Esta Especifique que Sea para Tramite General.

Página 2 de 2

PCDER
CIVILIANO,
ALCALDIA
DE MANAGUA
PARA SERVIRTE MEJOR!

DIRECCIÓN DE URBANISMO
Centro Cívico. Apartado 141
www.managua.gob.ni • 2265-0197 / 2265-1909

Anexo C: Formato de solicitud de permiso de MARENA

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES

INSTRUCTIVO DE FORMULARIO DE SOLICITUD PARA AUTORIZACION AMBIENTAL

DELEGACION TERRITORIAL DE: _____

No. Casilla	INSTRUCCIONES
1. DATOS GENERALES:	
El presente Formulario Ambiental es el instrumento para solicitar Autorización Ambiental para proyectos Categoría III establecidos en el Arto. 18 del Decreto 76-2006 "Sistema de Evaluación Ambiental" los cuales están sujetos a una Valoración Ambiental como condición para emitir la Autorización Ambiental correspondiente y que están a cargo de las Delegaciones Territoriales del MARENA o los respectivos Consejos Regionales de la Costa Atlántica de Nicaragua.	
1	El encargado de la ventanilla única de la Delegación Territorial correspondiente le otorga un número de Registro Consecutivo el que deberá de ser marcado en la casilla del Formulario de Autorización Ambiental y será el número de registro que identificará su Autorización Ambiental.
2	Poner nombre completo como se conocerá el proyecto, incluyendo sus siglas si las tiene.
3	Especificar quien es la persona que solicita la Autorización Ambiental indicando en caso de ser persona jurídica poner su nombre completo a como es conocido; en caso de persona natural poner el nombre y número de cédula de identidad.
4	Si es persona jurídica, especificar el nombre del representante legal y anexar correspondiente poder de representación legal emitido mediante escritura pública que lo acredita como tal.
5	Señalar Dirección exacta del representante legal para oír notificaciones.
6	Indicar número de Teléfono, Fax y/o teléfono celular donde contactar al solicitante o su representante legal.
7	Correo electrónico y dirección postal del solicitante o su representante legal.
II. DESCRIPCION DEL PROYECTO	
8	Sector económico en que se ubica el proyecto de acuerdo a la actividad principal que desarrolla.
9	Alcance del proyecto a ejecutar, especificando si es nuevo, ampliación de las actividades económicas en ejecución, rehabilitación de la infraestructura técnica ya sean edificios, maquinaria, o reconversión a otra actividad económica. Indicando con una X la casilla del proyecto solicitado. En caso de no encontrarse dentro de esta lista, el proyecto deberá ser tramitado en la Alcaldía Municipal correspondiente.
10	Especificar si el proyecto se encuentra en la etapa de estudios preliminares (prefactibilidad) o si se encuentra formulado (factibilidad)
11 al 14	Especificar dirección exacta donde está ubicado el proyecto para su localización geográfica. Departamento, municipio, comarca donde está ubicado físicamente el proyecto para su localización geográfica.
15	Especificar las coordenadas UTM de los vértices que definen la superficie territorial o punto donde se ubica el proyecto.
16	Área total ocupada por el proyecto y área ocupada por las instalaciones físicas, en la unidad de medida indicada. Una manzana es iguala 0.7026 hectáreas. En caso de encontrarse en Área Protegida, río, manantiales, estero, costa de lago, bienes paleontológico, históricos u otros indicar los nombre de estos.
17	Indicar el monto global de la inversión en el proyecto expresada en córdobas.
18	Cantidad de empleos directos que serán creados por el proyecto durante el primer año de operaciones. Estimación de la vida útil del proyecto.
19	Indicar que tipo de uso de suelo e infraestructuras se desarrollan dentro de un radio de 1000 metros del centro del proyecto y/o sus límites, como por ejemplo asentamientos humanos, centros culturales, centros turísticos, centros asistenciales, centros educacionales o religiosos, industrias u otros. Si no caben en el espacio asignado por favor use hojas adicionales haciendo referencia al renglón del formulario.
III. CARACTERIZACION DEL ENTORNO DEL PROYECTO	
19	Especificar los recursos naturales y zonas ambientalmente sensibles que se encuentran en un radio de 500 metros con respecto al proyecto.
20	Indicar qué actividades importantes o usos del suelo se desarrollan dentro de un radio de 500 metros

1

	del centro del proyecto y/o sus límites, como por ejemplo asentamientos humanos, centros culturales centros turísticos, centros asistenciales, centros educacionales o religiosos, industrias u otros. Si no caben en el espacio asignado por favor use hojas adicionales haciendo referencia al renglón del formulario.
21	Especificar si en el sitio donde se ubica el proyecto existe algún tipo de riesgo, tales como inundación, sismo, volcanes, incendios, etc. En caso afirmativo describir el tipo de riesgo.
IV. POTENCIALES IMPACTOS NEGATIVOS DEL PROYECTO	
22	Enumere los principales impactos negativos que ocasiona el proyecto durante su fase de diseño.
23	Enumere los principales impactos negativos que ocasiona el proyecto durante su fase de construcción.
24	Enumere los principales impactos negativos que ocasiona el proyecto durante su fase de operación.
25	Enumere los principales impactos negativos que ocasiona el proyecto durante su fase de abandono o cierre.
V. DEMANDAS DEL PROYECTO	
V1. Recursos naturales no renovables	
26	Especificar la demanda de recursos naturales no renovables en volumen diario y anual: se incluye el consumo de agua y energía según la fuente de procedencia. En caso de que la energía sea propia deberá especificarse los volúmenes de combustibles que serán manejados.
V2. De sustancias peligrosas	
27	Si el proyecto utilizará sustancias consideradas como peligrosas, debe especificarse el nombre de la sustancia, el consumo y la forma en que será manipulada o almacenada dicha sustancia. Se podrá tomar en consideración las siguientes características peligrosas: Explosivos, líquidos, sólidos inflamables, sólidos en solución o suspensión (por ejemplo pinturas, barnices, lacas, etcétera, sólidos inflamables Sustancias o residuos sólidos susceptibles de combustión espontánea, Sustancias o residuos sólidos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables, Oxidantes, Peróxidos Orgánicos, Tóxicos (venenos) agudos, Sustancias infecciosas, Corrosivos, Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos), Ecotóxicos.
VI. DESECHOS Y EMISIONES QUE GENERA EL PROYECTO	
28	Especificar los volúmenes de desechos sólidos y emisiones líquidas que genera el proyecto mensual y anual, especificando el manejo o lugar de eliminación final. La información será desglosada por cada tipo de efluente y desecho que se especifica en el cuadro.
VII. DOCUMENTO QUE DEBE ANEXAR	
29	Formulario De Solicitud de Autorización Ambiental debidamente llenado (original y dos copias)
Poder de Representación Legal en caso de ser persona jurídica.	
Perfil del Proyecto: Es el documento que describe al proyecto y debe ser presentado adjunto a la Solicitud de Autorización Ambiental y contendrá como mínimo la siguiente información: Características Generales del Proyecto: 1) Nombre del proyecto, 2) Localización del proyecto, 3) Antecedentes, 4) Justificación, 5) Objetivos generales y específicos. Descripción del proyecto: 1) Describir los principales componentes del proyecto, 2) Tipo y origen de los principales materiales, 3) Duración de los trabajos de construcción (cronograma de ejecución) 4) Requerimientos especiales del proyecto, 5) Tipo y cantidad de maquinaria a utilizar, 6) Manejo y sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas industriales, 7) Tipo y manejo de desechos sólidos, 8) Manejo de aguas pluviales.	
Programa de Gestión Ambiental de acuerdo a Términos de Referencia oficializados por el MARENA.	
En caso que el Proyecto contemple la construcción de Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales, se deberá de presentar los Planos aprobados por el ENACAL , en caso de conectado al Sistema de Alcantarillado presentar carta de Factibilidad del ENACAL.	
Mapa de Localización del Proyecto: Presentar en escala apropiada, donde se observe la ubicación general del proyecto señalando además el área de influencia de 1000 metros colindante. El esquema de distribución de instalaciones será de las principales instalaciones del proyecto incluyendo equipos, edificios, construcciones, sistemas de manejo de aguas residuales y pluviales y de manejo de desechos sólidos y líquidos, si los hubiere. Además deberá de presentar mapas y esquemas de las instalaciones si aplica en el Proyecto.	
Otros Permisos u Autorizaciones que se requieran de acuerdo a la Naturaleza del Proyecto.	
Carta especificando los datos y documentos que considera que por seguridad del proyecto no deben ser del conocimiento del público, en caso contrario se entenderá que toda la información es de	

	dominio público.
VIII. DECLARACIÓN	
	El solicitante de la Autorización Ambiental confirma personal o a través de su representante legal que toda la información suministrada en este instrumento y los anexos que acompañan es verdadera y correcta.

15. Oleoductos y gasoductos de cualquier diámetro que con longitudes iguales menores de cinco kilómetros (5 km) de longitud y ampliación y rehabilitación de oleoductos y gasoductos.
16. Otros conductos (excepto agua potable y aguas residuales) que atraviesen áreas ambientalmente frágiles.
17. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas que generen un caudal entre 150 y 750 m³/día.
18. Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales que generen un caudal inferior a los 200 m³/día, siempre y cuando el efluente no contenga sustancias tóxicas, peligrosas y similares.
19. Generación de energía eléctrica:
 - 19.1 Hidroeléctrica inferior a 10 MW
 - 19.2 Eólica
 - 19.3 A partir de biomasa menores de 10 MW
20. Líneas de distribución eléctrica de la red nacional entre 13.8 y 69 KW.
21. Presas menores de cien hectáreas (100 ha), micro-presas y reservorios.
22. Proyectos de captación y conducción de aguas pluviales para cuencas cuyas superficies sean entre 10 y 20 km².
23. Canales de trasvases cuyo caudal sea entre 50 y 150 m³/seg.
24. Trapiches.
25. Tenerías artesanales y tenerías industriales inferior de cincuenta pieles diarias.
26. Mataderos Industriales y Rastros municipales.
27. Fábricas de la industria química en cuyo proceso tecnológico no se generen sustancias tóxicas, peligrosas y similares.
28. Plantas industriales procesadoras de pescados y mariscos.
29. Industria láctea y sus derivados.
30. Elaboración y procesamiento de concentrados para animales.
31. Fabricación de jabones, detergentes, limpiadores y desinfectantes.
32. Manejo de residuos no peligrosos resultantes de la producción de fertilizantes.
33. Cualquier Zona Franca Operaria y Zonas Francas de almacenamiento y manipulación de productos que no contengan sustancias tóxicas, peligrosas y similares, bajo techo y a cielo abierto, de armadura de piezas de acero y aluminio laminadas en frío, ensamblaje de artículos de fibra de vidrio, ensamblaje de artículos sobre piezas de madera, confecciones textiles sin lavado ni teñido, artículos y productos de arcilla y vidrio, confecciones de calzados.
34. Elaboración de artículos de fibra de vidrio.
35. Manipulación, procesamiento y transporte de aceites usados.
36. Fábricas y establecimientos dedicados a la reutilización del caucho.
37. Producción industrial de cal y yeso.
38. Gasolineras, planes de cierre, remodelación y rehabilitación.
39. Hospitales.
40. Zoológicos y zoo-criaderos.
41. Centros de acopio lechero.
42. Granjas porcinas.
43. Granjas avícolas.
44. Rellenos sanitarios de Desechos Sólidos no Peligrosos con un nivel de producción inferior a las 500,000 kg/día.
45. Prospección geotérmica y geológica.

	46. <input type="checkbox"/> Obra abastecimiento agua potable. Planta potabilizadora con poblaciones mayores de cien mil (100,000) habitantes y campos de pozos.							
	47. <input type="checkbox"/> Aserraderos.							
10	Etapas del proyecto: Prefactibilidad <input type="checkbox"/> Factibilidad <input type="checkbox"/>							
	Ubicación:		(11) Dirección exacta:					
12	Departamento:							
13	Municipio:							
14	Comarca:							
15	Coordenadas planas de los vértices del área del proyecto:							
16	Área ocupada por el proyecto (Ha):			Área ocupada por las infraestructura (Ha):				
17	Monto estimado de la Inversión Total del proyecto:					C\$		
18	Número de empleos directos:		Cantidad de Mujeres:		Vida útil del proyecto (años):			
III CARACTERIZACION DEL ENTORNO DEL PROYECTO								
19	Especifique cuáles de las siguientes áreas y/o componentes ambientales se encuentran en un radio de 500 metros del terreno donde se ubicará el proyecto:							
	Áreas Protegidas	Ríos, Manantiales	Esteros	Costa del Lago	Bienes Paleontológicos	Bienes Históricos	Otras Áreas Sensibles	
	Nombres del Sitio: _____							
20	Especifique cuáles de las siguientes Actividades o Usos se desarrollan en las áreas colindantes con el proyecto en un radio de 500 m del terreno donde se ubicará el proyecto:							
	Residencial	Asistencial	Educativa	Turística	Religioso	Industrial	Público	Agrícola
	Nombres del Sitio: _____							
21	¿Existe algún riesgo para el proyecto originado por el entorno (geológico, climatológico, fluvial, antrópico o de otro tipo)? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> . En caso afirmativo especificar el tipo de riesgo: _____							

IV POTENCIALES IMPACTOS NEGATIVOS QUE GENERA EL PROYECTO											
	POTENCIALES IMPACTOS NEGATIVOS										
22	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Etapas del proyecto</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Diseño</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> </tr> </table>	Etapas del proyecto		Diseño	1		2		3		4
Etapas del proyecto											
Diseño	1										
	2										
	3										
	4										

23	Construcción	1
		2
		3
		4
		5
24	Operación	1
		2
		3
		4
		5
25	Abandono	1
		2
		3
		4
		5

NOTA: Use hojas adicionales si es necesario

V DEMANDAS DEL PROYECTO																																															
V.1 RECURSOS NO RENOVABLES																																															
26	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Fuente de Abastecimiento</th> <th colspan="3">Consumo</th> </tr> <tr> <th>U.M.</th> <th>Construcción del proyecto</th> <th>Operación del proyecto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agua Procedente de la Red</td> <td>M3/día</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua Procedente de pozos</td> <td>M3/día</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua Procedente de otras fuentes</td> <td>M3/día</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energía eléctrica procedente de red nacional</td> <td>Kw/hora</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energía eléctrica procedente fuente propia</td> <td>Kw/hora</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Fuente de Abastecimiento	Consumo			U.M.	Construcción del proyecto	Operación del proyecto	Agua Procedente de la Red	M3/día			Agua Procedente de pozos	M3/día			Agua Procedente de otras fuentes	M3/día			Energía eléctrica procedente de red nacional	Kw/hora			Energía eléctrica procedente fuente propia	Kw/hora																			
Fuente de Abastecimiento	Consumo																																														
	U.M.	Construcción del proyecto	Operación del proyecto																																												
Agua Procedente de la Red	M3/día																																														
Agua Procedente de pozos	M3/día																																														
Agua Procedente de otras fuentes	M3/día																																														
Energía eléctrica procedente de red nacional	Kw/hora																																														
Energía eléctrica procedente fuente propia	Kw/hora																																														
En caso de que la energía sea generada por fuente propia indicar el tipo: _____																																															
27	V.2. SUSTANCIAS PELIGROSAS																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción de las sustancias o productos</th> <th>U.M.</th> <th>Consumo mensual durante la operación del proyecto</th> <th>Forma o lugar de almacenamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				Descripción de las sustancias o productos	U.M.	Consumo mensual durante la operación del proyecto	Forma o lugar de almacenamiento																																								
Descripción de las sustancias o productos	U.M.	Consumo mensual durante la operación del proyecto	Forma o lugar de almacenamiento																																												

VI DESECHOS Y EMISIONES QUE GENERA EL PROYECTO					
Describir los tipos de desechos y emisiones que generará el proyecto:					
28	Tipos de desechos y emisiones del proyecto	U.M	Volumen generado mensual	Volumen generado anual	Manejo o lugar de eliminación
	Aguas residuales domésticas (son las aguas provenientes de la actividad doméstica)				
	Aguas residuales industriales (provenientes de torres de enfriamiento, calderas y lavados que no conlleven químicos o grasas)				
	Aguas residuales agropecuarias.				
	Emisión de partículas en suspensión				
	Emisión de gases tóxicos				
	Emisión de malos olores				
	Desechos sólidos domésticos (orgánicos, biodegradables)				
	Desechos sólidos industriales (papel, textiles, azufre, u otros)				
	Desechos sólidos comunes no combustibles (vidrio, mampostería, sedimentos, metales)				
	Desechos especiales (Generado por la industria o los procesos de tratamiento, lodos, bioinfecciosos, grasas)				
	Desechos radiactivos				

NOTA: use hojas adicionales si es necesario

VII DECLARACION	
<p>Yo, confirmo que toda la información suministrada en este instrumento y los anexos que la acompañan es verdadera y correcta y someto por este medio la Solicitud de Autorización Ambiental para realizar las actividades económicas que integra el proyecto antes descrito.</p> <p>Todas las personas naturales y jurídicas que participen, de cualquier modo, en el proceso de solicitud de Autorización Ambiental responderán por la veracidad de la información aportada y por las consecuencias que se deriven de su ocultamiento o falsedad de Conformidad al Artículo 16 de la Ley No. 559 2Ley especial de Delitos contra el Medio Ambiente y los Recursos Naturales”.</p>	
Fecha de Solicitud :	
Firma de Solicitante o Representante Legal:	
Fecha de Recibido:	
Nombre, firma y Sello del funcionario autorizado que recibe:	
<p>_____</p> <p>Nombre y Apellido</p>	
VIII PROTECCION DE LA INFORMACION	
29	Especifique cuales de los datos presentados en esta solicitud usted considera que no deben ser del dominio público.

GUIA PARA LA ELABORACION DE LOS PROGRAMAS DE GESTION AMBIENTAL PARA LOS PROYECTOS CATEGORIA III

El proponente del proyecto entregará, conjuntamente con el formulario debidamente completado, un Programa de Gestión Ambiental que comprende la siguiente información:

- Plan de Medidas Ambientales
- Plan de Contingencia ante riesgo

1. Contenido del Plan de Medidas Ambientales

El plan de medidas ambientales tiene por objeto prevenir los efectos adversos de los impactos ambientales negativos generados por el proyecto, así como definir el o los responsables de la ejecución de las medidas y determinar el costo en que se incurre por prevenir ese efecto adverso.

Lo que se persigue es que los impactos detectados en la fase de proyección que contravengan normas técnicas, reglamentos o normas de protección o conservación del ambiente en vigor, deben establecerse medidas de mitigación antes de que se dé por culminado el proyecto, considerándose esas medidas como un proceso normal dentro del ciclo del proyecto.

En el siguiente cuadro se resume el contenido mínimo exigido para elaborar un Plan de Mitigación de los impactos ambientales negativos identificados en el formulario ambiental, que genera el proyecto.

Cuadro guía para la confección del Plan de Medidas de Mitigación

DESCRIPCIONES DE LAS MEDIDAS	EFECTO A CORREGIR SOBRE UN FACTOR AMBIENTAL	IMPACTO QUE SE PRETENDE MITIGAR	MOMENTO O ETAPA DE INTRODUCCION	COSTO DE LA MEDIDA	RESPONSABLE DE LA GESTION DE LA MEDIDA

Significados:

- ✓ **Descripción de las medidas:** Se deben relacionar las medidas de mitigación que se proponen incorporar.
- ✓ **Efecto a corregir sobre un factor ambiental:** Describir el efecto que se pretende corregir sobre un factor ambiental a través de la medida.
- ✓ **Impacto que se pretende mitigar:** Relacionar la causa que produce el efecto.
- ✓ **Momento o etapa de introducción:** Especificar el momento dentro del ciclo del proyecto en el cual debe realizarse la medida.
- ✓ **Responsable de la gestión de la medida:** Especificar sobre quién recae la responsabilidad directa por el cumplimiento de la medida.

Las medidas de mitigación se clasifican en:

- **Generales:** Las medidas generales agrupan al conjunto de medidas que tienen una finalidad preventiva y pueden ser aplicadas a cualquier tipo de proyecto, su finalidad es prevenir cualquier malestar público como son la emisión de polvos, ruidos, molestias a la circulación vehicular, daños a las propiedades colindantes, arrastres de sedimentos y desechos fuera del área de la obra, etc.
- **Específicas:** Son medidas de mitigación que responden a impactos ambientales importantes que han sido identificados para el proyecto.

2. Plan de Contingencias ante riesgo

El plan de contingencias ante riesgos tiene el propósito de definir las acciones que deben realizarse para prevenir los efectos adversos de los desastres ante la presencia de un alto peligro en el sitio.

El Plan se elabora para aquellos tipos de peligros tales como inundación, sismo, vulcanismo, deslizamiento de tierras, peligro de explosión e incendios u otros.

Una vez localizada la variable generadora de peligro se describe en la columna **DESCRIPCION** de la matriz señalada a continuación, las características del peligro, luego en la columna **MEDIDA PREVENTIVA O DE RESPUESTA** se enumeran las acciones que se deben realizar para prevenir o mitigar los efectos adversos del peligro y los responsables de ejecutar dichas medidas.

DESCRIPCION DE LA VARIABLE (Tipo de Peligros)	MEDIDAS PREVENTIVAS O DE RESPUESTA	RESPONSABLE
SISMICO		
DESLIZAMIENTOS		
INUNDACIÓN		
CONTAMINACIÓN, PELIGROS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN		
Entre otras		

- **Anexo D:** Estimación de costos para instalación y equipos para una estación base (GSM/UMTS).
- Estimación de Costos de integración y equipos para un **BTS**.

Equipo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Antena	3	1,500 US\$	4,500 US\$
RBS	1	35,000 US\$	35,000 US\$
Conectores	24	33 US\$	792 US\$
Feeder 7/8	120	47 US\$	5,640 US\$
Costos de estructura, instalación, sistema eléctrico y seguridad	1	200,000 US\$	200,000 US\$
TOTAL			245,932 US\$

- Estimación de Costos de integración y equipos para un **Nodo B**.

Equipo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Antena	3	1,500 US\$	4,500 US\$
RBS	1	40,000 US\$	40,000 US\$
Conectores	24	33 US\$	792 US\$
Cables Feeder (7/8'')	120	47 US\$	5,640 US\$
Costos de estructura, instalación, sistema eléctrico y seguridad	1	200,000 US\$	200,000 US\$
TOTAL			250,932 US\$