

# **Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia - RNTE**

**FONTIC**

**CONSORCIO ITELCA – STI**

**Contrato Nro. 00994 – 2012**

# **Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias y Establecimiento de un Marco Normativo para el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia**

Junio de 2013





## **FONTIC CONTRATO No. 00994 de 2012**

**OBJETO:** Realización de un estudio que contiene el diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia y el establecimiento de un marco normativo para el fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia.

### **Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia - RNTE**

**Bogotá, Junio de 2013**



## CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
GLOSARIO Y ACRÓNIMOS .....	18
<b>1 INTRODUCCION.....</b>	<b>29</b>
1.1 OBJETIVOS.....	31
1.1.1 Objetivo General .....	31
1.1.2 Objetivos Específicos .....	31
1.2 ALCANCE .....	32
1.3 METODOLOGÍA .....	38
1.4 HERRAMIENTAS DE DISEÑO .....	41
1.5 CARTOGRAFÍA.....	42
1.6 CONCEPTOS GENERALES USADOS POR EL GRUPO CONSULTOR.....	43
<b>2 ANÁLISIS DE AMENAZAS GEOLÓGICAS E HIDROMETEREOLÓGICAS EN EL PAÍS .....</b>	<b>47</b>
2.1 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO .....	47
2.2 AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL.....	48
2.2.1 Amenaza Sísmica .....	51
2.2.2 Amenaza Volcánica.....	58
2.2.3 Amenaza por Inundaciones.....	68
2.2.4 Amenaza por Remoción en Masa (Deslizamientos) .....	71
2.2.5 Amenaza por Tsunamis .....	73
2.2.6 Amenaza por Incendios.....	75
2.3 METODOLOGÍA PARA LA TIPIFICACIÓN DE LAS MULTI-AMENAZAS .....	77
2.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS GEOLÓGICO .....	80
<b>3 ATRIBUTOS Y TENDENCIAS DE LAS REDES DE EMERGENCIA .....</b>	<b>83</b>
3.1 SERVICIOS DE VOZ .....	85
3.2 SERVICIOS MULTIMEDIA.....	87
3.3 REDES COMERCIALES O RED PRIVADA PARA LA RNTE.....	93
3.4 TENDENCIAS DE LAS REDES DE EMERGENCIA.....	95
3.5 ALTERNATIVAS DE EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE EMERGENCIAS.....	96
<b>4 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS.....</b>	<b>102</b>
4.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES DE RADIO Y LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS.....	103
4.2 P-25.....	105
4.2.1 Descripción de la tecnología .....	105
4.2.2 Cobertura .....	106
4.2.3 Capacidad.....	106



4.2.4	Bandas de Frecuencia .....	106
4.2.5	Eficiencia espectral .....	107
4.2.6	Redundancia .....	107
4.2.7	Componentes de la red .....	107
4.2.8	Administración.....	109
4.2.9	Servicios .....	109
4.2.10	Terminales.....	110
4.2.11	Estandarización .....	111
4.2.12	Madurez y futuro de la tecnología.....	112
4.2.13	Costos referenciales.....	113
4.2.14	Ventajas y desventajas.....	113
4.3	TETRA.....	114
4.3.1	Descripción de la tecnología .....	114
4.3.2	Cobertura .....	116
4.3.3	Capacidad.....	116
4.3.4	Bandas de Frecuencia .....	116
4.3.5	Eficiencia espectral .....	117
4.3.6	Redundancia .....	118
4.3.7	Componentes de la red .....	118
4.3.8	Administración.....	123
4.3.9	Servicios .....	125
4.3.10	Terminales.....	128
4.3.11	Estándares de la industria a los que se ajusta.....	129
4.3.12	Madurez y futuro.....	129
4.3.13	Costos Referenciales .....	130
4.3.14	Ventajas y desventajas.....	130
4.4	SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE P-25 Y TETRA .....	131
4.5	LTE: LONG TERM EVOLUTION.....	132
4.5.1	Fundamento Tecnológico y Características de la Tecnología.....	132
4.5.2	Cobertura .....	135
4.5.3	Capacidad.....	135
4.5.4	Bandas de Frecuencia .....	136
4.5.5	Eficiencia espectral .....	136
4.5.6	Redundancia .....	137
4.5.7	Componentes de la red .....	137
4.5.8	Administración.....	142
4.5.9	Servicios .....	142
4.5.10	Terminales.....	142
4.5.11	Estandarización, Madurez y Futuro de la Tecnología .....	143
4.5.12	Costos Referenciales .....	144
4.5.13	Ventajas y desventajas.....	144



4.6	MATRIZ DE CALIFICACIÓN.....	145
4.6.1	Metodología de Calificación .....	147
4.6.2	Matriz Comparativa .....	151
4.7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TECNOLOGÍA .....	151
<b>5</b>	<b>PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIA.....</b>	<b>153</b>
5.1	FACTORES PARA SELECCIONAR LAS BANDAS PPDR.....	155
5.2	¿QUÉ DICE LA UIT? .....	157
5.3	SITUACIÓN EN DIFERENTES PAÍSES .....	159
5.4	REVISIÓN DE LA OCUPACIÓN DE LAS BANDAS POTENCIALES DE ATRIBUIRSE A LAS REDES PPDR EN COLOMBIA .....	160
5.5	RECOMENDACIONES SOBRE LAS BANDAS DE USO POTENCIAL EN LAS REDES PPDR.....	162
<b>6</b>	<b>REQUERIMIENTOS DE LA RNTE .....</b>	<b>166</b>
6.1	INFRAESTRUCTURA DE SOPORTE A UTILIZAR.....	166
6.2	USUARIOS DE LA RED.....	167
6.2.1	Usuarios Actuales .....	169
6.2.2	Otros Usuarios Eventuales.....	172
6.3	SERVICIOS GENERALES.....	173
6.3.1	Servicios de usuario .....	173
6.3.2	Servicios de red .....	175
<b>7</b>	<b>PROPUESTA DE ARQUITECTURA Y TOPOLOGÍA PARA LA RNTE.....</b>	<b>178</b>
7.1	ARQUITECTURA PROPUESTA DE LA RNTE .....	178
7.1.1	Redes de Nueva Generación (NGN) .....	178
7.2	TOPOLOGÍA PROPUESTA DE LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE EMERGENCIA .....	180
7.2.1	Descripción de la Topología de la RNTE.....	184
7.3	PROPUESTA DE DISEÑO .....	190
7.3.1	Fase I: Implementación sobre las Redes Existentes de Telefonía Pública Fijas y Móviles.....	192
7.3.2	Fase II: Implementación de la Nueva RNTE - LTE .....	195
<b>8</b>	<b>DISEÑO DE LA RNTE SOPORTADA SOBRE LAS REDES PÚBLICAS DE TELECOMUNICACIONES FIJAS Y MÓVILES.....</b>	<b>198</b>
8.1	REDES MÓVILES Y FIJAS EXISTENTES.....	198
8.1.1	Cobertura de las redes móviles .....	198
8.1.2	Priorización de Llamadas sobre las Redes de Telefonía Fija y Móvil, para las Autoridades SNGRD, durante las Emergencias .....	200
8.2	RED DE RADIO EN BANDA HF .....	201
8.2.1	Situación Actual .....	201
8.2.2	Propuesta de Fortalecimiento para la Red de Radio en Banda HF de la UNGRD, CDGRD y CMGR .....	206



8.3 RED DE RADIO EN BANDA VHF .....	207
8.3.1 Situación Actual .....	207
8.3.2 Propuesta de Fortalecimiento de la Red de Radio en Banda VHF de la UNGRD, CDGR Y CMGR .....	211
8.3.3 Metodología del Diseño.....	211
8.3.4 Parámetros del Diseño.....	215
8.3.5 Diseño.....	218
8.3.6 Diseño Eléctrico para la Red de Radio en banda VHF Fortalecida.....	230
8.3.7 Interconexión e Interoperabilidad de las Redes VHF y HF .....	232
8.3.8 Recomendaciones para las Redes de Radio en Banda VHF.....	234
8.4 PROPUESTA DE PUSH TO TALK OVER CELLULAR (PoC) .....	235
<b>9 DISEÑO DE LA NUEVA RNTE - LTE.....</b>	<b>244</b>
9.1 DEFINICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE LA RED LTE EN LA BANDA DE 700 MHz .....	244
9.1.1 Ambientes de Operación de la Red de Emergencia .....	244
9.1.2 Aplicaciones Utilizadas en la RNTE .....	244
9.1.3 Cálculo de Requerimientos Espectrales para la Red de Banda Ancha de la RNTE .....	246
9.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO .....	263
9.3 PARÁMETROS DEL DISEÑO .....	265
9.4 DISEÑO DE LA RED .....	267
9.4.1 Nivel de Acceso .....	267
9.4.2 Nivel de Transporte.....	290
9.4.3 Nivel de Core y Gestión de la red.....	301
9.4.4 Interconexión con otras redes .....	311
9.5 DISEÑO ELÉCTRICO PARA LA RNTE - LTE.....	316
9.5.1 Nivel de Acceso .....	316
9.5.2 Nivel de Transporte.....	320
9.5.3 Nivel de Core .....	320
9.6 TERMINALES PROPUESTAS.....	320
9.7 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA RNTE 325	
9.7.1 Dimensionamiento para las redes de acceso y backhaul .....	325
9.7.2 Componentes de la RNTE.....	332
9.7.3 Red Metropolitana de Bogotá y sus componentes de Networking.....	338
<b>10 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RNTE.....</b>	<b>341</b>
10.1 CONDICIONES MÍNIMAS .....	343
10.2 ANS - ACUERDOS DE NIVELES DE SERVICIO .....	344
10.2.1 Tiempos de Repuesta para Solución de Fallas.....	346
10.2.2 Mantenimientos Preventivos.....	346



10.2.3	Reportes del Servicio .....	346
10.3	OPERACIÓN DEL CORE DE EMERGENCIAS .....	347
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>348</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>351</b>
	<b>ANEXOS 355</b>	
I.	Matriz de Multi-amenazas .....	355
II.	Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de la Red de Radio en Banda HF de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR .....	355
III.	Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de la Red de Radio en Banda VHF de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR .....	355
IV.	Sitios existentes de la Red de Radio en Banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR con los comentarios de verificación de información.....	355
V.	Configuración de los Sitios de la Red de Radio en Banda VHF Existente de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR .....	355
VI.	Mapas de cobertura de la Red de Radio Existente en banda VHF .....	356
VII.	Documentación Técnica del Modelo de Propagación.....	356
VIII.	Sitios RNTE en VHF fortalecida con coordenadas y especificaciones técnicas .....	356
IX.	Mapas de cobertura de la Red de Radio en banda VHF Fortalecida .....	356
X.	Soluciones de extensión de cobertura.....	357
XI.	Diseño Eléctrico de la RNTE .....	358
XII.	Cálculo de requerimientos de ancho de banda para RNTE LTE .....	358
XIII.	Cálculos Voz RNTE .....	358
XIV.	Mapas de cobertura de la RNTE LTE .....	358
XV.	Coordenadas para los sitios de la RNTE LTE .....	359
XVI.	Análisis de los municipios y cálculos de los eNodeB requeridos para la RNTE LTE .....	359
XVII.	Disponibilidad de RNTE LTE por municipio .....	359
XVIII.	Equipos Agregadores de la RNTE LTE .....	359



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Relación entre Viviendas Destruídas y Pérdidas de Vida, 1970-2011 por Eventos Hidro-metereológicos y Geológicos en Colombia.....	50
Gráfica 2 Pérdidas (Humanas y Viviendas) por Tipo de Evento en Colombia (no se incluye la erupción del Nevado del Ruiz, 1985) .....	51
Gráfica 3 Espectro Promedio Utilizado en MHz .....	262
Gráfica 4 Espectro Promedio Utilizado en el Enlace Ascendente en MHz, Incluyendo Caso para Bogotá .....	262
Gráfica 5 Espectro Promedio Utilizado en el Enlace Descendente en MHz, Incluyendo Caso para Bogotá .....	263
Gráfica 6 Retardo Relativo Vs el Uso de la Capacidad. ....	280
Gráfica 7 Curvas de Trafico, Capacidad, Costo e ingresos de los Operadores Móviles .....	295
Gráfica 8 Zonas de Fresnel entre la Trayectoria de las Dos Antenas.....	301



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Definición de Riesgo .....	48
Ilustración 2 Zonificación del Riesgo Sísmico en Colombia.....	54
Ilustración 3 Mapa de Zonificación de Aceleración Sísmica Aa (g) .....	55
Ilustración 4 Mapa Nacional de Amenaza Sísmica – Periodo de Retorno 475 años .....	56
Ilustración 5 Mapa Amenaza Machín .....	61
Ilustración 6 Mapa Amenaza Nevado Huila .....	62
Ilustración 7 Mapa Amenaza Volcán Cerronegro .....	63
Ilustración 8 Mapa Amenaza Volcán Chiles .....	64
Ilustración 9 Mapa Amenaza Volcán Ruiz.....	65
Ilustración 10 Mapa Amenaza Volcán Galeras.....	66
Ilustración 11 Mapa Amenaza Volcán Santa Isabel y Tolima .....	67
Ilustración 12 Mapa de Susceptibilidad de Amenaza por Inundaciones .....	70
Ilustración 13 Mapa de Amenazas por Remoción en Masa .....	72
Ilustración 14 Mapa de Amenazas por Tsunamis.....	74
Ilustración 15 Mapa Nacional de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal	76
Ilustración 16 Mapa de Superposición de Amenazas Altas y Medias de las Temáticas de Amenaza Sísmica, Volcánica, Remoción en Masa, Incendios, Inundaciones y Tsunamis .....	78
Ilustración 17 Cuatro Alternativas de Evolución de las Redes de Emergencia e Impacto en Requisitos de Red .....	93
Ilustración 18: Aplicaciones e Impacto en la Capacidad de la Red y su Etapa de Desarrollo ....	98
Ilustración 19 Evolución de las Redes de Banda Ancha Móvil .....	99
Ilustración 20 Evolución de las Tecnologías de las Redes de Emergencia .....	100
Ilustración 21 Sistema Trunking P25 de Motorola .....	108



Ilustración 22: Configuración SwMI.....	119
Ilustración 23: Interfaces TETRA .....	121
Ilustración 24: Evolución de la familia de tecnología 3GPP.....	134
Ilustración 25: Arquitectura de una red LTE .....	138
Ilustración 26 Red de Acceso LTE.....	140
Ilustración 27 Alcance de las Celdas en Diferentes Perfiles de Terreno.....	157
Ilustración 28 Regiones Definidas por la UIT .....	158
Ilustración 29: Plan de Canalización A5 adaptado para Colombia .....	164
Ilustración 30 Modelos de Capas de las Redes NGN .....	180
Ilustración 31 Topología de la RNTE .....	183
Ilustración 32 Topología en Anillo de una Cabecera Municipal .....	185
Ilustración 33 Interconexión de los Componentes del IMS .....	189
Ilustración 34 Interconexión de los Componentes del EPC.....	190
Ilustración 35 Mapa de Cobertura 3G en Colombia (2010) .....	199
Ilustración 36 Red de Radio en Banda HF de la UNGRD .....	202
Ilustración 37 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Atlántica.....	219
Ilustración 38 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Pacífica.....	220
Ilustración 39 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Andina .....	221
Ilustración 40 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Territorios Nacionales.....	222
Ilustración 41 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF San Andrés y Providencia .....	223
Ilustración 42 Cobertura RNTE Zona Atlántica en Banda VHF fortalecida .....	225
Ilustración 43 Cobertura RNTE Zona Pacífica en Banda VHF Fortalecida .....	226
Ilustración 44 Cobertura RNTE Zona Andina en Banda VHF fortalecida.....	227



<b>Ilustración 45 Cobertura RNTE Zona Territorios Nacionales en Banda VHF fortalecida.</b>	<b>228</b>
<b>Ilustración 46 Cobertura RNTE San Andrés y Providencia en Banda VHF Fortalecida ...</b>	<b>229</b>
Ilustración 47 Conexión IP a redes de Radio .....	232
Ilustración 48 Interconexión del Cross Connect de Canales .....	234
Ilustración 49 Descripción de los Elementos de PoC – Servidores .....	237
Ilustración 50 Descripción de los elementos de PoC – UMTS.....	239
Ilustración 51 Arquitectura típica de una red PoC .....	240
Ilustración 52 Funcionalidad PPT en la Terminal .....	241
Ilustración 53 Funcionalidad de grupos en la Terminal .....	242
Ilustración 54 Simulación RSRP de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza)....	270
Ilustración 55 Simulación RSRQ de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza)....	271
Ilustración 56 Throughput en Downlink de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza) .....	272
Ilustración 57 Simulación RSRP de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica).....	273
Ilustración 58 Simulación RSRQ de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica).....	274
Ilustración 59 Throughput en Downlink de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica).....	275
Ilustración 60 Simulaciones Mitú (Sitio con Alto Riesgo de-Inundación) .....	276
Ilustración 61 Interfaz de la Red de Backhaul de LTE.....	278
Ilustración 62 Disponibilidad de un Anillo Metropolitano de Fibra Óptica.....	281
Ilustración 63 Backup Transportable.....	288
Ilustración 64 Celda Metro Outdoor .....	289
Ilustración 65 Celda Metro Outdoor .....	289



Ilustración 66 Micro celda 2G.....	290
Ilustración 67 Backbone Nacional de Fibra Óptica.....	293
Ilustración 68 Arquitectura de la RNTE .....	301
Ilustración 69 Procesos de Operación del Nivel 2.....	305
Ilustración 70 Sistema de Aseguramiento.....	307
Ilustración 71 Estructura de la Red LTE.....	312
Ilustración 72 Interconexión de la RNTE LTE con Redes P.25 .....	314
Ilustración 73 Interconexión del MGCF como el MGW con el Core IP del core LTE.....	315
Ilustración 74 Terminales Móviles que se pueden utilizar para la RNTE .....	324
Ilustración 75 PDA que se pueden utilizar para la RNTE .....	325
Ilustración 76 Estaciones de Trabajo Móviles que se pueden utilizar para la RNTE .....	325
Ilustración 77 Anillo 1 Gbps .....	332
Ilustración 78 Anillos 1 Gbps.....	334
Ilustración 79 Cabeceras con 3 eNodeB.....	337
Ilustración 80 Red Metropolitana de Bogotá .....	339



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Calificación de Tecnologías Requerida en el Pliego.....	34
Tabla 2 Especificaciones de la Cartografía utilizada en el Diseño de la RNTE .....	42
Tabla 3 Cartografía sobre Amenazas Geológicas y Naturales .....	43
Tabla 4 Mapas de Amenaza Volcánica Disponibles.....	59
Tabla 5 Aplicaciones e Intensidad de Uso en las Redes de Emergencias .....	90
Tabla 6 Aplicaciones en Términos de Rendimiento, Latencia, Robustez en las Redes de Emergencia .....	91
Tabla 7 Diferencias entre Sistemas de Radio Convencionales y Sistemas Troncalizados .....	104
Tabla 8: Fabricantes Participantes en el Proceso IOP .....	123
Tabla 9: Diferencias entre P25 y TETRA .....	132
Tabla 10 Etapas del Desarrollo del Estándar LTE Rel.12 para Redes PPDR .....	143
Tabla 11 Áreas Claves de Trabajo para LTE en Redes PPDR .....	144
Tabla 12 Tabla de parámetros de simulación .....	147
Tabla 13 Resultado de simulación de cobertura desde Cerro Suba, con las diferentes tecnologías .....	147
Tabla 14: Matriz de Comparación de Tecnologías .....	151
Tabla 15 Alcance de las Radio base en Diferentes Bandas de Frecuencia en Área Urbana...	156
Tabla 16 Alcance de las Celdas en Diferentes Perfiles de Terreno.....	156
Tabla 17 Bandas de Frecuencia Utilizadas para Redes PPDR en Diferentes Países .....	160
Tabla 18 Síntesis de las Bandas de Frecuencias Recomendadas para la Red PPDR .....	165
Tabla 19 Usuarios de la RNTE de acuerdo a las Entidades que Hacen Parte del Sistema .....	169
Tabla 20: Usuarios Actuales y Futuros de la RNTE .....	170
Tabla 21 Cobertura de los principales operadores móviles del país 2012-3T .....	200



Tabla 22 Inventario Equipos UNGRD Banda HF.....	201
Tabla 23 Inventario Equipos Dirección Nacional De Bomberos De Colombia Banda HF .....	203
Tabla 24 Frecuencias HF de la Defensa Civil Colombiana .....	204
Tabla 25 Inventario Equipos Defensa Civil Colombiana Banda HF .....	205
Tabla 26 Inventario Equipos Cruz Roja Banda HF .....	206
Tabla 27 Inventario Equipos MinSalud Banda HF .....	206
Tabla 28 Puntos de Repetición Red de Radio banda VHF UNGRD.....	208
Tabla 29 Puntos de Repetición Red de Radio banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos .....	209
Tabla 30 Puntos de Repetición de la Red Cruz Roja Colombiana .....	209
Tabla 31 Puntos de Repetición de la Red de Radio en banda VHF de Defensa Civil Colombiana .....	210
Tabla 32 Puntos de Repetición de la Red de Radio en Banda VHF de MinSALUD .....	210
Tabla 33 Definición de Clutter.....	216
Tabla 34 Link Budget.....	217
Tabla 35 Nivel de Señal de RF .....	218
Tabla 36 Cantidad de sitios de repetidores de radio en banda VHF.....	224
Tabla 37 Equipos Radio Base para Extensión de Cobertura.....	230
Tabla 38 UPS para Repetidores en banda VHF.....	231
Tabla 39 Retardo de PoC .....	240
Tabla 40 Aplicaciones de la RNTE.....	246
Tabla 41 Matriz configurada para la RNTE .....	252
Tabla 42 Eficiencia Espectral usada en la RNTE .....	253
Tabla 43 Velocidad Agregada de las Aplicaciones de Datos de la RNTE .....	255
Tabla 44 Velocidad Agregada de las Aplicaciones de Voz y Datos de la RNTE.....	255



Tabla 45 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos de la RNTE.....	256
Tabla 46 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos de la RNTE .....	256
Tabla 47 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos en el Enlace Ascendente .....	259
Tabla 48 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos en el Enlace Descendente .....	259
Tabla 49 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos en el Enlace Ascendente.....	259
Tabla 50 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos en el Enlace Descendente .....	259
Tabla 51 Parámetros Generales para el Diseño de la RNTE LTE.....	265
Tabla 52 Características del Terminal Móvil de Usuario de la RNTE LTE.....	267
Tabla 53 Características de los eNodeB de la RNTE LTE .....	267
Tabla 54 Velocidad Pico Estimada de un Radio LTE 2X2.....	277
Tabla 55 Velocidad de Backhaul en Función del Tipo Celda.....	279
Tabla 56 Disponibilidad Total y Minutos Indisponibles de un Anillo Metropolitano de 10 Gbps	283
Tabla 57 Ejemplo de Resultados de las características de los Anillos de la Red de Backhaul	285
Tabla 58 Listado de Municipios Sin acceso a Fibra Óptica .....	287
Tabla 59 Disponibilidad Contractual de la Red de Fibra Óptica de Azteca Comunicaciones Colombia .....	292
Tabla 60 Distancia de las Cabeceras Municipales a la capital de departamento a la que pertenecen.....	293
Tabla 61 Velocidad Agregada Total Anillo Centro.....	297
Tabla 62 Velocidad Agregada Total Anillos Norte .....	297
Tabla 63 Velocidad Agregada Total Anillo Este .....	298
Tabla 64 Velocidad Agregada Total Anillo Sur.....	298



Tabla 65 Resultados de Diseño del Enlace Microondas entre San Andrés Islas y Providencia	301
Tabla 66 Configuración de los Servidores para Atender los Elementos de la RNTE .....	308
Tabla 67 Ancho de Banda Requerido para Acceder a los Elementos de Red .....	309
Tabla 68 Configuración Eléctrica de los Sitios Prototipo de la RNTE .....	317
Tabla 69 Ciudades donde se Ubicarán Plantas Fijas de Cabina o Abiertas .....	318
Tabla 70 Sitios donde se Ubicarán Plantas Móviles.....	318
Tabla 71 Características Técnicas de las Plantas Eléctricas de Emergencia .....	319
Tabla 72 Resumen características de rectificadores para la RNTE.....	319
Tabla 73 IEC 60529 Primer dígito .....	322
Tabla 74 IEC 60529 Segundo dígito .....	323
Tabla 75 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren un eNodeB, Disponibilidad, MTBF y Probabilidad de Falla.....	327
Tabla 76 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Dos eNodeB, Disponibilidad, MTBF y Probabilidad de Falla.....	328
Tabla 77 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Tres eNodeB, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla.....	329
Tabla 78 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Cuatro eNodeB, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla.....	329
Tabla 79 Municipios con Más de un Anillo de 1 Gbps, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla.....	330
Tabla 80 Municipios que Requieren Anillos de 10 Gbps, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla.....	331
Tabla 81 eNodeB requeridos para la RNTE.....	334
Tabla 82 Componentes en el Switch Agregador de las Capitales de Departamento.....	335
Tabla 83 Componentes del Enrutador Agregador de las Cabeceras Municipales y del Enrutador hacia WAN de la Ciudad Metropolitana .....	336
Tabla 84 Distribución de eNodeB y Anillos por Departamento.....	338



Tabla 85 Componentes en el Switch Agregador de la Red Metropolitana de Bogotá.....	340
Tabla 86 Componentes del Enrutador Agregador de Municipios y del Enrutador hacia WAN de la Red Metropolitana de Bogotá.....	340
Tabla 87 Valores de ANS operativos para la RNTE .....	345
Tabla 88 Tiempo Típicos de Respuesta.....	346



## GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

### #

**3GPP Association:** 3rd Generation Partnership Project. El Proyecto de Asociación de Tercera Generación reúne a seis organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC), conocidos como "Organizational Partners", y ofrece a sus miembros un entorno estable para producir los informes y las especificaciones exitosas que definen las tecnologías 3GPP.

### A

**Antrópico:** Adjetivo que se refiere a lo relativo por estar asociado, influido, ser perteneciente o incluso contemporáneo al ser humano<sup>1</sup>.

**ATCA:** Advanced Telecommunication Computing Architecture. La Arquitectura de Computación de Telecomunicaciones Avanzada es una especificación dirigida principalmente a las necesidades de equipos de comunicaciones "carrier grade" de nueva generación que incorpora las últimas tendencias en tecnologías de interconexión de alta velocidad, procesadores de última generación y una mejor fiabilidad, disponibilidad y capacidad de servicio (RAS).

### B

**Banda Ancha:** Es la infraestructura de red fiable, capaz de ofrecer diversos servicios convergentes a través de un acceso de alta capacidad con una combinación de tecnologías<sup>2</sup>. No se define explícitamente en términos de determinadas velocidades de transmisión mínimas, porque los países difieren en sus definiciones.

**Banda HF:** Banda High Frequency. La banda de Alta Frecuencia es una banda de radiofrecuencias comprendidas entre los 3 MHz y los 30 MHz.

**Banda VHF:** Banda Very High Frequency. La banda de Muy Alta Frecuencia es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.

### C

**CCBG:** Grupo de Banda Ancha para Comunicaciones Críticas, creado por la TCCA para impulsar el desarrollo y la adopción de estándares de banda ancha móvil comunes globales y soluciones para los usuarios que operan en entornos de misión crítica.

**CEPT:** Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones.

---

<sup>1</sup> Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Antr%C3%B3pico>>.

<sup>2</sup> Comisión de la Banda Ancha para el Desarrollo Digital de las Naciones Unidas. Broadband: A platform for progress



**Clutter:** Clasificación del uso del terreno (Construcciones altas o bajas, aeropuertos, parques, cultivos).

**CMGR:** Consejo Municipal de Gestión del Riesgo.

**CDGR** Consejo Departamental de Gestión del Riesgo.

**Condiciones geomorfológicas:** Características del relieve que se enfocan a su forma, estas son descritas e interpretadas para ser clasificadas, así como los procesos que les dan origen<sup>3</sup>.

**Condiciones geotécnicas:** Característica que limitan la estabilidad de un terreno. Modelo de procesos de inestabilidad por factores geológicos y topográficos<sup>4</sup>.

**CRC:** Comisión de Regulación de Comunicaciones.

**CSCF:** Call State Control Function. Proxy del subsistema multimedia IP – IMS.

## D

**Dead Reckoning:** Navegación por estima. Es un procedimiento matemático que utiliza fórmulas trigonométricas para inferir la ubicación actual de un dispositivo.

**Derrumbamiento:** Desprendimiento y caída de materiales. Desprendimiento de una masa de cualquier tamaño desde un escarpe de pendiente fuerte en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da<sup>5</sup>.

**Detritos:** Materiales sedimentarios conformados por fragmentos de rocas preexistentes<sup>6</sup>.

**Dinámica geomorfológica:** Cambio y evolución en las formas del terreno, así como de los procesos que les dan origen<sup>7</sup>.

**DMO:** Funcionamiento en modo directo. Permite a terminales troncalizados comunicarse directamente entre sí sin necesidad de utilizar la infraestructura de la red.

**Dongle:** Es una pieza de hardware que se conecta a un computador y permite que un componente de software de seguridad pueda funcionar. El dispositivo no contiene el software en su totalidad, sino más bien es una llave electrónica que abre el programa en un ordenador.

**DSL:** Digital Subscriber Line. Línea de abonado digital. Es una tecnología que utiliza las líneas telefónicas existentes para transportar datos de ancho de banda elevado, como los datos de vídeo y multimedia, a los abonados al servicio.

<sup>3</sup> Derruau, Max, Geomorfología (1966), Barcelona, ed. Ariel S.A, 1991

<sup>4</sup> Suarez, Jaime, Deslizamientos: Vol. 1 Análisis Geotécnico. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2009, 575pp

<sup>5</sup> Suarez, Jaime, Op. Cit.

<sup>6</sup> MINTIC de Minas y Energía, Glosario Técnico Minero. Bogotá 2003, p 48

<sup>7</sup> Gutiérrez, Mateo, Geomorfología, Universidad de Zaragoza, ed. Pearson Practice Hall, p 9.



**DWDM:** Dense Wavelength Division Multiplexing. Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa es la tecnología preferida para el transporte de enormes cantidades de tráfico de datos a través de distancias metro y largas distancias en redes de telecomunicaciones.

## E

**e2e:** End to end. Extremo a extremo.

**ECC:** El Comité de Comunicaciones Electrónicas, es uno de los tres comités autónomos bajo la CEPT y es responsable de los asuntos de comunicaciones electrónicas. El ECC reúne a las administraciones regulatorias de los países miembros de la CEPT.

**EDGE:** Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Es una tecnología de la telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 2.5G. EDGE se considera una evolución del GPRS. Esta tecnología funciona con redes TDMA y GSM y puede ser usada en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes (Packet Switched), como lo es la conexión a Internet.

**EPC:** Evolved Packet Core es responsable de las funciones que no están relacionadas con la interfaz de radio, así como del control global del terminal y establecimiento de portadoras necesarias para proporcionar una red de banda ancha móvil completa.

**Estructuras sismogénicas:** Son aquellas fallas geológicas activas, que al presentar movimiento pueden generar sismicidad como reflejo del proceso de deformación frágil en la corteza<sup>8</sup>.

**eTOM:** Enhanced Telecom Operations Map. El Mapa de Operaciones de Telecomunicaciones Mejorado es un marco referencial de procesos para la industria de las telecomunicaciones.

**ETSI:** El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones produce las normas de aplicación mundial para la Información y las Comunicaciones (TIC), incluidas las tecnologías de Internet de radio fijo, móvil, convergencia y emisión. ETSI está reconocido oficialmente por la Unión Europea (UE) como una organización de normas europeas y reúne a más de 700 organizaciones miembros provenientes de 62 países de todo el mundo.

**E-UTRAN:** Red Universal de Acceso de Radio Terrestre. Interfaz de aire de Long Term Evolution 3GPP (LTE) para las redes móviles.

## F

**Flujo de piroclastos:** Comprende una masa seca y caliente de material de origen volcánico, compuesto de una mezcla de bloques, bombas, lapilli, ceniza y gases calientes (piroclastos), los

---

<sup>8</sup> Sabaj, Romira, Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la Costa entre los 33° y 33°45's, memoria de grado Universidad de Chile, p 2.



cuales dependiendo del fenómeno volcánico predominante son referidos en términos de flujos de ceniza, flujos de pumita, flujo de bloques y avalanchas ardientes<sup>9</sup>.

## G

**GGSN:** GPRS Gateway Support Node. El Nodo de Pasarela de Soporte GPRS permite a los usuarios de teléfonos celulares móviles acceder a la red pública de datos (PDN) o redes privadas IP especificadas.

**GPRS:** General Packet Radio Services es una técnica de conmutación de paquetes integrable con la estructura actual de las redes GSM. Esta tecnología permite velocidades de datos de 115 Kbps. Sus ventajas se aplican fundamentalmente a las transmisiones de datos que produzcan tráfico "a ráfagas", es decir, discontinuo.

**GSM:** Global System for Mobile Communications. Es el estándar de telefonía móvil más usado en Europa. Se denomina estándar de "segunda generación" (2G) porque, a diferencia de la primera generación de teléfonos portátiles, las comunicaciones se producen de un modo completamente digital.

## H

**HSPA:** High-Speed Packet Access es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la tercera generación de telefonía móvil (3G), como son el 3.5G o HSDPA y 3.5G Plus, 3.75G o HSUPA. Teóricamente admite velocidades de hasta 14,4 Mb/s en bajada y hasta 2 Mb/s en subida, dependiendo del estado o la saturación la red y de su implantación.

**HSS:** Home Subscriber Server, permite el acceso a la red de Banda Ancha LTE y la interoperabilidad con las diferentes tecnologías existentes de diversos proveedores de equipos, a través de un Gateway de Paquetes (P-GW, Packet Data Gateway).

## I

**IMS:** IP Multimedia Subsystem es una arquitectura flexible para el rápido despliegue de funciones innovadoras y sofisticadas sobre un marco técnico y comercial que permite que los operadores móviles ofrezcan servicios de persona a persona utilizando un amplio abanico de medios integrados, voz, texto, imágenes, video, etc.

**Interoperabilidad PPDR:** La interoperabilidad PPDR es la capacidad del personal PPDR de una agencia/organización para comunicarse por radio con el personal de otra agencia/organización, por demanda (planificado o no) y en tiempo real. Hay varios

---

<sup>9</sup> Tomado y modificado de la página oficial del observatorio de Manizales en <http://www.ingehominas.gov.co/Manizales/Volcanes/Nevado-del-ruiz/Mapa-de-amenazas.aspx>.



elementos/componentes que afectan a la interoperabilidad incluyendo, espectro, tecnología, la red, las normas, la planificación y los recursos disponibles. Los sistemas de diferentes proveedores o adquiridos por diferentes países, deben ser capaces de interactuar a un nivel predeterminado sin realizar modificaciones o arreglos especiales en otras redes PPDR o redes comerciales. La interoperabilidad también es necesaria en una situación de "múltiples proveedores", donde los terminales de diferentes proveedores están trabajando en las infraestructuras de otros proveedores.

**IP/MPLS:** Internet Protocol/MultiProtocol Label Switching. Se refiere a una red de backbone que utiliza el protocolo IP en extendido con enrutamiento MPLS.

**ITIL:** Information Technology Infrastructure Library. La Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información es un conjunto de conceptos y prácticas para la gestión de servicios de TI, el desarrollo de TI y las operaciones relacionadas con la misma.

**ITU:** Ver UIT.

## **K**

**KPI:** Key Performance Indicators. Los Indicadores Clave de Desempeño miden el nivel del desempeño de un proceso, enfocándose en el "cómo" e indicando el rendimiento de los procesos, de forma que se pueda alcanzar el objetivo fijado.

## **L**

**LEWP/RCEG:** Radio Communications Expert Group of the Law Enforcement Working Party. Grupo de Expertos en Radio Comunicaciones del Grupo de Trabajo de Aplicación de la Ley que informa oficialmente a JAI (Justicia y Asuntos de Interior) en el Consejo de la Unión Europea.

**Licuación:** Facilidad con que un suelo puede perder toda su resistencia al esfuerzo cortante y comportarse como un líquido. La Licuación de los suelos ocurre por aumento repentino de la presión de poros, debido a los esfuerzos generados por la intensidad del sismo, especialmente en áreas cercanas al epicentro<sup>10</sup>.

**LTE:** Long Term Evolution, comercializado como 4G LTE, es un estándar para la comunicación inalámbrica de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. El estándar ha sido desarrollado por el 3GPP.

## **M**

**M2M:** Machine to machine. Es una tecnología que establece comunicación inteligente entre objetos.

---

<sup>10</sup> Suarez, Jaime, Op Cit, p 66.



**Mentum Planet:** Software de bases de datos geográficas de alta resolución para realizar simulaciones de tecnología.

**MIMO:** Multiple-input Multiple-output. Es una técnica de Transmisión/Recepción que se utiliza en dispositivos inalámbricos a partir de la forma como son manejadas las ondas. En la transmisión inalámbrica la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona problemas como degradación, desfase, entre otros; esto resulta en la pérdida de datos, MIMO aprovecha estos fenómenos físicos a partir del manejo espacial de para aumentar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error.

**MINTIC:** Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

**MME:** Mobility Managemnet Entity. La Entidad de Gestión de la Movilidad es el nodo principal en el EPC y se encarga de manejar el plano de control. Procesa la señalización intercambiada entre el terminal y la red.

**Modulación:** Operación mediante la cual ciertas características de una onda denominada portadora, se modifican en función de otra denominada moduladora, que contiene información, para que esta última pueda ser transmitida. Existen varios formatos de modulación, entre los que se encuentran: QAM, 16 QAM, 64 QAM, PSK, QPSK, entre otros.

**MPLS:** Multiprotocol Label Switching. Es un estándar de la IETF para la inclusión de la información de enrutamiento de los paquetes de una red IP. MPLS se utiliza para asegurar que todos los paquetes en un flujo particular, tomen la misma ruta a través de una columna vertebral. MPLS ofrece la calidad de servicio (QoS) necesaria para soportar servicios de voz y video en tiempo real, así como los acuerdos de nivel de servicio (SLAs) que garantizan el ancho de banda.

## **N**

**Nivel cerámico:** Definido como el número de días al año en los cuales por lo menos un trueno es oído, se han obtenido con base en registros manuales de la frecuencia de la actividad de rayos, en Colombia las estaciones meteorológicas del Himat que tiene a lo largo del país son las encargadas de recolectar esta información.

**NPSTC:** The National Public Safety Telecommunications Council. El Consejo Nacional de Telecomunicaciones de Seguridad Pública de Estados Unidos es una federación de asociaciones que representan las telecomunicaciones de seguridad pública actuando como recurso y abogando por los temas concernientes a este ítem.



## O

**OAM:** Operations, Administration and Maintenance. Operaciones, Administración y Mantenimiento son los procesos, actividades, herramientas, normas, etc. involucrados en la explotación, administración, gestión y mantenimiento de cualquier sistema.

**OMA:** Open Mobile Alliance. La Alianza Móvil Abierta es el foro líder de la industria para el desarrollo de impulsores del mercado y habilitadores de servicios móviles interoperables.

## P

**PCRF:** Policy and Charging Rules Function. La Función de Políticas de Control y Reglas de Cobro es el nodo de software que define las políticas a aplicar en las comunicaciones y las reglas de tarificación de las mismas.

**PGA:** Peak ground acceleration. La aceleración máxima del terreno es una medida de aceleración del terremoto en el suelo y un parámetro de entrada importante para la ingeniería sísmica, también conocida como base un movimiento telúrico de diseño (DBEGM).

**P-GW:** Packet Data Network Gateway. La Puerta de Paquetes es el enlace entre el terminal móvil y los servicios que residen en una red de paquetes externa. Hace el enrutamiento de los paquetes hacia su destino, es responsable de la asignación de direcciones IP al terminal, así como de aplicar la política de calidad del servicio y su tarificación de acuerdo a las reglas entregadas por el PCRF.

**Piroclastos:** Mezcla de bloques, bombas, lapilli, ceniza y gases calientes.

**Placas Litosféricas:** Grandes y gruesas porciones en que está dividida la capa más superficial, rígida y frágil de la tierra denominada litósfera que abarca la corteza y el manto superior<sup>11</sup>.

**PMR:** Private Mobile Radio. Radio móvil privada, a veces llamado Radio Móvil Profesional fue desarrollado para usuarios de negocios que necesitan para mantenerse en contacto a través de distancias relativamente cortas con una estación base central / despachador. Es ampliamente utilizado por los servicios de emergencia.

**PoC:** Push to Talk over Cellular. Es un servicio de comunicación bidireccional que permite a los usuarios de PoC participar en una comunicación inmediata con uno o más usuarios.

**PON:** Passive Optical Network. La Red Óptica Pasiva. Es un sistema que lleva el cableado de fibra óptica y todas o la mayoría de señales, en la ruta para el usuario final. Dependiendo de la ubicación donde termina el PON, el sistema puede ser descrito como fibra hasta la acera (FTTC), fibra hasta el edificio (FTTB), o fibra hasta el hogar (FTTH).

---

<sup>11</sup> Gutierrez Mateo Op. Cit, p 88.



**Procesos Denudativos:** Son las transformaciones a las que son sometidas las masas de roca continentales expuestas, a causa de la meteorización y erosión por acción combinada de fuerzas de desplazamiento y de agentes geomorfológicos, con el consecuente remodelamiento y paulatina reducción de la superficie terrestre, abarca la totalidad de los procesos que contribuyen a la degradación y reducción de los relieves iniciales<sup>12</sup>.

**PRST:** Proveedor de Redes y Servicios de Telecomunicaciones.

**PoP:** Point of Presence. Punto de Presencia. Un PoP es el punto de conexión entre la red del ISP y la región geográfica en particular en la que el PoP presta servicio.

**PPDR:** Public Protection and Disaster Relief. Protección Pública y Operaciones de Socorro.

**PTT:** Push To Talk, también conocido como Pulsar para Hablar, es un método de conversación sobre comunicaciones half dúplex incluyendo “la radio de dos vías” que utiliza un botón para cambiar del modo de voz de recepción al modo de transmisión.

## Q

**QoS:** Quality of Service. La Calidad de Servicio es un efecto global de las prestaciones de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio.

## R

**Red de Backhaul:** Es la red que conecta las estaciones base de la red al core de la red a través de enlaces de fibra óptica, enlaces de microondas o enlaces satelitales.

**Remoción en masa:** conjunto de procesos denudativos relacionados con la deformación del terreno y el desplazamiento o transposición más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo, de mantos completos de meteorización, incluyendo material de suelo, detritos, bloques y masas rocosas, cuesta abajo por incidencia de las fuerzas de desplazamiento (gravedad, movimientos sísmicos), a veces con la participación mayor o menor del agua del suelo, hielo y otros agentes<sup>13</sup>.

**RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas es un documento técnico expedido por el Ministerio de Minas y Energía, que establece las medidas de seguridad de las personas, animales y medioambiente, para prevenir, minimizar o eliminar los riesgos de origen eléctrico.

**RFSS:** Radio Frequency Subsystem. Subsistema de Radio Frecuencia.

---

<sup>12</sup> Villota, Hugo, geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras, Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005, p 29.

<sup>13</sup> Ibídem, p 32.



**RSRP:** Reference Signal Received Power. La señal de referencia de Potencia recibida se define como el promedio lineal sobre las contribuciones de potencia (en Watts) de los elementos de los recursos que transportan señales de referencia específicos de la celda dentro de la medición de frecuencia del ancho de banda considerado.

**RSRQ:** Reference Signal Received Quality. La señal de referencia de Calidad recibida se utiliza para determinar la mejor celda para la conexión de radio LTE en una cierta ubicación geográfica. Sin embargo, mientras que RSRP es la fuerza absoluta de las señales de radio de referencia, RSRQ es la relación de señal-a-ruido. Al igual que RSRP, RSRQ se puede utilizar como criterio para la selección inicial de la celda o handover.

**RTPBC:** Red de Telefonía Pública Básica Conmutada

**RTMC:** Red de Telefonía Móvil Celular.

**RTP:** Real Time Protocol. El Protocolo en Tiempo Real proporciona funciones de transporte de red de extremo a extremo adecuadas para aplicaciones que transmiten datos en tiempo real, tales como datos de audio, de video o de simulación, sobre servicios de red multidifusión o unidifusión.

## S

**SDF:** Service Delivery Framework. Un marco de prestación de servicios es un conjunto de principios, normas, políticas y restricciones utilizadas para guiar el diseño, desarrollo, implementación, operación y retiro de los servicios prestados por un proveedor de servicios.

**SHD:** Synchronous Digital Hierarchy. La Jerarquía Digital Síncrona es una tecnología orientada a realizar un transporte eficiente y de alta calidad y disponibilidad de los servicios de Voz.

**SGSN:** Serving Gateway Support Node. El Nodo de Pasarela de Soporte de Servicio se encarga de enviar datos hacia y recibir datos desde las estaciones móviles, además de mantener la información sobre la ubicación de una estación móvil (MS).

**S-GW:** Serving Gateway. La puerta de Servicio es el nodo principal de reenvío y enrutamiento de paquetes en el EPC. Sirve a un grupo de eNodeB recibiendo datos de usuario y transfiriéndolos hacia el P-GW.

**SIP:** Session Initiation Protocol. El protocolo de Inicio de Sesión es un protocolo de control de la capa de aplicación que puede establecer, modificar y terminar sesiones multimedia (conferencias), tales como llamadas telefónicas por Internet.

**SNMP:** Simple Network Management Protocol. Protocolo Simple de Administración de Red. Es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.



**SOA:** Service Oriented Architecture. La Arquitectura Orientada a Servicios es un concepto de arquitectura de software que define la utilización de servicios para dar soporte a los requisitos del negocio.

**SPT:** Sistema de Puesta a Tierra.

**Subducción:** Proceso por el cual dos placas litosféricas de diferente constitución (oceánica y continental) chocan y una de ellas, generalmente la más densa (oceánica) se desliza bajo la otra (continental). Comúnmente este proceso es generador de sismos<sup>14</sup>.

## T

**TCCA:** The TETRA and Critical Communications Association. La Asociación TETRA amplió su alcance en 2011, para incluir las comunicaciones de misión crítica y cambió su nombre a Asociación de Comunicaciones Críticas y TETRA.

**TCO:** Total Cost of Ownership. El Costo Total de Propiedad es una medida diseñada por el Grupo Gartner a finales de los 70's y ampliamente difundida a principios de los 80's para evaluar el costo total en que se incurre al adquirir un producto, a lo largo de su ciclo de vida completo.

**TDM:** Time Division Multiplexing. La Multiplexación por División de Tiempo es un proceso de comunicaciones que transmite dos o más señales digitales a través de un canal común. En TDM, las señales de entrada se dividen en intervalos de tiempo de longitud fija iguales. Después de multiplexación, estas señales se transmiten a través de un medio compartido y se vuelven a montar en su formato original después de la de-multiplexación.

**TETRA:** Terrestrial Trunked Radio, es un conjunto de estándares desarrollados por el Consejo Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) que describe una infraestructura de comunicaciones común mediante radio móvil en toda Europa. Esta infraestructura está dirigida principalmente a las necesidades de radiocomunicaciones móviles de los grupos de seguridad pública (por ejemplo, departamentos de policía y bomberos), empresas de servicios públicos y otras empresas que ofrecen servicios de voz y comunicaciones de datos.

**Tráfico Background:** Aquella comunicación no relacionada con un incidente: Durante un incidente grave la mayor parte del tráfico que cursa por la red en las estaciones base ubicadas cerca del incidente se debe a la respuesta PPDR al incidente. El tráfico background es la comunicación transportada en esas estaciones base de la red generada por las fuerzas PPDR que se dedican a labores de rutina, por ejemplo la comunicación habitual.

---

<sup>14</sup> Tarbuck, E, Lugens, F, Earth: an introduction to physical geology, Illinois Central College, ed Prentice Hall, 2011, 744pp.



## U

**UE:** User Equipment. Equipos de usuario.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**UNGRD:** Unidad Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres.

**UMTS:** Universal Mobile Radio System. Estándar que se emplea en la tercera generación de telefonía móvil, que permite disponer de banda ancha en telefonía móvil y transmitir un volumen de datos importante por la red.

**UTRAN:** Terrestrial Radio Access Network. Red de Acceso Radio Terrestre Universal. La red de acceso de la tecnología de radio utilizada entre los terminales móviles y las estaciones base de los sistemas 3GPP.

## V

**Valle aluvial:** Tipo de paisaje fisiográfico correspondiente a una porción de espacio alargada, relativamente plana y estrecha intercalada entre dos áreas de relieve más alto y que tiene como eje un curso de agua<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Zinck, 1980 en Villota, Hugo 2005, p 137.



## 1 INTRODUCCION

De acuerdo al contrato firmado entre el Fondo de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, en adelante FONTIC y el Consorcio ITELCA – STI, en adelante CONSORCIO o Grupo Consultor para referirse al equipo de especialistas encargado de la ejecución del contrato y preparación del este documento, el presente documento contiene la información, definiciones, memorias, diseño y dimensionamiento de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias que abarca:

- 1) El análisis técnico y el diseño correspondiente, para la implementación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias – RNTE soportada sobre las Redes de Telefonía Pública Fija y Móvil, como redes principales, y sobre la Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los en los CMGR, como red de respaldo.
- 2) El diseño y dimensionamiento de una nueva Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias basada en la alternativa seleccionada conjuntamente entre el Grupo Consultor y el MINTIC.

El documento cuenta con 11 capítulos:

En el **Capítulo 1** se realiza la introducción a la consultoría, describiendo los objetivos, el alcance y la metodología utilizada para la realización del objeto de la consultoría y en particular de los diseños objetos de este documento, de acuerdo con el pliego de condiciones, el contrato, las experiencias del Grupo Consultor, las aprobaciones del MINTIC en las reuniones de seguimiento y los conceptos generales usados por el Grupo Consultor, los cuales son utilizados en todo el documento y en sus anexos.

En el **Capítulo 2** y como base para la definición de la cobertura de la RNTE, se presenta el análisis de las amenazas geológicas e hidro-metereológicas realizadas por el equipo de expertos geólogos y analistas en la materia, los cuales permitieron tomar las decisiones de las etapas de cobertura de red y los niveles de importancia de acuerdo a las Multi-amenazas, vulnerabilidad y riesgos presentados en las diferentes zonas del país. Las amenazas analizadas a fondo y de acuerdo a la información recibida por los diferentes entes gubernamentales encargados de velar por estos temas son:

- Sísmica.
- Volcánica.
- Inundaciones.
- Remoción de masas.



- Tsunamis.
- Incendios.

En el **Capítulo 3** se describen los requerimientos para la implementación de la RNTE, dentro de los que se contempla la infraestructura base a utilizar, usuarios y servicios de la red de acuerdo al levantamiento de información realizado por el Grupo Consultor para la RNTE y las definiciones previas.

En el **Capítulo 4** se definen los atributos y tendencias de las Redes de Telecomunicaciones de Emergencias, que deben ser tenidos en cuenta por la RNTE, de acuerdo con las mejores prácticas de los mercados internacionales y el conocimiento del Grupo Consultor.

En el **Capítulo 5** se presenta el análisis detallado realizado por el Grupo Consultor con respecto a las principales tecnologías utilizadas en las redes de emergencias, sus diferencias, ventajas y desventajas:

- Sistemas convencionales de radio.
- Tecnologías troncalizadas P-25 y TETRA.
- Tecnología LTE, Long Term Evolution.

Posterior al análisis de las tecnologías, se muestra la metodología utilizada y seleccionada por el MINTIC, para la calificación de las 3 tecnologías seleccionadas (P-25, TETRA, LTE), la matriz comparativa, las conclusiones, recomendaciones y selección tomada en forma conjunta con el MinTIC.

En el **Capítulo 6** se presenta la propuesta de Bandas de frecuencia para la RNTE, un análisis de la situación en diferentes países y en Colombia respecto a las bandas que deben ser consideradas y la definición del ancho de banda requerido para la nueva RNTE.

En el **Capítulo 7** se presenta la propuesta de arquitectura y la topología propuesta para la RNTE; se describe adicionalmente la propuesta de diseño de la RNTE, detallando las fases propuestas para su implementación.

En el **Capítulo 8** se detalla el diseño de la RNTE sobre las redes de Telecomunicaciones existentes:

- Publicas Fijas y Móviles: Situación actual y resumen de la solución de priorización de tráfico en casos de declaración de zonas de emergencia presentada en el documento “Análisis técnico, financiero y normativo para propuestas de un Marco Normativo para el fortalecimiento del SNTE”.



- Redes de respaldo de la UNGRD, CDGR y CMGR: Redes basadas en bandas de radio HF y VHF donde se presenta el diseño del fortalecimiento de esta última red en cobertura por zonas, interoperabilidad e interconexión con todas las redes existentes
- Redes Móviles 3G: Solución PoC

En el **Capítulo 9** se detalla el diseño de la nueva RNTE, la metodología y los parámetros utilizados el diseño detallado de la red de acceso con las simulaciones de cobertura pactadas por ciudades y departamentos, Link Budget para todas las cabeceras municipales del país, diseño de las redes de Backhaul, Backbone, core de la red, diseño eléctrico y propuesta de terminales para usuarios. Por último se presenta el dimensionamiento de los elementos de la red.

El **Capítulo 10**, presenta las propuestas de Operación y Mantenimiento para la RNTE, la cual será indirecta, realizada por el mismo operador al que se le asigne el bloque de frecuencia comercial con compromiso de implementación, operación y mantenimiento de la RNTE. En caso de ser una red propia del Estado para la operación y mantenimiento se recomienda un contrato de outsourcing, para la que surten los mismos parámetros propuestos en este capítulo.

Por último, en el **Capítulo 11** se finaliza con Conclusiones y Recomendaciones del Grupo Consultor.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo General

Diseñar una Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia que permita asegurar la disponibilidad e integración de las comunicaciones a nivel nacional como soporte principal a las autoridades encargadas de la prevención, atención y recuperación de desastres ante cualquier evento que se presente en el país.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) La RNTE debe alcanzar la mayor cobertura posible a las zonas del país que con mayor frecuencia se ven afectadas por las amenazas geológicas (tales como los sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos) e hidro-meteorológicas (tales como inundaciones, tsunamis y otros fenómenos de esta naturaleza) y donde hay mayor población vulnerable a estos riesgos.
- 2) Integrar las redes existentes con la nueva RNTE y en conjunto lograr la mayor cobertura y contar con las contingencias necesarias para soportar eventuales desastres en el país.



- 3) Ampliar los servicios existentes de voz a servicios multimedia, que permitan la integración de bases de datos, la visualización de eventos, en aras de poder tomar decisiones asertivas.
- 4) Dotar a las entidades operativas que conforman el SNGRD de herramientas de telecomunicaciones efectivas en eventos de emergencias y desastres.

## 1.2 ALCANCE

De acuerdo al contrato firmado entre el Fondo de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, en adelante FONTIC, y el Consorcio ITELCA – STI, en adelante CONSORCIO o Grupo Consultor (para referirse al equipo de especialistas encargado de la ejecución del contrato), partiendo del alcance general de la consultoría, llegamos a los análisis concretos que hacen parte del alcance en particular del presente documento.

Ese alcance general de la consultoría está referido a:

- 1) Analizar y definir la arquitectura y la(s) tecnología(s) propuesta(s) para la implementación de una nueva red para dedicada exclusivamente para la atención de Emergencias que servirá como red principal de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias, basada en un Sistema de Acceso Troncalizado (del tipo Tetra u otro), en tecnologías móviles de tercera y cuarta generación (tipo Long Term Evolution - LTE o WiMAX), en tecnologías satelitales o en otras alternativas tecnológicas propuestas por el Consultor.
- 2) Realizar el diseño y dimensionamiento de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias basada en la alternativa que se seleccione conjuntamente entre el Consultor y el Ministerio.
- 3) Realizar el análisis técnico y el diseño correspondiente, para la implementación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias soportada sobre las Redes de Telefonía Pública Fija y Móvil, como redes principales, y sobre la Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR, como red de respaldo.
- 4) Proponer la forma o formas adecuadas de administración y operación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia contemplando alternativas de administración y operación directa o indirecta (a través de una Empresa especializada). En el evento en que se proponga una administración y operación directa, se debe estimar el recurso humano requerido en la UNGRD, en cada uno de los CDGR y en cada uno de los CMGR, detallando los perfiles, la experiencia y las cantidades requeridas.



- 5) Estimar los costos de cada uno de los elementos que hacen parte de la red y de los servicios requeridos para la instalación y puesta en servicio de la red.
- 6) Estimar los costos anuales necesarios para la gestión, administración, operación y mantenimiento de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia.
- 7) Establecer cuál debe ser la estrategia para la implementación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias.
- 8) Proponer un marco normativo encaminado a la implementación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias sobre las redes de telefonía pública fija y móvil, la implementación de un Sistema de Alerta Temprana sobre las redes de telefonía móvil y el fortalecimiento de la regulación de los CAE – NUSE 123. Dicha propuesta deberá tomar en consideración las disposiciones regulatorias que a la fecha se encuentran vigentes en materia de Centros de Atención de Emergencias – CAE, a efectos de integrar dichos centros a la RNTE. Así mismo, deberá integrarse en el análisis el resultado de los estudios adelantados por la CRC durante el año 2011 sobre el particular y, de encontrarlo necesario, presentar propuestas tendientes a fortalecer las facilidades de localización de abonados por parte de los CAE.

Este alcance se presenta en tres documentos conforme se indica a continuación:

- Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia – RNTE; contempla los temas de los numerales 1 a 4 del alcance de la consultoría.
- Costos CAPEX y OPEX de la RNTE y Estrategias de Implementación; contempla los temas de los numerales 5 a 7 del alcance de la consultoría.
- Costos CAPEX y OPEX de la RNTE y Estrategias de Implementación; contempla los temas del numeral 8 del alcance de la consultoría.

De conformidad con lo anterior, el alcance de este documento contempla realizar el diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia de conformidad con los requerimientos incluidos en el anexo técnico del Pliego de Condiciones del Concurso de Méritos FTIC-CM-004 de 2012:

- 1) Analizar y definir la arquitectura y la(s) tecnología(s) propuesta(s) para la implementación de una nueva red dedicada exclusivamente para la atención de Emergencias que servirá como red principal de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias, basada en un Sistema de Acceso Troncalizado (del tipo TETRA u otro), en tecnologías móviles de tercera y cuarta generación (tipo Long Term Evolution - LTE o WiMAX), en tecnologías satelitales o en otras alternativas tecnológicas propuestas por el Consultor.



- En el análisis y definición de la(s) tecnología(s) propuesta(s) se contempla:
  - Infraestructura actualmente existente en la RNTE.
  - Alternativas de la RNTE planteadas en el estudio de “Alternativas para la formulación, diseño y modernización de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia en Colombia” adelantado en el 2011.
  - Alternativas basadas en tecnologías móviles de tercera y cuarta generación, tipo Long Term Evolution (LTE) o WiMAX.
  - Otras alternativas tecnológicas propuestas por el Consultor.
  - Disponibilidad de bandas de frecuencias en Colombia para soluciones disponibles comercialmente.
- Realizar un análisis comparativo de las tecnologías propuestas frente a cada una de las características mínimas que se contemplan en la siguiente tabla:

CARACTERISTICAS A ANALIZAR		Tec 1	Tec 2	Tec 3
1	Cobertura geográfica obtenida con soluciones disponibles comercialmente			
2	Características propias de la tecnología			
3	Disponibilidad de bandas de frecuencias en Colombia para soluciones disponibles comercialmente			
4	Tipos de servicios soportados (Voz, datos de banda angosta, datos de banda ancha, video)			
5	Características de redundancia disponibles en la tecnología			
6	Facilidades para configuración de diferentes tipos de usuarios			
7	Funcionalidades disponibles en herramientas de gestión			
8	Facilidades de Administración y Operación de la red			
9	Implicaciones normativas de la tecnología			
10	Facilidades de interconexión con otras redes			
11	Eficiencia espectral			
12	Grado de estandarización de la tecnología			
13	Grado de madurez de la tecnología			
14	Roadmap de la tecnología			
15	Análisis de costos asociado a estaciones base			
16	Análisis de costos asociado a equipos terminales Análisis de costos asociado a otros elementos que hagan parte de la solución			

**Tabla 1 Calificación de Tecnologías Requerida en el Pliego**

**Fuente: Pliego de Condiciones MinTIC**



- El Grupo Consultor podrá adicionar otras características que considere pertinentes.
- Como parte del análisis comparativo de las tecnologías propuestas, se debe realizar una evaluación cualitativa de cada una de las características, aplicando uno de los siguientes criterios de evaluación: ALTO, MEDIO o BAJO.

El Grupo Consultor deberá documentar en forma detallada la metodología empleada para aplicar los criterios de evaluación en cada una de las características que se evalúen. El resultado de este análisis comparativo se debe presentar al MINTIC para realizar su validación.

- Con base en este análisis el Grupo Consultor debe proponer la tecnología o las tecnologías propuestas, documentando en forma detallada las razones por las cuales se realizó la selección.
  - Proponer las bandas de espectro (especificando las sub bandas y los anchos de banda requeridos).
- El MINTIC seleccionará de forma conjunta con el Consultor, la tecnología o las tecnologías definitivas para el establecimiento de una nueva red.
- Basados en la tecnología o las tecnologías que se seleccionen se debe definir y proponer la nueva arquitectura de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias. En esta arquitectura se debe contemplar en detalle los siguientes criterios:
  - La red principal deberá estar dedicada exclusivamente para la atención de Emergencias y estará soportada sobre la tecnología o las tecnologías que se seleccionen.
  - En el evento en que se seleccione más de una tecnología, se deberá especificar la forma como se integrarán estas tecnologías.
  - En la arquitectura se debe detallar la forma como se integrarán e interconectarán las actuales redes que se utilizan para la atención de emergencias, tales como la Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR, las redes de los organismos de socorro (Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana, Cuerpo Nacional de Bomberos) y las demás redes que se utilizan directamente para la prevención y atención de desastres.

2) Realizar el diseño y dimensionamiento de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias basada en la alternativa que seleccione conjuntamente entre el Grupo Consultor y el MinTIC.



Los diseños se deben realizar teniendo en cuenta:

- Zonas del país que con mayor frecuencia se ven afectadas por las amenazas geológicas (tales como los sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos) e hidrometeorológicas (tales como inundaciones, tsunamis y otros fenómenos de esta naturaleza). Para tal efecto se debe consultar la información proporcionada por las entidades responsables del monitoreo de estos eventos tales como el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la UNGRD.
- Infraestructura de soporte de las redes de telecomunicaciones (tales como estaciones radioeléctricas) actualmente existentes a nivel nacional de propiedad de:
  - Entidades territoriales de orden nacional, departamental y municipal.
  - Fuerzas Militares.
  - Policía Nacional.
  - Organismos de socorro.
  - Prestadores de Redes y Servicios Públicos Fijos y Móviles.
  - Entidades privadas que dispongan de este tipo de infraestructura.
- Tipos de servicios que requieren los usuarios de esta red.
- Cantidades y clases de usuarios que hacen parte de las diferentes entidades del SNGRD y que participan directamente en cada una de las fases de la gestión del riesgo de desastres.
- Interconexión de esta red con:
  - Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR.
  - Redes de Radio HF y VHF de las entidades de socorro (Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana, Cuerpo Nacional de Bomberos).
  - Redes de Telefonía Pública Fija y Móvil.
  - Redes de las Fuerzas Militares y de la Policía Nacional.
  - Redes humanitarias (tales como O.N.G.).



- Otras redes que intervengan directamente en la atención de emergencias y desastres.
- En la realización del diseño y planeación de la red inalámbrica se debe utilizar una herramienta de planeación de redes inalámbricas (RF Planning) y la cartografía digital del país; el Grupo Consultor podrá disponer de su propia herramienta de planeación de redes inalámbricas y de la cartografía digital, o podrá utilizar otros mecanismos para disponer de estos recursos (por ejemplo mediante el alquiler).

El Grupo Consultor debe proponer como mínimo los siguientes tipos de resolución de la cartografía digital que se utilizarán en el diseño:

- Para las ciudades con una población igual o superior a 450.000 habitantes (de acuerdo con las proyecciones de población realizadas al 2013).
- Para las restantes ciudades y regiones del país.

El MinTIC analizará y aprobará las resoluciones de la cartografía que se utilicen para el diseño.

- El Grupo Consultor presentará una propuesta de los parámetros técnicos y los adicionales que se requieran para realizar los diseños y la planeación de la red inalámbrica, para que sean aprobados por el MinTIC.
- Como resultado del diseño y planeación de la red inalámbrica se debe:
  - Definir la arquitectura y la topología de la red.
  - Establecer el Plan de cobertura nacional, detallado por departamentos y por municipios.
  - Realizar el dimensionamiento de los elementos que hacen parte de la nueva red (tales como equipos de conmutación, si se requieren, estaciones base, sistemas o herramientas de gestión, terminales móviles, recursos de transmisión requeridos especificando el ancho de banda requerido y los demás elementos que se requieren para esta red).
  - Realizar el dimensionamiento de los elementos que hacen parte de la red existente (tales como equipos repetidores, equipos base, radios portátiles, radios móviles, sistemas o herramientas de gestión, recursos de transmisión requeridos especificando el ancho de banda, requerido y los demás elementos que se requieren para esta red).
  - Definir las sub-bandas y los anchos de banda requeridos para la nueva red.



- Definir las cantidades de frecuencias (canales) que se requieren para las redes existentes.
  - Establecer las técnicas de redundancia propuestas.
  - Definir los tipos de usuarios.
- 3) Realizar el análisis técnico y el diseño correspondiente, para la implementación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias soportada sobre las Redes de Telefonía Pública Fija y Móvil, como redes principales, y sobre la Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR, como red de respaldo.

En este ítem se debe contemplar:

- Análisis técnico necesario para implementar la priorización de llamadas, de todos los usuarios que hacen parte de las entidades que participan directamente en las actividades de atención de emergencias por desastres, sobre las redes de telefonía pública fija y móvil de forma que se asegure la adecuada interoperabilidad de las llamadas entre las redes fijas y móviles.
  - Diseño y dimensionamiento de la Red de Radio HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR con el fin de determinar si se requiere ampliar la cobertura, teniendo en cuenta los mismos criterios contemplados en el numeral 2 de este mismo aparte.
- 4) Para cada uno de los diseños de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias contemplados en los numerales 2 y 3 de este literal (Alcance del objeto), se debe proponer la forma o formas adecuadas de administración y operación de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia contemplando alternativas de administración y operación directa o indirecta (a través de una Empresa especializada). En el momento en que se proponga una administración y operación directa, se debe estimar el recurso humano requerido en la UNGRD, en cada uno de los CDGR y en cada uno de los CMGR, detallando los perfiles, experiencia y las cantidades requeridas.

### 1.3 METODOLOGÍA

La consultoría se realizó en las siguientes etapas:

- 1) Análisis de información recibida del MinTIC , la UNGRD, IDEAM, SGC, DIMAR:
  - Informes, anexos y levantamiento de información, presentados por la consultorías previas.



- Información cartográfica suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC): Cartografía de Colombia escala 1:500.000; Cartografía de Colombia escala 1:100.000.
  - Inventario de equipos de comunicaciones de entidades operativas suministrada por la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos y Cruz Roja Colombiana.
  - Listado con los datos de contacto de los representantes de los Consejos Departamentales y Municipales para la Gestión del Riesgo.
  - Listado de las radiobases de los tres PRST móviles; información actualizada al tercer trimestre de 2012.
  - Plan de Emergencia y Contingencias del Sector de Telecomunicaciones. (Resolución 2060 de 2008) – MINTIC.
  - Estudio para Analizar alternativas para la formulación, diseño y modernización de la red nacional de telecomunicaciones de emergencia en Colombia – MinTIC.
  - Estudio de vulnerabilidad y riesgo de las redes e infraestructura de telecomunicaciones en zonas vulnerables expuestas a eventos naturales desastrosos – MinTIC.
  - Gestión regulatoria de los centros de atención de emergencias – CAE – CRC.
  - Presentación del Plan de Acción elaborada por MinTIC.
  - Presentación del marco normativo de las TIC para emergencias, elaborada por la CRC.
  - Información Técnica de soluciones disponibles para redes de emergencias:
    - Soluciones inalámbricas.
    - Radios.
    - Localización de usuarios.
    - Otros documentos técnicos.
  - Presentación de marco regulatorio de CAE 123, elaborada por la CRC.
- 2) Análisis de la información entregada por proveedores de equipos y servicios, en reuniones, presentaciones, correos electrónicos, páginas web o en forma verbal:

Ericsson

Alcatel Lucent

UMS



Emerson	Asecones – TellCell	Evigilo
Eitek	Danelec	Cell Broadcast
Gecos	Albentia	Trueposition
American Tower	ZTE	Bull
Tachyon	Huawei	Telefónica
Motorola	Teltronic	Sistemas Intergraph
EADS-Cassidia		

- 3) Investigación del Grupo Consultor: UIT, 3GPP, Analysys Mason, APT, ECC, ETSI, FCC y otras.
- 4) Con base en la información recibida, se hizo el levantamiento y análisis de la situación actual de las redes de telecomunicaciones de emergencia en el país, tanto de la UNGRD, CDGR y CMGR, así como, de las entidades de socorro, Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja Colombiana. Se analizaron los atributos, requerimientos y tendencias evolutivas de las redes de emergencia en el mundo, con el objetivo de focalizar la nueva RNTE dentro de estas tendencias y como llevarla de la situación actual a la modernización necesaria.
- 5) Se hizo un análisis de las diferentes tecnologías implementadas en Colombia para las redes de socorro, las tecnologías existentes en el mundo y las que se encuentran en desarrollo, lo que permitió seleccionar las tecnologías a analizar a profundidad: Sistemas de Radio HF, VHF, Troncalizados P25, TETRA y LTE. Este análisis se realizó de acuerdo con la metodología definida en el alcance, con la profundidad que le dio el Grupo Consultor que se detalla en el Capítulo 4.
- 6) Se procedió con la investigación de las bandas de frecuencia para redes de emergencia utilizadas y recomendadas en el mundo, el nivel de ocupación de estas bandas en el país y la recomendación de bandas para la RNTE.
- 7) Se presentó al MinTIC y se aprobaron las tecnologías y bandas a utilizar y con base en ello se diseñó la topología de red y la arquitectura necesaria para la RNTE, como una sola red integrada de emergencia para el país, centralizada en la UNGRD e interconectada con todas las redes de emergencia existentes.
- 8) Para definir la cobertura se realizó un análisis geológico y hidro-meteorológico, que nos permitiera determinar las zonas de multi-amenazas, la vulnerabilidad y los riesgos por regiones, departamentos y cabeceras municipales del país.
- 9) Se realizaron las simulaciones de cobertura de las redes existentes en banda VHF de la UNGRD, CDGR, CMGR, Defensa Civil, Cruz Roja Colombiana, Bomberos de Colombia y Ministerio de Salud; encontrándose las coberturas existentes y las necesidades de



cobertura adicionales para cubrir los sitios vulnerables faltantes; que debían diseñarse para estas redes.

- 10) Se definieron los parámetros de los diseños y las metodologías, al igual que los anchos de banda para la red nueva y se presentaron al MinTIC para su aprobación.
- 11) Una vez aprobados los parámetros se procedió con el diseño y simulación de fortalecimiento de la red VHF, para completar su cobertura en país y se inició el diseño con la herramienta Link Budget para la red nueva. Una vez terminado el diseño teórico de la red nueva se procedió con la simulación de los sitios seleccionados con requerimientos de más de dos celdas de cubrimiento.
- 12) Posteriormente se procedió con los diseños de las redes de backhaul, Backbone, Core, respaldos e interconexión en tecnología LTE. Una vez definidos los elementos de la red se procedió con la definición del diseño eléctrico y la documentación del diseño.

#### 1.4 HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Para la realización del diseño fue necesario contar con herramientas de software que permitieran realizar los cálculos, simulaciones y demás interacciones necesarias para lograr cumplir con el alcance propuesto. Las herramientas utilizadas además de Microsoft Office fueron las siguientes:

- **MapInfo® Professional:** MapInfo es una aplicación de análisis geográfico de Microsoft® Windows® basada en mapas. Diseñada para visualizar fácilmente las relaciones entre los datos y la geografía. MapInfo Professional hace que sea más rápido y más fácil crear, compartir y utilizar los mapas. Es una Interface GIS que facilita compartir información geo referenciada.
- **Google Earth Profesional®:** Software de información geográfica profesional, que incluye un conjunto de capas que se superponen en los mapas de geo referenciación y que permiten una visualización adecuada de los accidentes y topología geográfica, como montañas, bosques, cañones, edificios, calles, ríos etc.
- **Link Budget:** Herramienta de cálculo del presupuesto de enlace, de propiedad del Grupo Consultor , para el cálculo de radio celdas de la totalidad de cabeceras municipales del país. En esta herramienta se ingresan los parámetros técnicos de la tecnología a utilizar, como son: frecuencia, ancho de banda, potencia, entre otros. Adicionalmente se debe ingresar el área que se espera cubrir. La herramienta realiza los cálculos y arroja el resultado de eNodeB que se requieren para áreas Denso Urbana, Urbana, Suburbana y Rural.



- **Mentum Planet®** (Subcontratada a la firma Telemediciones S.A.): Solución de software basada en Windows, que ayuda a los operadores inalámbricos, integradores y fabricantes de equipos, a evaluar, administrar y mejorar el desempeño del activo más valioso de un operador inalámbrico, su cobertura y capacidad. Soporta AMPS, TDMA, FDMA, iDEN, TETRA, GSM, GPRS, EDGE, CDMA2000, EVDO, WCDMA, HSPA, WIMAX y LTE, uso extensivo de avanzados algoritmos de antenas inteligentes, soporte de MIMO, PUSC, FUSC, FFR frequency planning, preamble planning, etc. Esta herramienta se utilizó para el diseño y simulación de VHF y LTE.
- **Cálculos eléctricos:** (Propio del Consultor) Herramienta en Excel, que consta de hojas de cálculo y tablas dinámicas con constantes eléctricas, materiales, normatividad vigente y demás información relevante para los cálculos y diseño.

## 1.5 CARTOGRAFÍA

Se utilizó como insumo para realizar cálculos de propagación y el diseño de redes inalámbricas, la cartografía producida y actualizada periódicamente por la firma francesa Computamaps [www.computamaps.com], la cual presenta las siguientes especificaciones:

CARTOGRAFIA	RURAL	URBANA	
<b>ELEVACION DEL TERRENO</b>			
Resolución en metros	30	5	1
Precisión Absoluta:			
Horizontal	x, y: 20 - 25m	x, y: 5m	x, y: 1m
Vertical	15-20m	2-5m	1-3m
Área disponible	Todo el país, incluido San Andrés	26 Ciudades entre capitales de departamento y ciudades secundarias importantes.	Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Medellín, Pereira, Cartagena.
<b>CLUTTER</b>			
Resolución en metros	30	5	1
Número de Clasificaciones: Clases	18	21	15
Fecha de las Fuentes	2009 - 2011	2009 - 2011	2009 - 2011

**Tabla 2 Especificaciones de la Cartografía utilizada en el Diseño de la RNTE**

Fuente: Grupo Consultor

Adicionalmente el diseño de la RNTE se realizó teniendo en cuenta las Zonas del país que con mayor frecuencia se ven afectadas por las amenazas geológicas (tales como los sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos) e hidro-meteorológicas (tales como inundaciones,



tsunamis y otros fenómenos naturales de esta naturaleza). Para tal efecto se consultó la información suministrada por el MinTIC al Consorcio, que se relaciona a continuación:

TEMATICA	MAPAS	FUENTE
<b>Remoción en Masa</b>	Amenazas por Remoción en Masa	Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras – INGEOMINAS, 2003. <sup>16</sup>
<b>Amenaza Volcánica</b>	Amenazas Volcánica (volcanes Chiles y Rionegro, Galeras, Nevado del Huila, Cerro Machín y Nevado del Ruiz)	Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras – INGEOMINAS, 2007. <sup>17</sup>
<b>Incendios</b>	Mapa Nacional de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal, a escala 1:500.000	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, 2010.
<b>Tsunamis</b>	Mapa de inundación por Tsunami Área Urbana de San Andrés de Tumaco (2004) – Zona Continental Buenaventura (2009) – Bahía Buenaventura (2009) – Bocana-Buenaventura (2008) – Isla Cascajal (2009)	Dirección General Marítima - DIMAR
<b>Sismicidad</b>	Mapa Nacional de Amenaza Sísmica – Periodo de Retorno 475 años	Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2010.
<b>Inundaciones</b>	Mapa de Zonas Susceptibles a la Inundación	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, 2010.

**Tabla 3 Cartografía sobre Amenazas Geológicas y Naturales**

**Fuente: Información suministrada por MinTIC**

Se enfatiza que en esta reseña, la escala y la cobertura de la información cartográfica presentada en la tabla anterior es de carácter nacional, es decir, ésta abarca todo el territorio del país, por tanto su enfoque tiene un alcance con un alto componente de generalización, y no particulariza o tiene detalle sobre sitios específicos. En otras palabras, esta cartografía tiene un nivel de detalle muy inferior a la utilizada en la herramienta de diseño Mentum Planet. Para optimizar la definición del objetivo de cobertura, se recomienda que las dos cartografías utilizadas sean de alta resolución y similares.

## 1.6 CONCEPTOS GENERALES USADOS POR EL GRUPO CONSULTOR

Los términos de Gestión del Riesgo y Desastre están definidos de conformidad con lo establecido en el artículo 3° de la Ley 1523 de 2012 como:

**“Gestión del Riesgo:** *Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor*

<sup>16</sup> INGEOMINAS, actualmente llamado Sistema Geológico Colombiano.

<sup>17</sup> INGEOMINAS, actualmente llamado Sistema Geológico Colombiano.



*conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.*

**Desastre:** *Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción”.*

De conformidad con lo anterior y lo establecido en la recomendación UIT-T Y.2205, la RNTE tiene como propósito soportar la categoría de telecomunicaciones de emergencia autoridad-autoridad.

**Telecomunicaciones de emergencia autoridad-autoridad<sup>18</sup>:** En las telecomunicaciones de emergencia autoridad-autoridad participa un usuario de telecomunicaciones de emergencia autorizada (o su organización) que inicia la comunicación con otro usuario autorizado para:

- 1) Facilitar las operaciones de recuperación en caso de emergencia (por ejemplo, creando centros de control de emergencias y los controles administrativos conexos para obtener asistencia del gobierno y/u otras organizaciones);
- 2) Restaurar la infraestructura comunitaria esencial (por ejemplo, agua corriente, electricidad, etc.); y
- 3) Adoptar las primeras medidas que permitan la recuperación cabal a largo plazo (por ejemplo, reconstrucción de carreteras, puentes, edificios, etc.).

**Radiocomunicaciones para la protección pública<sup>19</sup>:** Las radiocomunicaciones utilizadas por las instituciones y organizaciones encargadas del mantenimiento del orden público, la protección de vidas y bienes y la intervención ante situaciones de emergencia.

**Radiocomunicaciones para operaciones de socorro<sup>4</sup>** hace alusión a las radiocomunicaciones utilizadas por las instituciones y organizaciones encargadas de atender a una grave interrupción del funcionamiento de la sociedad, y que constituye una seria amenaza generalizada para la vida humana, la salud, la propiedad o el medio ambiente, ya sea causada

<sup>18</sup> UIT-T Y.2205

<sup>19</sup> Revisión del 2012 de la resolución ITU 646 de 2003 - Grupo de estudio de Radiocomunicación Mayo 2012



por un accidente, la naturaleza o una actividad humana, tanto si se produce repentinamente o como resultado de procesos complejos a largo plazo.

De otra parte, el Manual sobre telecomunicaciones de emergencia de la UIT<sup>20</sup>, expedido en el 2005 define:

**Emergencia<sup>21</sup>**: Es una situación que requiere una respuesta urgente. Según las circunstancias, la respuesta inicial estará a cargo de la persona presente en ese momento que utilizará los medios disponibles en el lugar. Si es necesario cualquier otro tipo de intervención, las telecomunicaciones son el medio más óptimo para su ejecución.

**Catástrofe<sup>1</sup>**: Una situación de emergencia puede convertirse en una catástrofe debido a su propia naturaleza o a causa de una respuesta inicial insuficiente. Su magnitud exigirá una movilización de recursos a escala regional e incluso internacional; la comunicación vinculada a una catástrofe no se limitará a dar un aviso de alerta que exige una respuesta de emergencia, sino también a otras actividades que suelen realizarse con los medios de telecomunicaciones inmediatamente disponibles.

**Prevención<sup>1</sup>**: Es decir evitar un peligro, es una tarea básicamente de tipo local. Las telecomunicaciones cumplen una función fundamental en la distribución de los correspondientes conocimientos y en la creación de toma de conciencia o sensibilización. Son por otra parte instrumentos esenciales para dar un aviso inmediato de la situación.

**Preparación<sup>1</sup>**: Es una tarea de los especialistas institucionales. Debido al carácter de los servicios de emergencia, sus equipos y redes de telecomunicación deben estar preparados y disponibles en todo momento.

**Respuesta o intervención<sup>1</sup>**: Reacción adecuada ante un evento que depende ante todo de un intercambio de información rápido y preciso. Cuanto mayor es la complejidad de las estructuras administrativas y la atribución de responsabilidades en las respuestas entre autoridades, mayor es el número de medios de comunicación disponibles. Las redes públicas, como los sistemas de telefonía fija y móvil, constituyen el pilar del aviso de alerta de primer grado.

**Atribución de funciones<sup>1</sup>**: La distribución de tareas varía según los países. Se suele designar un coordinador para cada distrito, estado, circunscripción, o para cualquier otro nivel de subdivisión geográfica. La cooperación «horizontal» entre los servicios especializados a cada nivel es tan importante como la jerarquía vertical. En lo que se refiere a las telecomunicaciones

---

<sup>20</sup> UIT. (2005). Manual sobre Telecomunicaciones de Emergencia. Ginebra, Suiza.

<sup>21</sup> UIT. (2005). Manual sobre Telecomunicaciones de Emergencia. Ginebra, Suiza.



en situaciones de catástrofe, ambas exigen el establecimiento a cada nivel de vínculos directos entre los coordinadores de las operaciones, las autoridades de telecomunicaciones y los proveedores de servicio. Esta coordinación, indispensable en todas las estructuras nacionales, también debe aplicarse a la ayuda humanitaria internacional.

**Intercambio de información<sup>1</sup>:** La reciprocidad de información en tiempo real es la columna vertebral de la cooperación en la prevención de una catástrofe, en las tareas de preparación para afrontarla, en la respuesta una vez producida y en la ayuda prestada a las personas afectadas. Gracias al rápido desarrollo tecnológico y a los numerosos medios, equipos y redes disponibles, se han abierto nuevas posibilidades que no podrán sin embargo cumplir plenamente su misión al servicio de la labor humanitaria si no se integran plenamente en la elaboración y aplicación de principios operativos. La disponibilidad y aplicabilidad de los medios de telecomunicaciones más idóneos en situaciones de emergencia son el resultado de una estrecha cooperación entre los organismos que se dedican a la labor humanitaria, los fabricantes de equipo y los proveedores de servicio que administran las distintas redes. Esta relación permitirá evaluar con objetividad qué pueden o no aportar estas tecnologías en diversas situaciones.

De conformidad con lo anterior y teniendo en cuenta el alcance de esta Consultoría, se concluye que el diseño de la RNTE está orientado específicamente a soportar las radiocomunicaciones para operaciones de socorro<sup>22</sup>, o lo que es equivalente, a servir como herramienta para soportar las comunicaciones encaminadas a la Gestión del Riesgo de Desastres<sup>23</sup>. En este punto es importante tener en cuenta que las telecomunicaciones son decisivas en todas las etapas de la gestión de emergencias y desastres, desde las alertas tempranas, la inminencia del peligro, la coordinación de las operaciones atención y socorro, información a la población y los medios a nivel local, regional, nacional e internacional, dependiendo de la gravedad del evento.

El análisis contemplado en este documento está basado en las mejores prácticas, tendencias del mercado y recomendaciones normativas internacionales y nacionales, para las redes de telecomunicaciones que atienden emergencias y desastres a nivel mundial.

---

<sup>22</sup> En los términos definidos por la UIT

<sup>23</sup> De conformidad con las definiciones dadas por la Ley 1523 de 2012



## 2 ANÁLISIS DE AMENAZAS GEOLÓGICAS E HIDROMETEREOLÓGICAS EN EL PAÍS

En este capítulo se reseña una conceptualización sobre las definiciones de riesgo, amenaza y vulnerabilidad; y se presenta el análisis de la información sobre las diferentes amenazas de origen natural: sísmica, volcánica, inundaciones, remoción en masa, tsunamis e incendios. Adicionalmente, se incluye la metodología para la tipificación de las Multi-Amenazas lo que permite definir las zonas geográficas en riesgo para establecer el objetivo de cobertura de la RNTE.

### 2.1 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Conceptualmente, se debe definir la interrelación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Dicha relación se establece incluso matemáticamente a través de la siguiente ecuación:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

El término de amenaza se relaciona con los peligros que representan los fenómenos de origen natural, tales como atmosféricos, hidrológicos y geológicos, tanto para el hombre como para el ambiente. Estas amenazas son fenómenos naturales que eventual o frecuentemente constituyen restricciones al uso del territorio; dado el origen, alcance y la magnitud, sus efectos pueden ser considerados inmanejables por el hombre.<sup>24</sup>

La amenaza resulta de la probabilidad de ocurrencia y severidad con la que cierto evento se presenta en un período y área determinada; aspectos de base para definir magnitud, características y extensión probable.<sup>25</sup>

La vulnerabilidad está referida a la exposición de infraestructura, elementos y lo más importante, personas o habitantes de un territorio; a causa de haberse presentado la ocurrencia de un evento desastroso.

Un riesgo se refiere a la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales y/o pérdidas – humanas, de bienes, especies, prácticas culturales, sitios simbólicos y lugares de rituales, entre

---

<sup>24</sup> Grupo Consultor

<sup>25</sup> Ibíd.

otras – en un lugar y tiempo determinados, resultado del desencadenamiento de una amenaza.<sup>26</sup>

Una amenaza se transforma en un riesgo de acuerdo a la vulnerabilidad que tiene una persona o los asentamientos humanos frente a las amenazas.<sup>27</sup>

Los anteriores conceptos se visualizan en la siguiente ilustración:

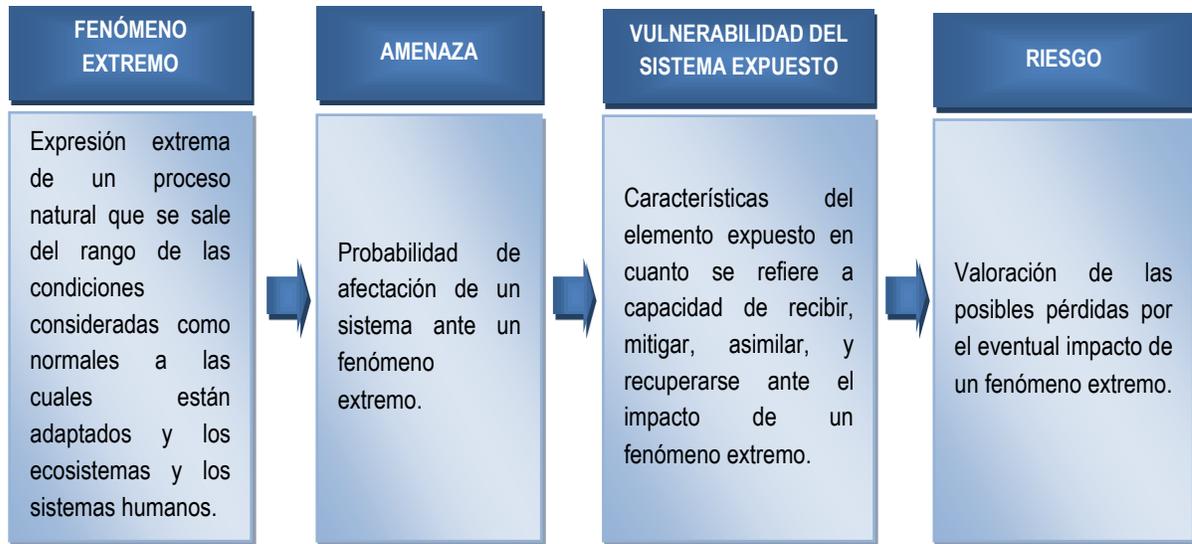


Ilustración 1 Definición de Riesgo<sup>28</sup>

Fuente: Ibíd

De conformidad con lo establecido en los pliegos de condiciones, esta consultoría centró su investigación en la evaluación de las amenazas de origen natural tomando como soporte información oficial suministrada por las instituciones públicas encargadas de difundirlas sobre las temáticas de sismicidad, vulcanismo, remoción en masa, incendios, inundaciones y tsunamis.<sup>29</sup>

## 2.2 AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL

*“Son todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos, que forman parte de la historia y de la coyuntura de la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica del*

<sup>26</sup> Basado en los conceptos de Smith, 1996: 5; IPCC, 2001:21; Morgan & Henrion, 1990:1; Random House, 1966; Adams, 1995: 8; Jones & Boer, 2003; Helm, 1996; Downing et al., 2001; Wisner et al., 2004 citado por Schipper, 2006; Crichton, 1999; Stenchion, 1997; UNCHA, 1992, citados por Brooks, 2003; SINSAAAT, et al., SF; IDEAM, 2001: 186 -185, Y pnuod, 2007:7 por MINTIC DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Preparándose para el futuro. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. UNODC-Colombia Proyecto AD/COL/121. Diciembre 2008.

<sup>27</sup> Ibíd.

<sup>28</sup> Ibíd.

<sup>29</sup> Ibíd.



*planeta, y que por ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano o a sus estructuras y actividades. Por tanto se concluye que algunos desastres de origen natural, no pueden ser evitados por el hombre, pero sí es posible mitigar y reducir sus efectos adversos<sup>30</sup>”.*

En Colombia, por sus características geológicas y tectónicas, así como por sus condiciones climáticas, se presentan eventualmente fenómenos catastróficos de origen geológico (terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos), hidro-meteorológico (tormentas, inundaciones, sequías) y mixtos (remoción en masa, avalanchas, entre otros).<sup>31</sup>

Estos eventos pueden ser poco frecuentes pero con grandes impactos, como el terremoto de Popayán (31 de marzo de 1983), la erupción del volcán Nevado del Ruiz y la avalancha que destruyó Armero (13 de noviembre de 1985), los sismos del Atrato Medio (17 y 18 de octubre de 1992), el de Tierradentro –conocido como el terremoto de Páez– (6 de junio de 1994) y el sismo del Eje Cafetero (25 de enero de 1999).<sup>32</sup>

Hay que anotar que en la ecuación (Amenaza x Vulnerabilidad=Riesgo), la amenaza para el caso de la población colombiana, es la más estática o tiende a no variar. Es decir, la amenaza sísmica en Popayán o Armenia, para citar dos ciudades que han sido sitios de eventos desastrosos por sismo, siempre será la misma. Lo que cambia es la vulnerabilidad, por el aumento de población en las cabeceras municipales, por los desplazamientos, y por las mismas construcciones habitacionales e infraestructura artesanal o de bajas características de sismo resistencia o competencia ante un fenómeno natural. Por ello es que estas ciudades y todo el territorio, siempre tendrán la misma Amenaza constante para Sismos o Volcanes pero su vulnerabilidad cada vez puede tender a ser más alta, aumentando proporcionalmente el factor Riesgo.<sup>33</sup>

En la siguiente gráfica, se interrelaciona la frecuencia, con el número de víctimas y viviendas destruidas, todo basado en el tipo de amenaza geológica o hidrometeorológicas que afectó el suceso.

Si analizamos la Gráfica 2, se presenta una proporcionalidad directa en los eventos sísmicos y volcánicos en cuanto a la generación de víctimas y daños a viviendas, siendo que su frecuencia

---

<sup>30</sup> Basado en los conceptos de Smith, 1996: 5; IPCC, 2001:21; Morgan & Henrion, 1990:1; Random House, 1966; Adams, 1995: 8; Jones & Boer, 2003; Helm, 1996; Downing et al., 2001; Wisner et al., 2004 citado por Schipper, 2006; Crichton, 1999; Stenchion, 1997; UNDHA, 1992, citados por Brooks, 2003; SINSAAAT, et al., SF; IDEAM, 2001: 186 -185, Y pnud, 2007:7 por MINTIC DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Preparándose para el futuro. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. UNODC-Colombia Proyecto AD/COL/121. Diciembre 2008.

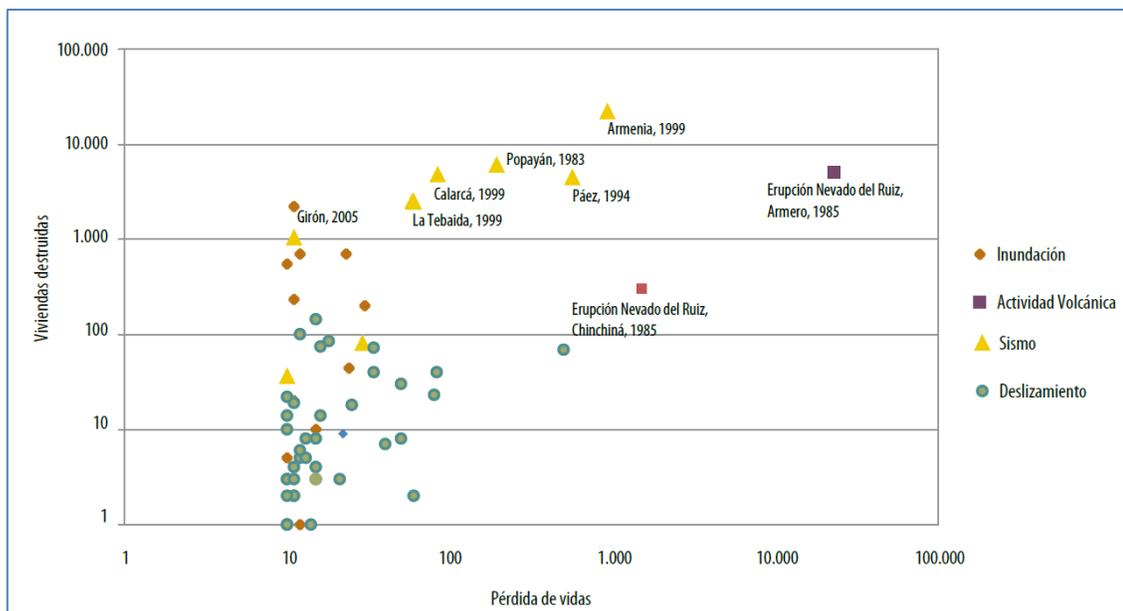
Ibíd.

<sup>31</sup> Grupo Consultor.

<sup>32</sup> BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>33</sup> Grupo Consultor.

(número de eventos) es baja; frente a eventos como deslizamientos e inundaciones, cuya frecuencia es mucho más alta pero el número de pérdida de vidas y de viviendas destruidas es menor.<sup>34</sup>



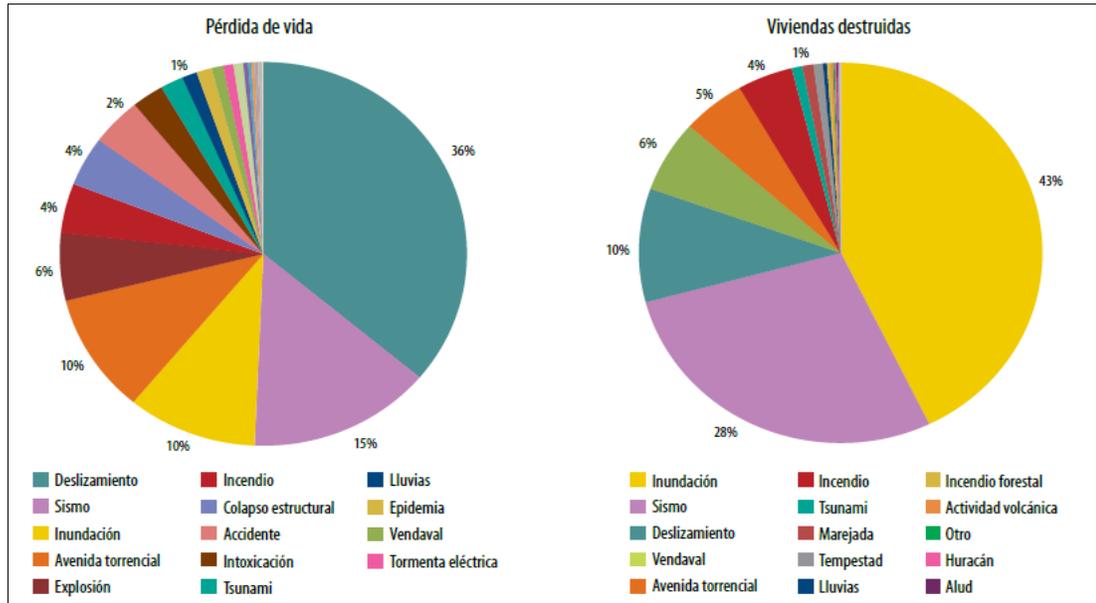
**Gráfica 1 Relación entre Viviendas Destruídas y Pérdidas de Vida, 1970-2011 por Eventos Hidrometeorológicos y Geológicos en Colombia**  
Fuente: Corporación OSSO<sup>35</sup>

Si se excluyen las grandes pérdidas asociadas con la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, los mayores porcentajes de pérdidas de vidas y de viviendas destruidas acumuladas para el período 1970-2011 corresponden a los deslizamientos y a las inundaciones, respectivamente<sup>36</sup>; ver la siguiente gráfica:

<sup>34</sup> Ibíd.

<sup>35</sup> Corporación OSSO 2011 a partir de Corporación OSSO-EAFIT, 2011 y DANE, 2010. En BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>36</sup> Ibíd.



**Gráfica 2 Pérdidas (Humanas y Viviendas) por Tipo de Evento en Colombia (no se incluye la erupción del Nevado del Ruiz, 1985)**

Fuente: *Ibíd*<sup>37</sup>

Leyendo la anterior gráfica, podríamos argüir que en un sitio determinado de Colombia en donde viven 100 personas en el mismo número de vivienda, influenciado por varias amenazas, y si estas actúan, o se disparan; un deslizamiento produciría 36 víctimas y 10 casas destruidas, un sismo 15 víctimas y 28 casas destruidas, y una inundación 10 víctimas y 43 viviendas destruidas.<sup>38</sup>

### 2.2.1 Amenaza Sísmica

Colombia está situada en la convergencia de tres placas litosféricas<sup>39</sup>: Nazca, Caribe y América del Sur, lo que significa que se ve afectada por una variedad de fuentes sísmicas asociadas con la zona de subducción del Pacífico, así como las fallas superficiales relacionadas con la acumulación de los esfuerzos en el continente (Corporación OSSO, 1998). La amenaza sísmica se expresa por los movimientos directos de las vibraciones sísmicas que actúan sobre la superficie y afectan la infraestructura. Estas vibraciones dependen de las características del

<sup>37</sup> *Ibíd*.

<sup>38</sup> Grupo Consultor.

<sup>39</sup> La parte sólida más externa del planeta es una capa de unos 100 km de espesor denominada litosfera que está formada por la corteza más la parte superior del manto. Hay siete grandes placas litosféricas principales además de otras secundarias de menor tamaño. Algunas de las placas son exclusivamente oceánicas, como la de Nazca, en el fondo del océano Pacífico. Otras, la mayoría, incluyen corteza continental que sobresale del nivel del mar formando un continente.



terremoto, como magnitud y profundidad, así como de las características del suelo y subsuelo. Las vibraciones pueden generar efectos secundarios como deslizamientos y *licuación* de suelos.<sup>40</sup>

La región Pacífica del país se encuentra expuesta a amenaza sísmica alta, asociada con la zona de subducción del océano Pacífico, la cual tiene la capacidad de liberar las mayores cantidades de energía sísmica en Colombia. En dicha fuente ocurrieron los sismos de 1906 y 1979, los cuales se destacan, además, por ocasionar un tsunami que afectó principalmente la población de Tumaco, municipio localizado en la costa Pacífica nariñense.

En la región Andina las zonas de amenaza sísmica alta se asocian con la actividad de fallas superficiales como Romeral, Cauca, Palestina y Frontal de la Cordillera Oriental, la cuales tiene la característica de generar sismos superficiales de gran poder destructivo, como los de Suaza (1827), Huila (1967), Popayán (1983), Páez (1994), Tauramena (1995) y Eje Cafetero (1999), entre otros.

Algunos de estos sismos se han destacado por generar importantes movimientos en masa, lo que se explica por las características topográficas y geológicas de la región. En el norte del Valle del Cauca, sur del Chocó y Eje Cafetero se presenta sismicidad de profundidad intermedia (entre 66 y 300 km), con eventos de magnitud alrededor de 6,0 a 6,5, que han generado importantes daños en Cali (en 1925), así como en Manizales y Pereira, y en otras poblaciones entre del sur de Antioquia y del norte del Valle del Cauca (en 1938, 1961, 1962, 1973, 1979 y 1995).<sup>41</sup>

Los Andes colombianos hacen parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, catalogado como una de las zonas sísmicas más activas del planeta. En este país la zonificación de la sismicidad se empezó a definir en los estudios regionales que sustentaron el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente NSR-10, de enero de 2010, cuyo mapa en su última versión, se reproduce en la **Ilustración 2**<sup>42</sup>

A raíz del sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983, se iniciaron en el país los estudios de microzonificación sísmica, el primero de los cuales se realizó en Popayán en 1992. En este tipo de estudios se mide la respuesta o comportamiento de los suelos frente a las ondas sísmicas, a fin de establecer tanto las restricciones para cierto tipo de construcciones como los parámetros

---

<sup>40</sup> Banco Mundial Colombia-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>41</sup> *Ibíd.*

<sup>42</sup> Grupo Consultor.



de diseño para las posibles o potenciales edificaciones e infraestructura apta para su construcción, con base en las implementaciones de este tipo de normas de sismo resistencia.<sup>43</sup>

La definición más usual de amenaza sísmica es la que se refiere a la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producido por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia. En este sentido, Ingeominas elaboró un mapa general del país en el que zonifica el territorio de acuerdo al valor de aceleración sísmica  $A_a$  (g), el cual se reproduce en la **Ilustración 3**.<sup>44</sup>

En general, sobre los niveles de amenaza sísmica en las diferentes regiones de Colombia se afirma que el 86% de los colombianos se encuentran bajo un nivel de amenaza sísmica apreciable: en zonas de amenaza alta aparecen cerca de 475 municipios con el 35% de los habitantes; en zonas de amenaza intermedia 435 municipios con el 51% de la población; y en zonas de amenaza baja 151 municipios con aproximadamente el 14% de los colombianos. Sin embargo, el riesgo no sólo depende del grado de amenaza sísmica, sino del grado de vulnerabilidad que en general tienen las construcciones asociados a esta<sup>45</sup>.

A nivel municipal, Cali representa la mayor población expuesta a amenaza sísmica alta, seguido por otras capitales como Cúcuta, Bucaramanga, Pereira, Villavicencio, Pasto y Manizales.<sup>46</sup>

Basados en un mejor conocimiento y entendimiento de los eventos sísmicos, INGEOMINAS en el año 2010, publicó un mapa de amenaza sísmica con periodo de retorno de 475 años (**Ilustración 4**).

---

<sup>43</sup> *Ibid.*

<sup>44</sup> *Ibid.*

<sup>45</sup> DUQUE, G. Sismos y volcanes en Colombia. Documento electrónico. [Consultado el 25 de octubre de 2011]. En DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DEL ENTORNO NACIONAL EN RELACIÓN CON LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS Y DESASTRES Y DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE EMERGENCIA (RNTE) EN COLOMBIA. CONTRATO ESTATAL DE CONSULTORÍA No. 000396 DE 2011. FONTIC-ITECO. Entregable 1.

<sup>46</sup> BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

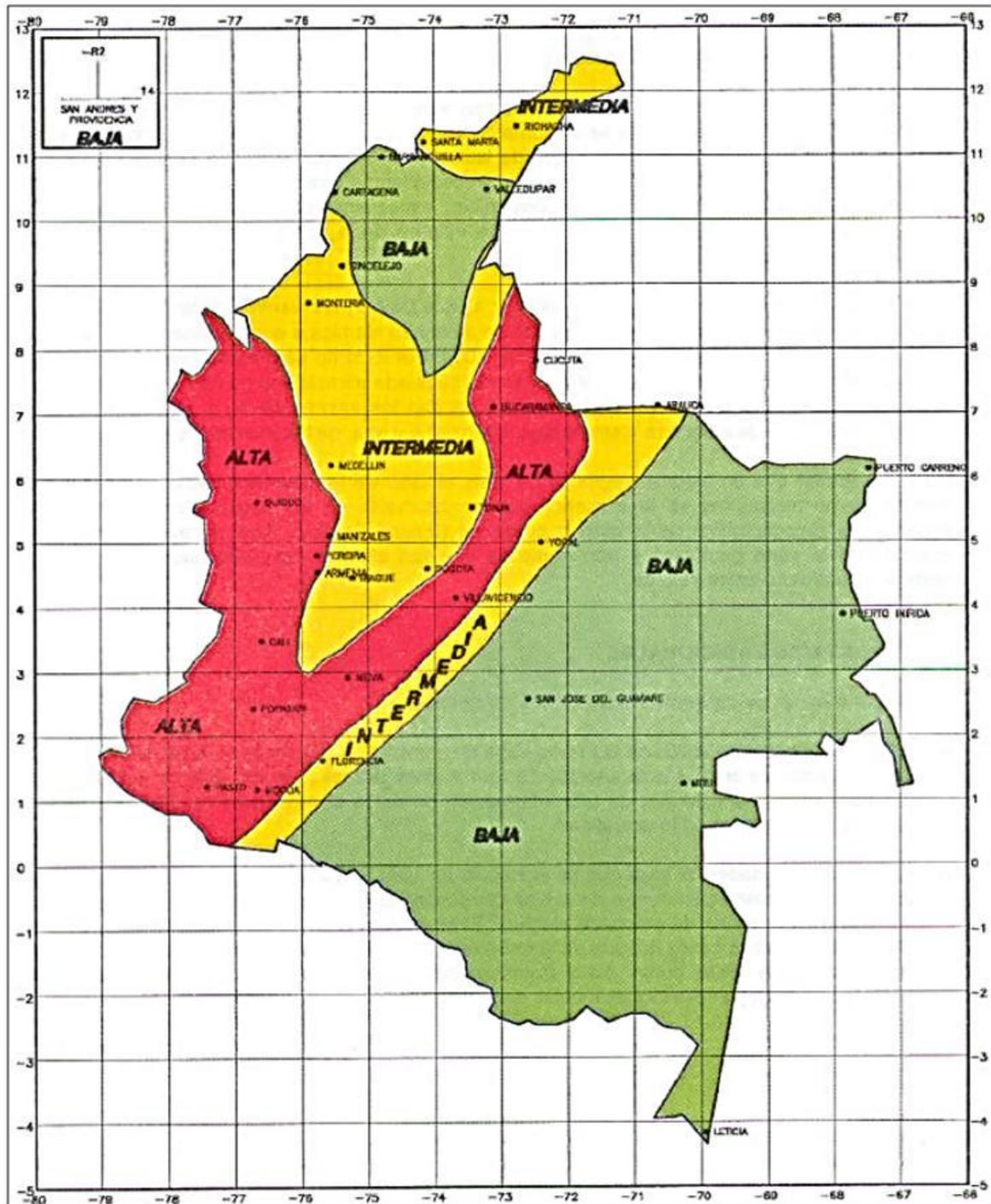


Ilustración 2 Zonificación del Riesgo Sísmico en Colombia

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente NSR-10, de enero de 2010

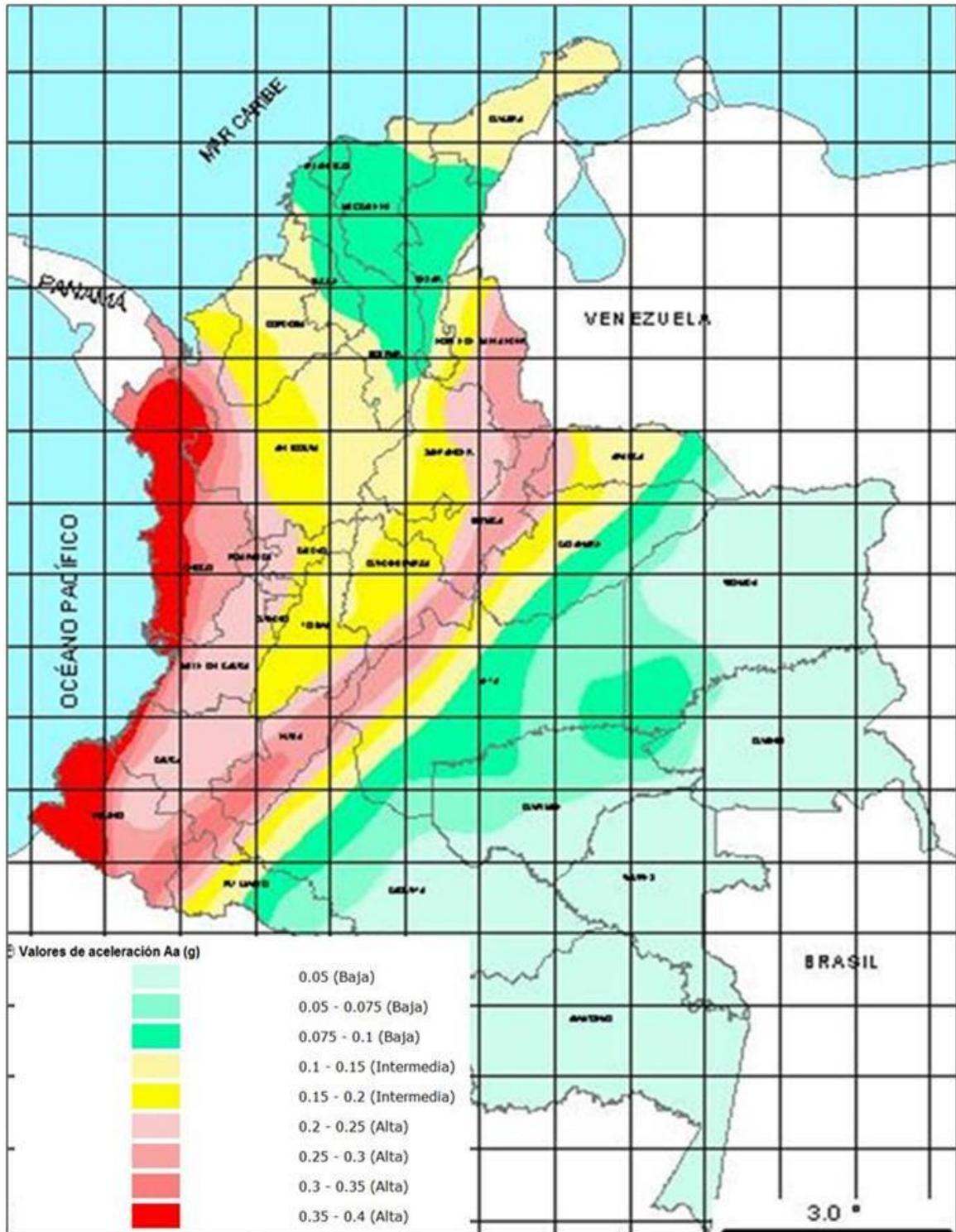
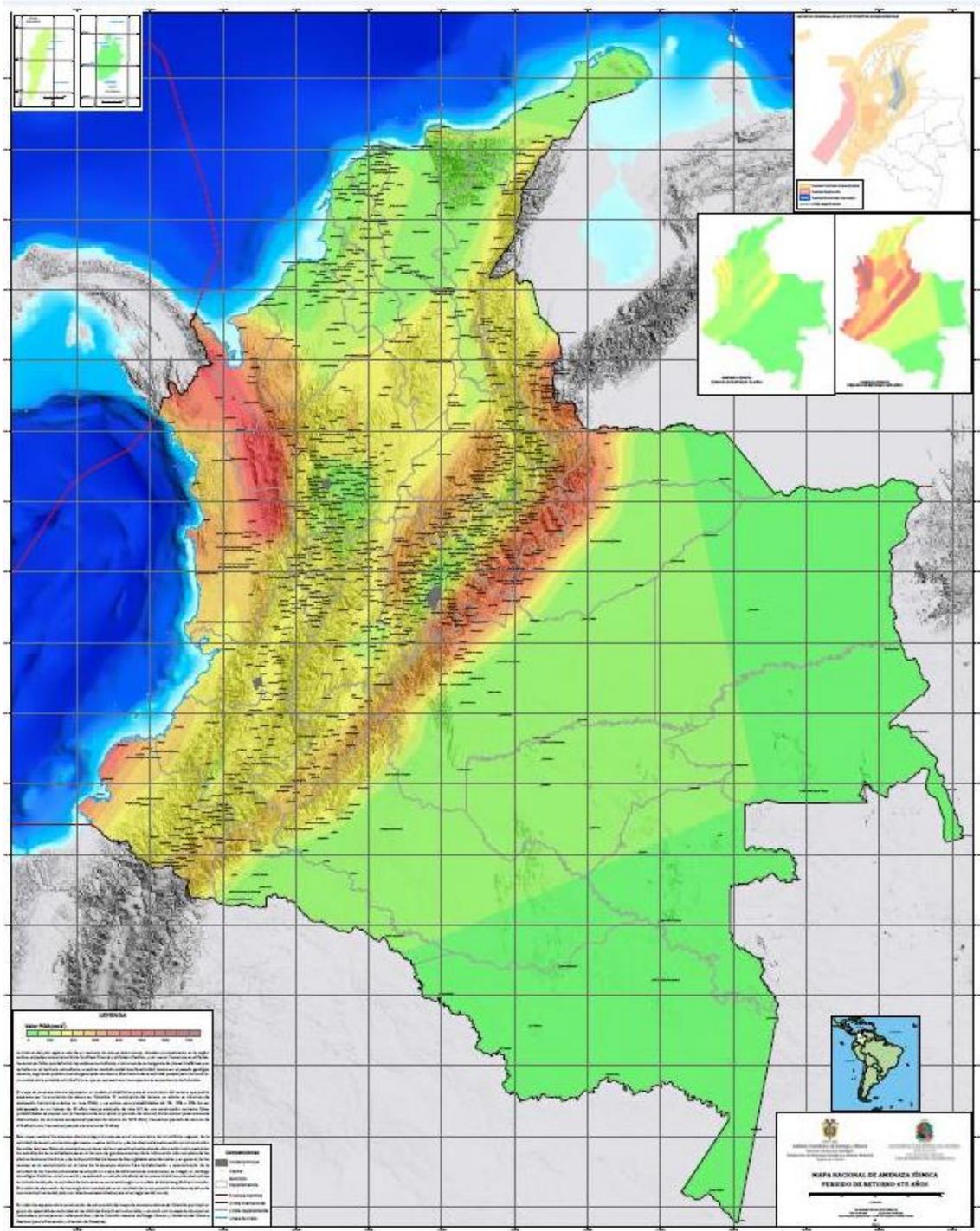


Ilustración 3 Mapa de Zonificación de Aceleración Sísmica Aa (g)

Fuente: Ingeominas, 199



**Ilustración 4** Mapa Nacional de Amenaza Sísmica – Periodo de Retorno 475 años  
Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2010



La leyenda del mapa de la **Ilustración 4** presenta la siguiente explicación:

La historia del país registra más de un centenar de sismos destructores, ubicados principalmente en la región andina, el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y el Océano Pacífico, y con menor frecuencia en el Caribe. Las extensas fallas que delimitan las cadenas montañosas, y las zonas de convergencia de placas litosféricas que se hallan en el territorio Colombiano, muestran también evidencias de actividad sísmica en el pasado geológico reciente, sugiriendo posibles zonas de generación de sismos. Esta historia de la actividad pasada permite construir un modelo de la probable actividad futura, que se representa en los mapas de amenaza sísmica de Colombia.

El mapa de amenaza sísmica representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años, tiempo estimado de vida útil de una construcción corriente. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia excepcional (periodo de retorno de 2475 años), frecuentes (periodo de retorno de 475 años) o muy frecuentes (periodo de retorno de 75 años).

Este mapa nacional de amenaza sísmica integra los avances en el conocimiento de la tecnología regional, de la actividad de las estructuras sismogénicas en nuestro territorio, y de los efectos de la atenuación en la transmisión de ondas sísmicas. Estos conocimientos provienen de las nuevas fuentes locales de información instrumental, de los efectos de sismos históricos y de la disponibilidad de bases de datos globales estandarizados y, en general, de los avances en el conocimiento en el tema de la amenaza sísmica.

Para la delimitación y caracterización de la actividad de las fuentes potenciales se compiló un mapa de deformaciones cuaternarias, se integró un catálogo sismológico histórico e instrumental y se adelantó un estudio detallado de los sismos históricos más destructivos en la historia del país. La actividad de las fuentes se caracterizó según un modelo de Gutenberg-Richter truncado. El modelo de atenuación de la energía sísmica adoptado es el resultado de la comparación de la base de datos de movimientos fuertes del país, con relaciones desarrolladas para otras regiones del mundo.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2010. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica – Periodo de Retorno 475 años.



Por lo anterior, este mapa nacional de amenaza sísmica zonifica áreas cuyos sismos se presentan con unas frecuencias promedio de 475 años o con este intervalo de tiempo, pero que tienen la potencialidad de producir daño de gran magnitud.<sup>48</sup>

El mapa de amenaza sísmica con rangos intermedios y altos para detallar y estructurar mediante SIG la zonificación de esta temática en el presente estudio, se definió de la siguiente manera: para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración picos efectivos mayores de 0,20 g (amenaza alta); y para amenaza sísmica intermedia los valores de aceleración están entre 0,10 a 0,20 g. Estos rangos de amenaza fueron suministrados por una experta en el tema del Servicio Geológico Colombiano, Dra. Mónica Arcila, en comunicación personal, de fecha 11 de marzo de 2013; en las oficinas del Servicio Geológico Colombiano.<sup>49</sup>

### 2.2.2 Amenaza Volcánica

En el año de 1989, Ingeominas (Hoy Servicio Geológico Colombiano) publicó el Catálogo de los volcanes activos de Colombia y 10 años después divulgó el Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Además viene monitoreando con instrumentación sismológica y telemétrica los 14 volcanes activos que se considera existen en el país.<sup>50</sup>

Ellos son el volcán Cerro Negro de Mayasguer, el volcán nevado del Huila, el volcán nevado del Ruiz, el volcán nevado del Tolima, el volcán nevado de Santa Isabel, el volcán Galeras, el volcán nevado de Cumbal, el volcán nevado de Chiles, el volcán Azufral, el volcán Doña Juana, el volcán nevado de Puracé, el volcán Sotará, el volcán Cerro Bravo y el volcán Cerro Machín.<sup>51</sup>

La amenaza volcánica tiene que ver con las diferentes manifestaciones de la actividad de un volcán, como son los sismos producidos por los movimientos de fluidos y sólidos en su interior, la emisión de gases, la expulsión aérea de piroclastos, los flujos piroclásticos, los flujos de lava, los flujos de lodo y las ondas de choque generadas por las erupciones explosivas.<sup>52</sup>

Las características de la amenaza volcánica se establecen a partir de la definición del tipo de volcán, de la reconstrucción de su historia geológica y de la investigación de la magnitud de su actividad a través de los registros litológicos e históricos de la misma. Con toda esta información se confeccionan los mapas de amenaza, en los cuales se delimitan las áreas expuestas, por

---

<sup>48</sup> Grupo Consultor.

<sup>49</sup> Ibíd.

<sup>50</sup> Ibíd.

<sup>51</sup> Ibíd.

<sup>52</sup> Ibíd.

ejemplo, a lluvias de piroclastos, a flujos de lodo o a cualquiera de las manifestaciones de la actividad volcánica.<sup>53</sup>

El Servicio Geológico Colombiano ha elaborado mapas de amenaza definitivos o preliminares para gran parte de los volcanes del país, pero son muy pocos lo que están en publicación.<sup>54</sup>

<b>V. N. del Huila (5631 m)</b>	Huila, Cauca, Tolima	Preliminar	1996
<b>V. N. del Ruiz (5310 m)</b>	Tolima	2ª versión	1986
<b>V. N. del Tolima (5280 m)</b>	Tolima	Preliminar	1989
<b>V. N. Santa Isabel (5100 m)</b>	Tolima, Caldas y Risaralda	Final	1993
<b>V. Galeras (4276 m)</b>	Nariño	3ª versión	1997
<b>V. N. Cumbal (4764 m)</b>	Nariño	Preliminar	1988
<b>V. N. Chiles (4750 m)</b>	Nariño	Preliminar	1997
<b>V. Cerro Negro (4460 m)</b>	Nariño	Preliminar	1997
<b>V. Azufral (4070 m)</b>	Nariño		Sin Información
<b>V. Doña Juana (4250 m)</b>	Nariño		Sin Información
<b>V. N. Puracé (4700 m)</b>	Cauca y Huila	Actualización	2008
<b>V. Sotará (4580 m)</b>	Cauca		Sin Información
<b>V. Cerro Bravo (4020 m)</b>	Caldas	Preliminar	1992
<b>V. Cerro Machín (2750 m)</b>	Tolima	Preliminar	2002

**Tabla 4 Mapas de Amenaza Volcánica Disponibles**

**Fuente: Servicio Geológico Colombiano**

Sin embargo, para esta consultoría sólo se recibió información cartográfica de: Volcán Nevado del Ruiz, del Huila, del Tolima, Santa Isabel, del Cerro Machín, del Volcán del Galeras, del volcán Cerro Negro y Chiles que se visualizan en las Ilustraciones 5, 6, 7, 8, 9 10 y 11.

El Servicio Geológico Colombiano (antes Ingeominas), diferentes Corporaciones Autónomas Regionales y universidades han advertido que uno de los escenarios más críticos desde el punto de vista volcánico podría estar relacionado con una explosión del Cerro Machín.<sup>55</sup>

<sup>53</sup> Ibíd.

<sup>54</sup> Ibíd.

<sup>55</sup> Ibíd.



Los efectos volcánicos más desastrosos en Colombia, han sido consecuencia de lahares o flujos de lodo<sup>56</sup>, concentrados en las zonas de influencia de los volcanes Ruiz, Galeras y Huila.<sup>57</sup>

La exposición de ciudades y poblaciones a fenómenos como erupciones volcánicas, lahares y avalanchas no ha sido estimada para todos los volcanes en términos de posibles impactos humanos y económicos; sin embargo, los datos parciales de los volcanes que cuentan con mapas de amenaza indican que hay por los menos 1,9 millones de personas en la zona de influencia y de estos, aproximadamente 240 mil se localizan en zonas de amenaza alta.<sup>58</sup>

Para la estructuración de la información se utilizó el mapa elaborado por el Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007, sobre el grado de amenaza volcánica (ver Ilustración 6). Los grados se clasifican según los siguientes grados<sup>59</sup>:

**Grado de Amenaza Alta** - Probabilidad de lavas, flujos piroclásticos, lahares, flujos de escombros y/o caída de piroclastos.

**Grado de Amenaza Media (Moderada)** - Probabilidad de flujos de lodo y/o piroclastos, lahares y/o caída de piroclastos. En el volcán Nevado del Huila flujos de lavas.

**Grado de Amenaza Baja** - Probabilidad de caída de piroclastos y/o flujos de lodo. Para el Volcán Nevado del Huila probabilidad de lavas.

---

<sup>56</sup> Los lahares son avalanchas formadas por hielo y nieve, a causa de los procesos eruptivos (efusivos o explosivos), o por liberación súbita de masas de agua acumuladas sobre el aparato volcánico, o cerca de él. Los flujos de lodo pueden formarse por abundante caída de piroclastos sobre drenajes, o por lluvias fuertes que se mezclen con material suelto de las laderas del volcán, principalmente material piroclástico generado después de erupciones explosivas.

<sup>57</sup> BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>58</sup> Corresponde al cálculo de población expuesta para los volcanes Galeras, Huila, Machín, Ruiz, Cumbal Cerro Negro, Chiles, Puracé, Santa Isabel, y Tolima (Corporación OSSO, 2011; Servicio Geológico Colombiano, 2011). En BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>59</sup> Mapa de Grados de Amenaza Volcánica. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007.

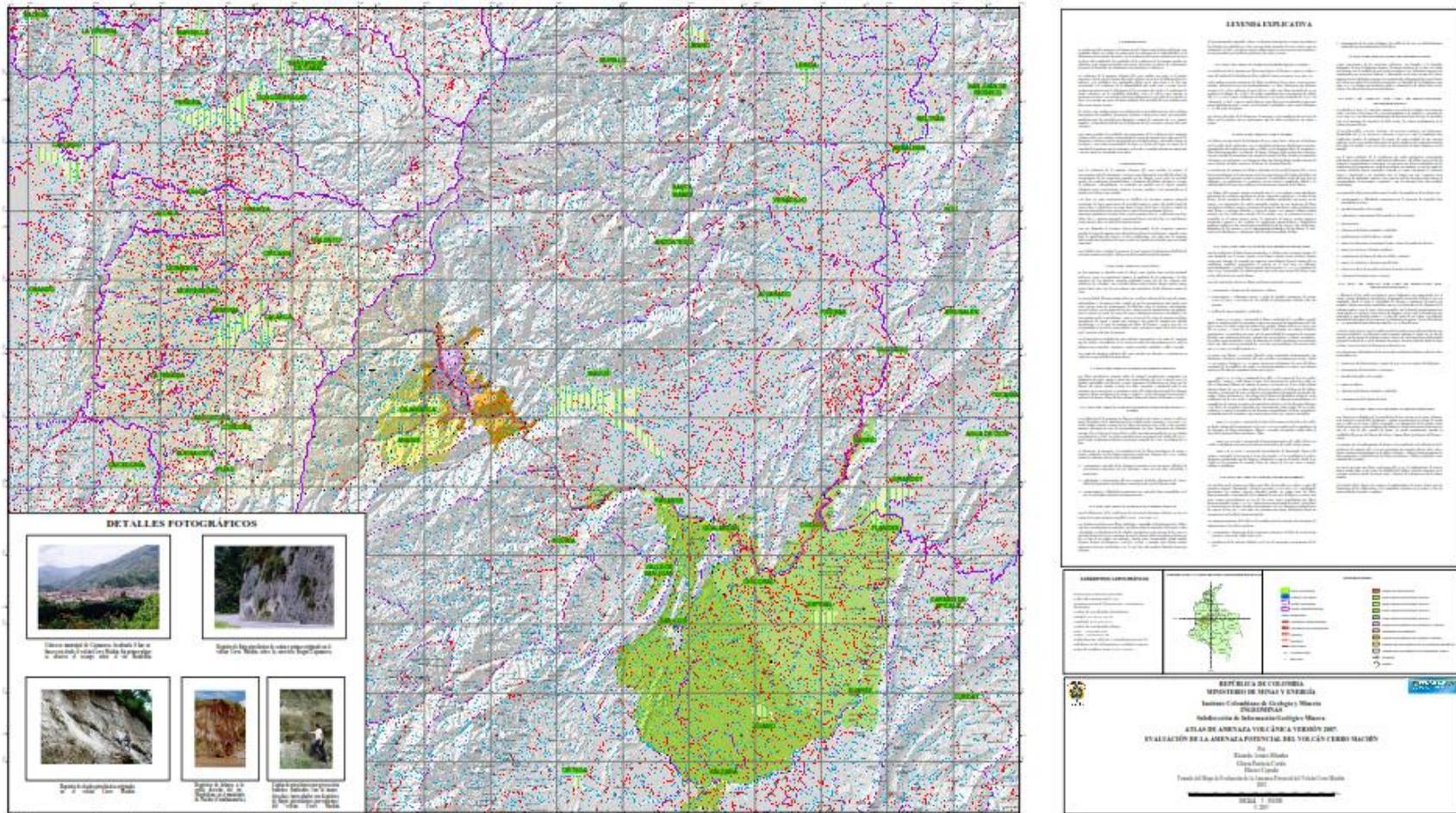


Ilustración 5 Mapa Amenaza Machín

Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007

MAPA DE AMENAZAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO DEL NEVADO DEL HUILA

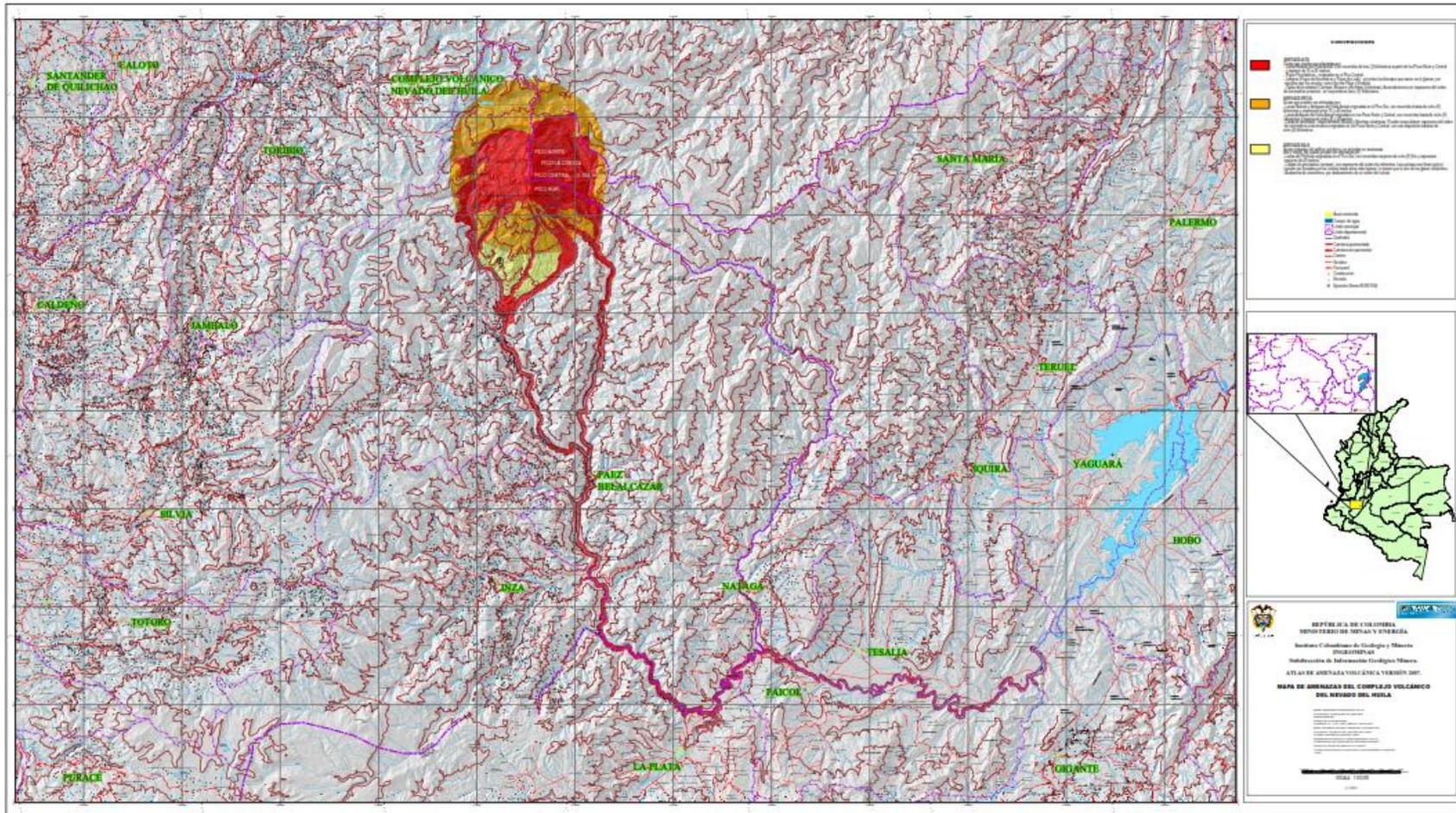
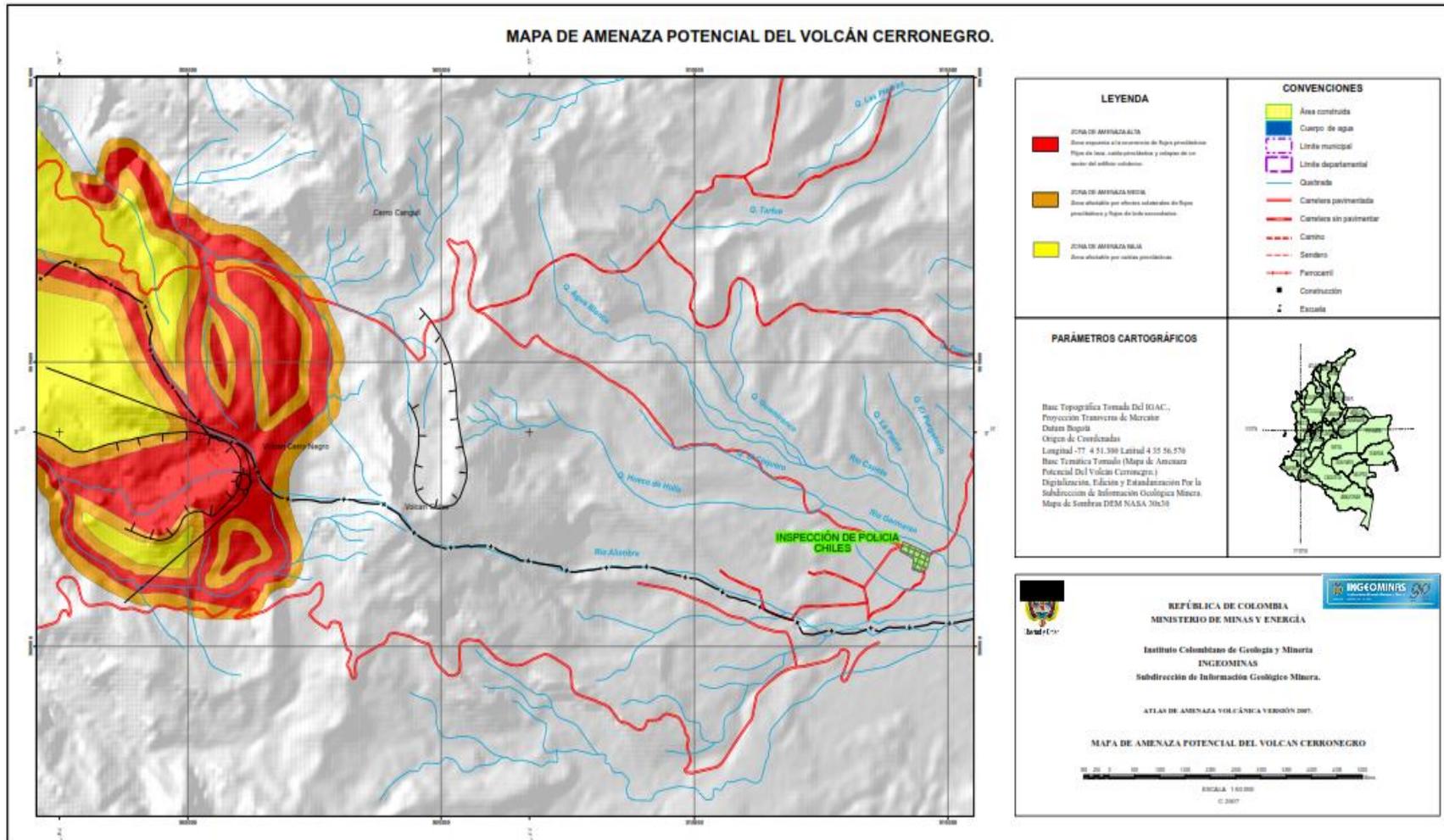


Ilustración 6 Mapa Amenaza Nevado Huila

Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007



**Ilustración 7 Mapa Amenaza Volcán Cerronegro**  
Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007





EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POTENCIAL DEL VOLCÁN CERRO MACHÍN

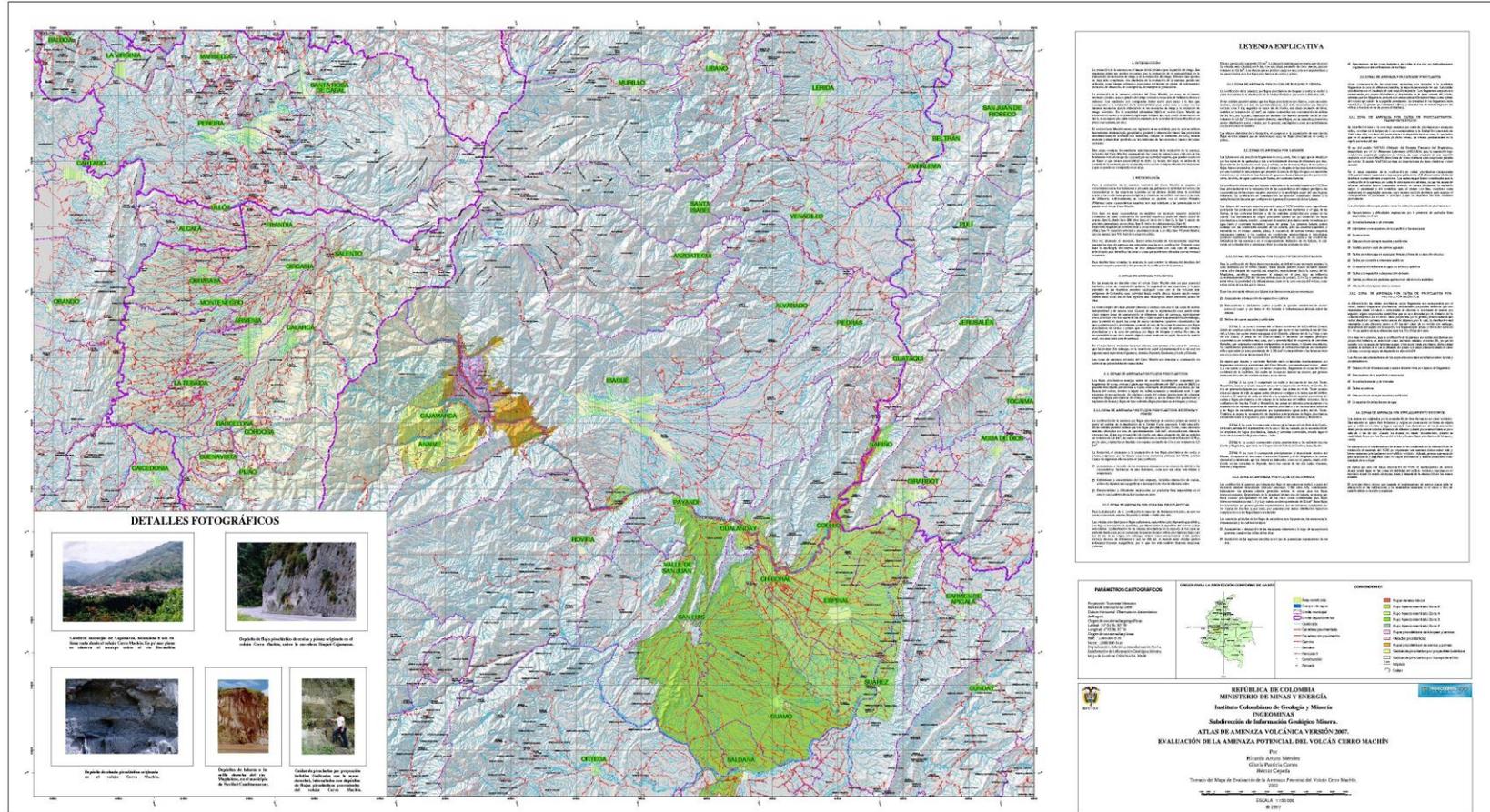
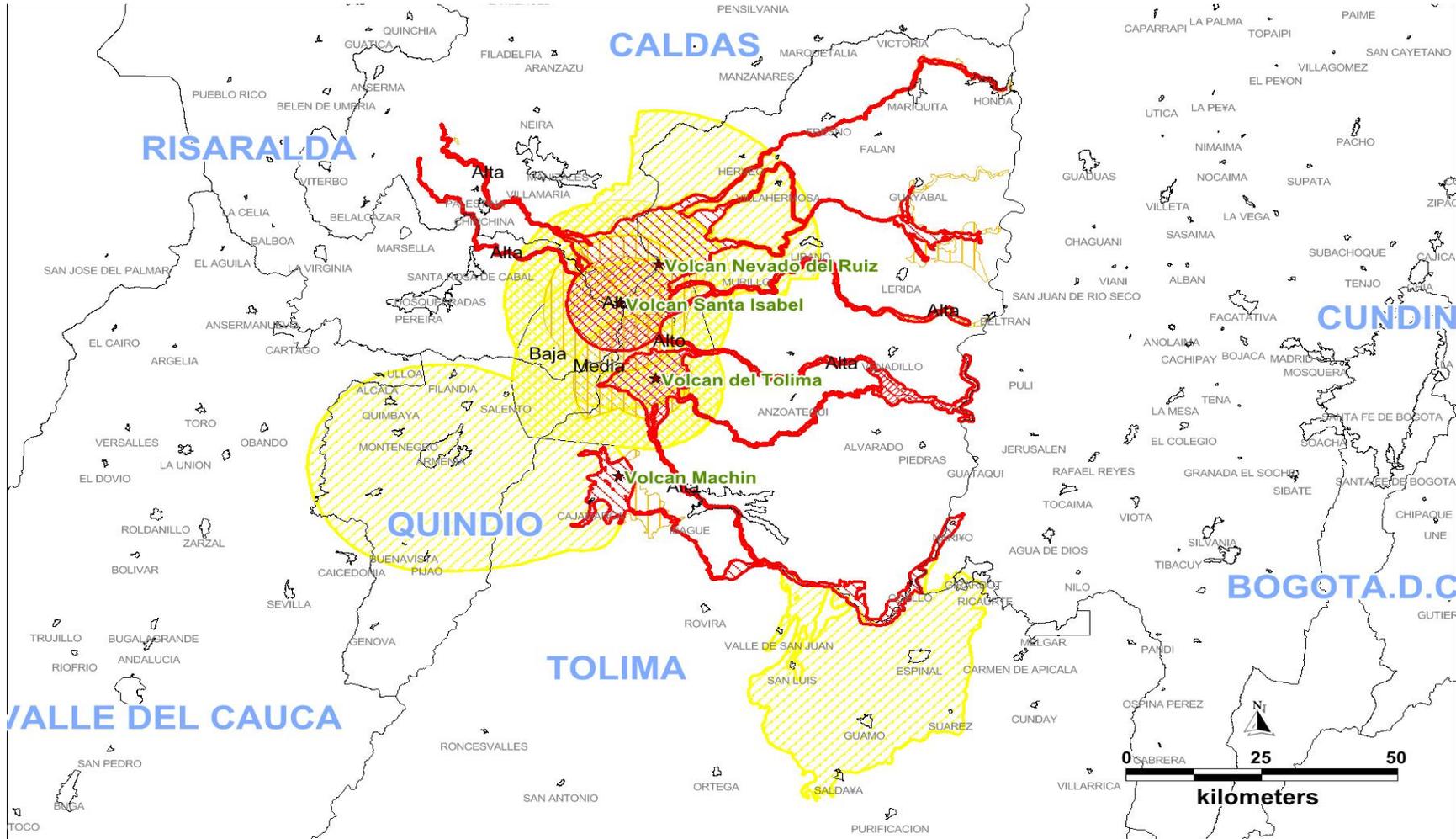


Ilustración 10 Mapa Amenaza Volcán Galeras  
Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007



**Ilustración 11 Mapa Amenaza Volcán Santa Isabel y Tolima**

**Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, Dirección del Servicio Geológico, 2007**



### 2.2.3 Amenaza por Inundaciones

En Colombia, la presencia de llanuras bajas y valles aluviales, aunada a las condiciones de precipitación facilitan la ocurrencia de inundaciones, algunas de manera lenta, que afectan grandes extensiones de terreno, y otras más rápidas asociadas a lluvias intensas en la parte alta de las cuencas con fuertes pendientes.<sup>60</sup>

Las inundaciones son consideradas zonas inundables dadas sus características morfológicas, resultan anegadas durante la ocurrencia de grandes eventos extraordinarios o periódicos, los cuales incluyen volúmenes de agua o de agua y sólidos importantes. Entre otros, las avalanchas son consideradas parte de este fenómeno aunque también correspondan con movimientos masales rápidos. Se afirma que la relación de agua-sólidos varía entre el 40% y 60%.<sup>61</sup>

Las inundaciones junto con sus efectos y magnitud se encuentran asociadas a las características del fenómeno que las causa, es decir, deslizamientos, erupciones, entre otras.<sup>62</sup>

Algunos de los efectos ocasionados por inundaciones son:<sup>63</sup>

- Anegamiento de las llanuras de inundación con pérdidas ocasionales de vidas, deterioros en viviendas, infraestructura y áreas de producción agropecuaria.
- Estancamiento de aguas por deficiencia de drenaje en las áreas, con repercusiones sobre salud pública.
- Cauces inestables en épocas de avenidas torrenciales por carga excesiva en el flujo de agua, causando por consiguiente erosión de márgenes, con consecuencias sobre la infraestructura como pérdida de puentes, caminos, viviendas, y de áreas productivas.

El IDEAM presentó en 1998 una caracterización de las inundaciones por región, la cual se resume así:<sup>64</sup>

- En la Región Andina se presentan inundaciones súbitas y de incierta ocurrencia, causadas por avenidas de ríos cuyos caudales máximos en sus períodos de retorno acumulados de muchos años, o por eventos indirectos que impulsan estos fenómenos

---

<sup>60</sup> Banco Mundial Colombia-GFDRR. Op. Cit., p. 42.

<sup>61</sup> Pabón, J., J. Zea, G. León, J. Montealegre, G. Hurtado & O. Gonzalez. 1998: La Atmósfera, El Tiempo y El Clima. En: El Medio Ambiente en Colombia (Editado por Pablo Leyva, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá, D.C., 495pp), pp. 38-86.

<sup>62</sup> *Ibid.*

<sup>63</sup> Grupo Consultor.

<sup>64</sup> *Ibid.*



como son sismos o erupciones, asociados con el estado de las cuencas por efecto de las actividades antrópicas inadecuadas.

Los lugares en donde se presentan inundaciones rápidas y ocasionales, son Girón, Santander y en el noroeste de Antioquia, caracterizadas principalmente porque los efectos se concentran sobre lugares donde los ríos de montaña encuentran sus valles de salida, o en el ámbito de cuencas deforestadas, habida cuenta de la existencia de poblados en sus cabeceras.

- En las Planicies deprimidas o zonas de ciénaga, relacionadas con inundaciones lentas y periódicas, propias de áreas agrícolas extensas no drenadas, permaneciendo sumergidas gran parte del año durante la estación invernal. Al igual que la anterior, las actividades antrópicas inadecuadas en las llanuras de inundación acentúan este fenómeno con sus consecuentes efectos negativos sobre la calidad de vida y del ambiente circundante.

Ejemplos de estas inundaciones periódicas y lentas corresponden a la Depresión Momposina, donde drenan los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y César; además del bajo Atrato, aguas abajo de Riosucio, Chocó. El fenómeno se caracteriza por las complejas consecuencias ambientales como desecación de las ciénagas de interés para los pescadores; reducción del amortiguamiento de las crecientes por la construcción de diques, en detrimento de la estabilidad de las áreas aguas abajo.

En el año 2010, el IDEAM publicó el Mapa de Zonas Susceptibles a Inundación en el territorio nacional (ver **Ilustración 12**).

Para el Banco Mundial<sup>65</sup>, las áreas con mayor susceptibilidad a inundarse son: (i) en el oriente del país, en las llanuras bajas de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas; (ii) en los valles aluviales en las regiones Caribe y Pacífica, asociados con el río Magdalena, la depresión Momposina, los valles de los ríos Sinú y Alto San Jorge, y en las tierras bajas cercanas al río Atrato, en el Chocó, y los deltas de los ríos San Juan, Telembí, Patía y Mira; y (iii) en los valles interandinos, principalmente de los ríos Cauca y Magdalena, lo mismo que en la Sabana de Bogotá.

---

<sup>65</sup> BANCO MUNDIAL COLOMBIA-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.



**Ilustración 12 Mapa de Susceptibilidad de Amenaza por Inundaciones**  
Fuente: Mapa de Zonas Susceptibles a la Inundación, IDEAM; 2010



#### 2.2.4 Amenaza por Remoción en Masa (Deslizamientos)

En Colombia, las condiciones topográficas como en todas las zonas montañosas del mundo forman un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, siendo comunes los deslizamientos de suelo y roca sobre una superficie de ladera, los desprendimientos, derrumbes o caídas de bloques en taludes empinados, los flujos de detritos y de lodo, la solifluxión o movimiento lento de suelos saturados, entre otros; situación que se acentúa con los procesos antrópicos que se desarrollan.

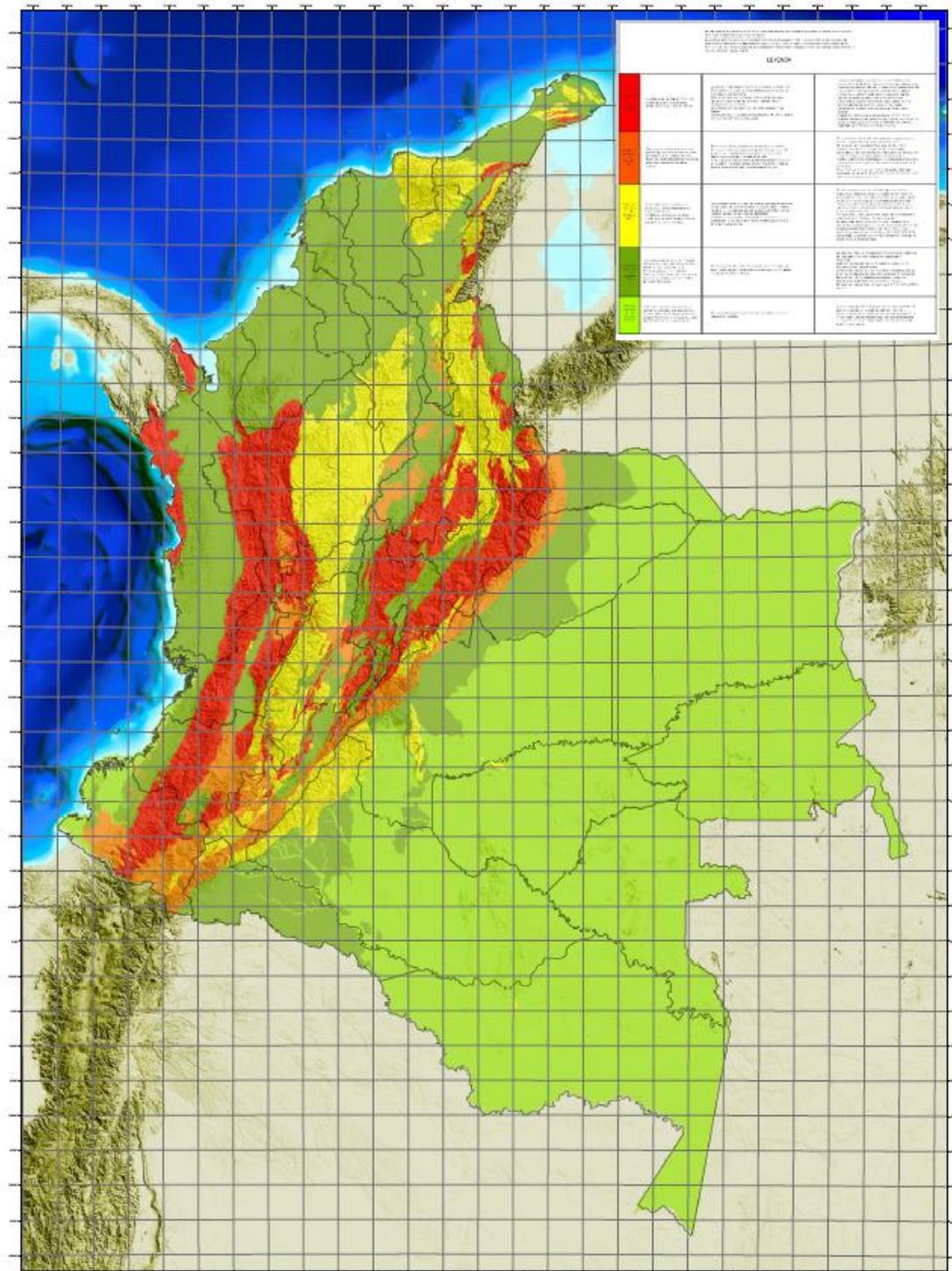
El término “remoción en masa” se refiere al movimiento descendente de un volumen de rocas, suelo o una mezcla de los dos. Se trata de un movimiento controlado por gravedad que ocurre sobre terrenos donde se conjugan ciertas condiciones topográficas, *geomorfológicas*, geológicas, *geotécnicas*, climáticas y de vegetación. Las aceleraciones derivadas de un movimiento sísmico pueden activar en muchos casos este tipo de movimientos y en algunos también intervienen perturbaciones de origen antrópico, las cuales pueden llegar a ser decisivas en la generación de movimientos de remoción en masa.

La cartografía disponible sobre el grado susceptibilidad del territorio colombiano a los movimientos de remoción en masa es aún de carácter muy indicativo y a escala 1:1'500.000, (ver **Ilustración 13**).

Según esta cartografía, el 18% del territorio nacional se encuentra localizado en zonas de amenaza muy alta y alta por movimientos en masa, principalmente en los departamentos de la región Andina que tienen gran porcentaje de su área expuesta a este fenómeno, como Boyacá (74%), Cundinamarca (65%), Risaralda (61%) y Caldas (59%).<sup>66</sup>

---

<sup>66</sup> Banco Mundial Colombia-GFDRR. Op. Cit., p. 47.



**Ilustración 13 Mapa de Amenazas por Remoción en Masa**  
Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras – INGEOMINAS, 2003



### 2.2.5 Amenaza por Tsunamis

Un tsunami o maremoto consiste en una serie de olas de gran energía, tamaño y velocidad que se irradian hacia el exterior desde un foco de manera similar a lo que ocurre cuando se tira una piedra en un estanque. Generalmente son fenómenos inducidos por otros fenómenos de origen geológico tales como terremotos, actividad volcánica, deslizamientos submarinos o por derrumbamientos de acantilados costeros. Por tanto, los signos propios del peligro de tsunami son la presencia de fallas activas que generan terremotos bajo la superficie del agua, las áreas inestables a lo largo de acantilados costeros o en los taludes submarinos de los deltas de los ríos o de edificios volcánicos.<sup>67</sup>

En Colombia los tsunamis desencadenados por grandes terremotos pueden ocurrir tanto en la costa Pacífica como en el Caribe. Sin embargo, los mayores desastres por este fenómeno han ocurrido en la costa Pacífica, ya que la fuente de amenaza primordial para Colombia se localiza en dicha región. Como los tsunamis son generados normalmente por sismos con magnitudes mayores o iguales a 7,5, su recurrencia se compara con la de terremotos de esas características que pueden ser de origen cercano a las costas colombianas o de origen lejano, generados a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico.

Los departamentos con mayor exposición a tsunamis son Cauca, Nariño, Chocó y Valle del Cauca en el Pacífico, y La Guajira, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba, Antioquia y Chocó, en el Caribe; además de las áreas insulares en ambos océanos. La población localizada en los municipios costeros alcanza los 7 millones de habitantes (6 millones en el Caribe y 1 millón en el Pacífico), lo que representa el 16% del total de población del país. Dada la mayor probabilidad de ocurrencia de tsunamis en el Pacífico, el municipio con mayor población expuesta y posibilidades de pérdidas por este fenómeno es Tumaco (Nariño).<sup>68</sup>

Por información de DIMAR, se estableció que la costa Caribe presenta Amenaza Media para Tsunamis, y la costa Pacífica, Amenaza Alta<sup>69</sup>. Con base en esta información y la que se presenta en la página de la DIMAR, el Grupo Consultor estructuró el mapa presentado en la **Ilustración 14**.

---

<sup>67</sup> Diagnóstico sobre el estado actual del entorno nacional en relación con la prevención y atención de emergencias y desastres y del estado actual de la Red Nacional de Telecomunicaciones De Emergencia (RNTE) en Colombia. Contrato estatal de Consultoría No. 000396 DE 2011. FONTIC ITECO. Entregable 1.

<sup>68</sup> Banco Mundial Colombia-GFDRR. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>69</sup> Correo electrónico 28 de febrero de 2013, enviado por Milton Puentes, funcionario del DIMAR.



Ilustración 14 Mapa de Amenazas por Tsunamis

Fuente: Estructurado por la consultoría con base en información de la DIMAR, 2013. En la leyenda se lee:  
Amenazas Tsunamis



## 2.2.6 Amenaza por Incendios

En épocas de verano en el territorio colombiano, es recurrente la manifestación de incendios forestales los cuales tienen diverso origen; por ende, no se considera específicamente una amenaza natural, puesto que su origen puede ser antrópico.

En Colombia, se estima que la casi totalidad de los incendios forestales son de origen antrópico<sup>70</sup>, bien sean generados intencionalmente para la ampliación de la frontera agropecuaria, o por negligencia al no tomar las precauciones adecuadas<sup>71</sup>, sobre todo en las quemaduras agrícolas; por descuido (fumadores, fogatas, pólvora y cacería de animales, entre otros); accidentales (caída de líneas eléctricas sobre la vegetación o roce de las mismas con los árboles) y por atentados terroristas.<sup>72</sup>

De acuerdo con los registros parciales del período comprendido entre 1986 y 2002, en Colombia han sido reportados 14.492 eventos de incendios forestales y se ha presentado una afectación de cerca de 400.788 hectáreas. En el año 1997 se presentó el mayor número de reportes con 10.289 eventos (70.9% del total de reportes), situación que coincidió con el fenómeno del Pacífico o del “Niño”, originando consecuencias severas para el país y provocando un déficit de humedad en la vegetación, con altas temperaturas que incidieron en la ocurrencia de incendios, afectando un área de 164.736 hectáreas. Igualmente se registran valores altos en los años 1991, 1998 y 2001, coincidiendo regularmente con el mismo fenómeno climático.<sup>73</sup>

La región orinocense registra la mayor área afectada por causa de las quemaduras en los pajonales de las sabanas con 117.820 hectáreas, correspondiendo al 43.8% del total del área afectada. La región alto-andina del centro del país, con los departamentos de Tolima, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Boyacá y Huila, registran una superficie afectada de 135.623 hectáreas (34%), siendo significativo el impacto ambiental por la localización de los mismos en las partes altas de importantes Cuencas Hidrográficas.<sup>74</sup>

De acuerdo con los análisis de vulnerabilidad de la cobertura vegetal realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se encontró que la mayor ocurrencia de incendios corresponde a las sabanas arboladas y arbustivas de la Orinoquia, el Caribe y los agro-ecosistemas andinos e interandinos fragmentados o con cobertura de

---

<sup>70</sup> Ministerio del Medio Ambiente, Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Bogotá, diciembre de 2000.

<sup>71</sup> Diagnóstico Nacional sobre la problemática de los incendios forestales en Colombia y la percepción del público en general en cuanto a las acciones de divulgación e información adelantadas en el nivel nacional y regional. MINAMBIENTE, 2000.

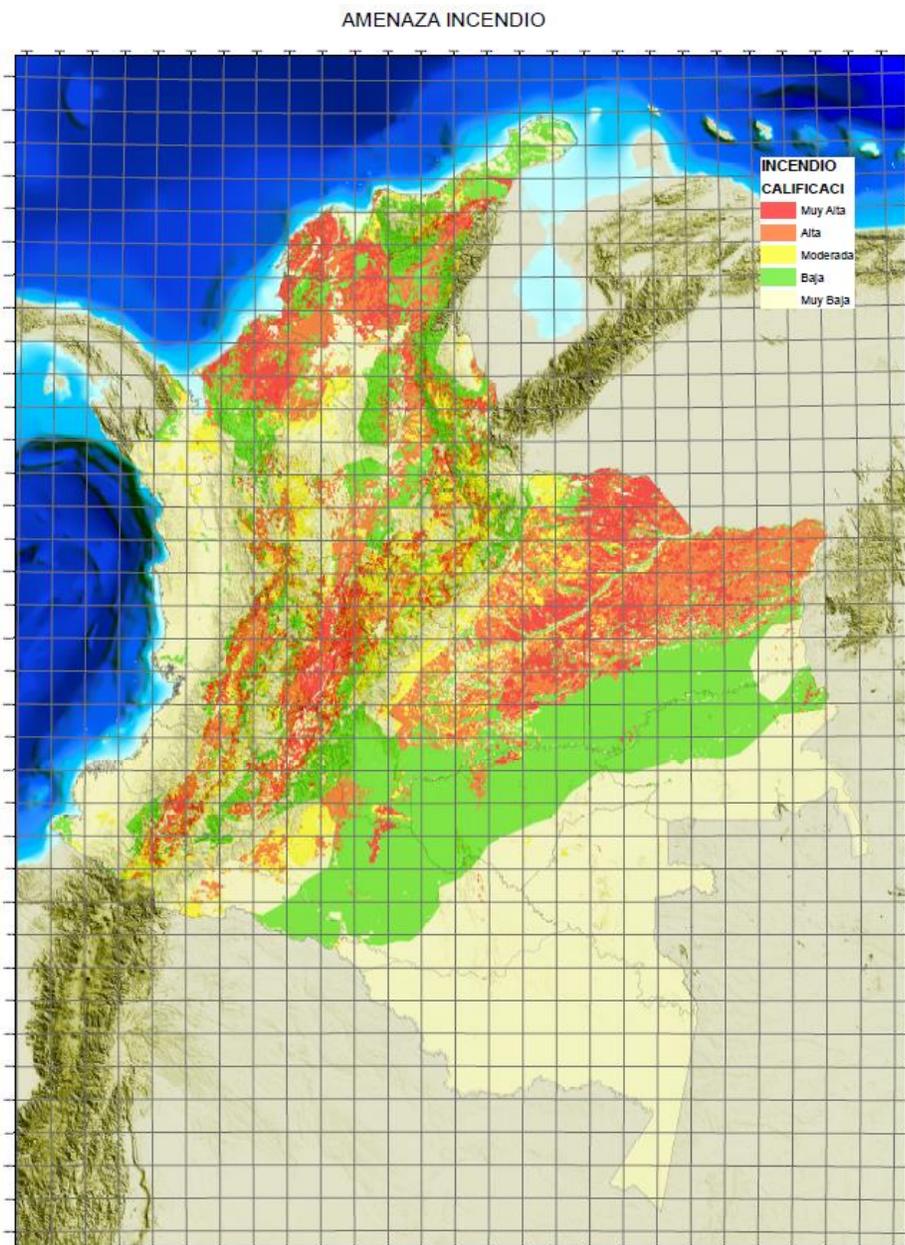
<sup>72</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Plan Nacional de Prevención Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas. Bogotá, 2002.

<sup>73</sup> *Ibidem*.

<sup>74</sup> *Ibid.*, p 15.

bosques; lo cual se expresa gráficamente en el mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal que se presenta en la **Ilustración 15**.

En este se representa las zonas más vulnerables desde muy alta a muy baja, por la manifestación de un incendio.



**Ilustración 15 Mapa Nacional de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal**  
Fuente: IDEAM, Escala 1:500.000, 2010



## 2.3 METODOLOGÍA PARA LA TIPIFICACIÓN DE LAS MULTI-AMENAZAS

### 1) Determinación del mapa Nacional de Multi-Amenazas

Para definir un mapa de Multi-amenazas, el Grupo Consultor integró mediante sistemas de información geográfica los rangos de amenaza muy alta, alta y media de las temáticas de Amenaza Volcánica, Amenaza Sísmica y Amenaza por Remoción en Masa; y las Amenazas Muy Altas y Altas de las temáticas de Incendios, Inundaciones y Tsunamis, cuyos productos base se presentaron anteriormente.

El proceso de superposición inició sobreponiendo todos los rangos de amenaza, es decir Muy Altas, Altas, Medias y Bajas, de todas las temáticas. Posteriormente, se fueron eliminando las amenazas bajas, debido a que estas se superponían con amenazas media a altas en otras temáticas, y la jerarquía más alta de amenaza en cada municipio, fue la que se tomó para la elaboración del diseño.

Con base en esta superposición de temáticas de amenazas altas y medias y según los rangos seleccionados se obtuvo el mapa de la **Ilustración 16**.

SUPERPOSICIÓN DE RANGOS ALTOS DE  
AMENAZA NATURAL ALTA EN COLOMBIA

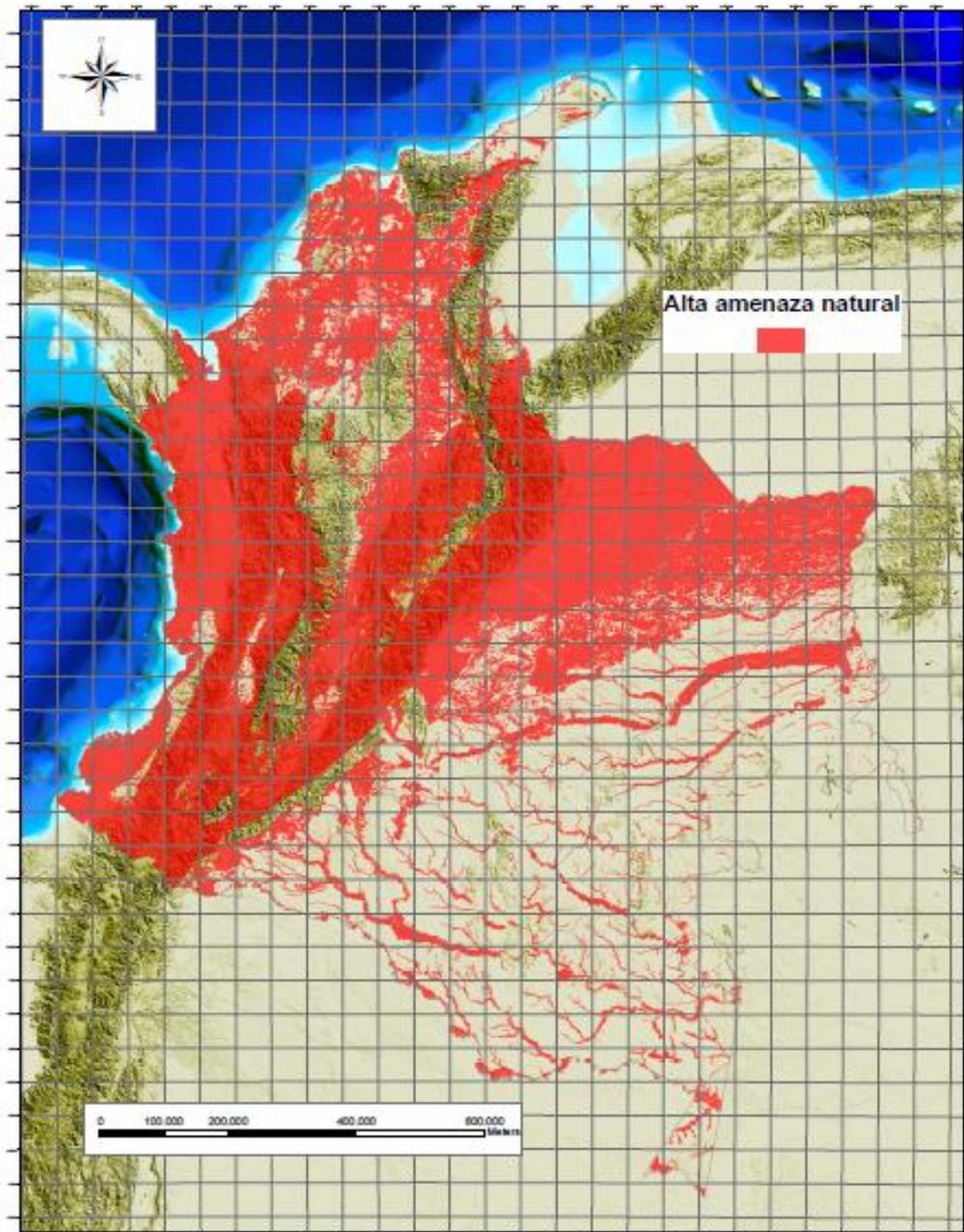


Ilustración 16 Mapa de Superposición de Amenazas Altas y Medias de las Temáticas de Amenaza Sísmica, Volcánica, Remoción en Masa, Incendios, Inundaciones y Tsunamis  
Fuente: Estructurado por la Consultoría con base en Información del IGAC, INGEOMINAS, IDEAM, DIMAR, 2013



## 2) Tipificación de Multi-Amenaza por Cabecera Municipal

De las 1.122 cabeceras municipales incluidas en la proyección del DANE para el año 2012<sup>75</sup>, se excluyeron 20 cabeceras municipales que se definen como Áreas No Municipalizadas en la misma proyección, por esto no se dispone de información acerca del área geográfica, número de habitantes y estructura de Gobierno para estas localidades. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la cabecera municipal Belén de Bajirá, del departamento de Antioquia, según una determinación del Consejo de Estado del 2007<sup>76</sup>. Teniendo en cuenta lo anterior, se considera para el diseño de la RNTE un total de 1.103 cabeceras municipales.

Al mapa resultante de la superposición de amenazas altas y medias, se le adicionó la capa de las 1.103 cabeceras municipales de todo el territorio nacional, y con base en este ejercicio se definieron mediante el Sistema de Información Geográfica, las cabeceras municipales afectadas por todas las amenazas estudiadas.

De acuerdo a lo anterior se seleccionaron las cabeceras municipales afectadas por 1, 2, 3 y hasta 4 amenazas, siendo ésta, la máxima cantidad de amenazas que se identificaron en una cabecera municipal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el mapa de Multi-amenazas más el grado de vulnerabilidad de las 1.103 cabeceras municipales, se consolidó un archivo Excel denominado Matriz de Multi-amenazas, entregado en el Anexo I, el cual fue utilizado por el Grupo Consultor para definir el objetivo de cobertura de la RNTE que permite para cada una de estas cabeceras municipales, conocer si tiene alguna de las posibles amenazas en diferentes rangos, como se muestra a continuación:

- Amenaza de erupción volcánica: Alta, media o baja.
- Amenaza sísmica: Alta o media.
- Amenaza de deslizamiento: Alta o media.
- Amenaza de inundación: Alta.
- Amenaza de tsunami: Alta.
- Amenaza de incendio: Alta.

---

<sup>75</sup> [http://www.dane.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75&Itemid=72](http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72)

<sup>76</sup> <http://www.caracol.com.co/noticias/judicial/belen-de-bajira-es-antioqueno-segun-el-consejo-de-estado/20071127/nota/512481.aspx>



### 3) Definición del Objetivo de Cobertura de la RNTE

Con base en la Matriz de Multi-Amenaza se establece el objetivo de cobertura de la RNTE y se determina las necesidades de robustez especiales de esta red.

Las 1.103 cabeceras municipales tiene algún grado de amenaza de cualquiera de los seis tipos incluidos en el estudio. Por esto se decidió realizar el diseño para la totalidad de cabeceras municipales (1.103) siguiendo una clasificación de las amenazas. Se definieron como las amenazas más críticas: erupción volcánica, sismo y deslizamiento, las otras tres amenazas Inundación, tsunami e incendio se definieron como menos críticas teniendo en cuenta que aunque ocasionan daños materiales, el número de vidas humanas amenazadas puede ser menor que en las definidas como críticas.

En cuanto a la robustez especial requerida para la RNTE se determinó para cada una de las seis posibles amenazas naturales analizadas lo siguiente:

- Amenaza de erupción volcánica: Debido a la criticidad de esta amenaza, se realizó el diseño cumpliendo las siguientes condiciones:

Para el fortalecimiento de la Red de Radio en banda VHF se garantizó que ninguno de los repetidores adicionales sugeridos se encontrara ubicado en zonas de rango alto, medio o bajo de esta amenaza. Para la RNTE LTE en las zonas con rango medio y alto se garantizó la no ubicación de eNodeB.

En razón a que en las zonas de rango bajo de amenaza la probabilidad de presencia de elementos que dañen los equipos eNodeB es baja y teniendo en cuenta que condiciones inherentes a la tecnología y a la frecuencia utilizada en el diseño no permiten garantizar la cobertura requerida sin ubicar eNodeB en las zonas de rango bajo de amenaza volcánica ya que son áreas muy grandes, este criterio no fue aplicado en estas zonas. La recomendación para mantener la cobertura ideal en caso de erupción volcánica que afecte un eNodeB ubicado en zona de rango bajo de amenaza volcánica es la ubicación de una unidad móvil en zona cercana, permanentemente disponible para suplir un equipo eNodeB dañado.

- Amenazas restantes: Debido a que a partir de la información suministrada no es posible conocer el grado de afectación que un determinado rango de amenaza podría ocasionar sobre los equipos utilizados en la RNTE no se puede garantizar que uno de estos dispositivos no sea ubicado en una zona donde se presente el riesgo de daño.

## 2.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS GEOLÓGICO

- Por definición una *amenaza es cualquier factor ajeno y fuera de control de los habitantes de una determinada zona, representado por un fenómeno físico que está latente, y que*



*puede ocurrir y producir un desastre al manifestarse. Existen diferentes tipos de amenazas, las cuales se pueden clasificar en naturales, antrópicas y socioculturales<sup>77</sup>.*

- Cuando definimos las zonas de Multi-amenaza las interrelacionamos con las capas de cabeceras municipales (vulnerabilidad) de todo el territorio colombiano. Con esta interrelación estamos modelando el riesgo sobre un territorio, de acuerdo a su ecuación básica, la cual se soporta en la pérdida de vidas humanas, y/o el daño a infraestructura y propiedades.
- Del número de víctimas y viviendas destruidas podríamos afirmar que las amenazas más importantes a tener en cuenta en un análisis de riesgos, y en la definición de una red serían amenaza volcánica, por remoción en masa (deslizamiento), sísmica, y por inundación. Obviamente, la anterior afirmación estará soportada por la interrelación de la variable vulnerabilidad, en este caso está referida a la población expuesta.
- Partiendo de que el concepto de riesgo es producto de la *amenaza* (probabilidad de ocurrencia de un fenómeno), y la vulnerabilidad (susceptibilidad de verse afectado por las amenazas), es posible comprender el comportamiento del riesgo a partir de la variación de estos factores. La amenaza es invariable para fenómenos como los sismos y las erupciones volcánicas, ya que el hombre no puede intervenir en su origen. Pero para fenómenos como las inundaciones y los deslizamientos es posible concluir que procesos como la deforestación, la pérdida de suelos y malas prácticas, tienen influencia tanto para aumentar la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia de los fenómenos (aumento de las amenazas).
- Asimismo, partiendo de que la amenaza no es variable; es decir se mantiene constante; también podemos afirmar que la vulnerabilidad tiende a aumentar por el incremento poblacional en las ciudades, debido a desplazamientos y migraciones naturales de población que deciden ir en busca de oportunidades a las grandes ciudades. Lo anterior sumado a las deficientes características de las construcciones e infraestructura habitacional de gran parte de la población hace que la vulnerabilidad tienda a ser alta, y por lo tanto el riesgo sea proporcional a esta.
- En la mayoría del territorio nacional los registros históricos de pérdidas (vidas y viviendas) que predominan son causados por inundaciones; la excepción la constituyen los departamentos de la región Andina, como Antioquia, Tolima, Caldas, Nariño, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Risaralda y Quindío, donde el mayor número de eventos son los

---

<sup>77</sup> Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Recuperado de: <http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/gestion-del-territorio/gestion-del-riesgo.html>.



deslizamientos, aunque también se presenta un número importante de reportes por inundaciones. Debido a la localización de los volcanes, los departamentos con mayor número de fenómenos relacionados con ellos son Nariño, Cauca, Huila, Tolima y Caldas; mientras que el mayor número de registros por sismos, que hayan generado algún tipo de pérdidas entre 1970 y el 2011, lo presentan el Valle del Cauca, Antioquia, Boyacá, Cauca, Chocó, Nariño, Risaralda, Caldas, Quindío, Santander, Tolima y Norte de Santander.<sup>78</sup>

- En los últimos 40 años se han visto afectadas más de 1 millón de viviendas asociadas a la ocurrencia de diferentes fenómenos; el 73% por inundaciones, el 7% por sismos, el 5% por deslizamientos y el 15% por otros fenómenos.<sup>79</sup>
- Para entender los grados de amenaza volcánica debemos tener en cuenta el concepto de *probabilidad de ocurrencia*; es decir ejemplarizando en circunstancias de erupción de un volcán, y si hubiese una cabecera municipal en la zona de Grado de Amenaza Alta, sería proporcional (alta a muy alta) la probabilidad de que en ese pueblito ocurriese la caída o reptación de lavas, flujos y piroclastos (fragmentos sólidos de varios tamaños, ej. cenizas) o que se formara una avalancha de material o de escombros.

Asimismo para esa misma erupción del volcán en una cabecera municipal que estuviese en la zona de Grado de Amenaza Baja, la probabilidad es baja o tendiendo a ser mínima que sobre ese pueblito ocurriese la caída de cenizas o avalanchas de lodo.

---

<sup>78</sup> Banco Mundial Colombia-Gfdr. Análisis de la gestión del riesgo en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. Marzo de 2012.

<sup>79</sup> *Ibíd.*



### 3 ATRIBUTOS Y TENDENCIAS DE LAS REDES DE EMERGENCIA

La ITU-R<sup>80</sup> publicó un artículo acerca de las radiocomunicaciones para protección pública y operaciones de socorro (PPDR, Public Protection and Disaster Relief), donde se analizan varias catástrofes ocurridas en los últimos tiempos y el impacto que han tenido las redes de comunicaciones:

“Las catástrofes, sean de origen natural o humano, pueden suceder en cualquier momento con poco o ningún aviso. Esto genera problemas de gran envergadura para los organismos de seguridad pública creados por los gobiernos para la protección pública y las operaciones de socorro (PPDR, Public Protection and Disaster Relief). La capacidad de estos organismos para hacer frente a catástrofes y urgencias a cualquier escala depende de la infraestructura y el apoyo que tengan instalados para sus operaciones cotidianas. Las instalaciones de radiocomunicaciones constituyen un componente crítico de esta infraestructura, y las exigencias adicionales que plantean estos eventos deben tomarse en cuenta cuando se planifican las prestaciones y las capacidades de las instalaciones de radiocomunicaciones)”.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Grupo Consultor y con base en la experiencia de los consultores, las redes de emergencia deben contar con los siguientes atributos, diferentes a los de las redes comerciales, ya que necesitan ser capaces de soportar aplicaciones de misión crítica que tienen requisitos técnica y operativamente únicos:

- **Disponibilidad:** Según los estudios del Grupo Consultor, la Disponibilidad en tiempo está especificada típicamente como de tres o cuatro nueves, por ejemplo 99,98% o superior en todo momento para diferentes requerimientos<sup>81</sup>. Otros expertos especifican 99.7% para el periodo de un mes o 99,9% para el periodo de un año. Este alto grado de disponibilidad incluye el acceso a las redes en todo momento (bajo condiciones de alto tráfico).
- **Control:** El Grupo Consultor estima que es necesario un alto grado de control (por ejemplo, permitir el acceso priorizado o garantizar capacidad reservada cuando sea necesario). Los requerimientos de control también incluyen la habilidad para manejo, administración y actualización de colas en tiempo real.
- **Cobertura:** Las redes de emergencia difieren de las redes comerciales existentes porque requieren una amplia cobertura geográfica y la disponibilidad del mismo conjunto de aplicaciones en toda la geografía. Los requisitos de cobertura se especifican, de acuerdo a la

---

<sup>80</sup> UIT- R "Radiocomunicaciones para protección pública y operaciones de socorro" - Por Alan R. Jamieson

<sup>81</sup> ETSI TR 102 022-1: Recomendación de la European Telecommunications Standards Institute- Mission Critical Broadband Communication Requirements - 08/2012



experticia del Grupo Consultor por ejemplo, 99,5% (móvil outdoor), el 65% o superior (móvil indoor), el 99,9% (tierra-aire). Algunas administraciones como la inglesa define la cobertura de al menos el 99% de la masa continental de la Gran Bretaña, incluyendo las islas del litoral<sup>82</sup>.

- **Seguridad:** Los requisitos de seguridad de la información se guían por la seguridad nacional y los requisitos de acreditación varían en diferentes países. Algunas tecnologías como la de TETRA provee diferentes capas de cifrado incluyendo la interface de aire y la comunicación extremo a extremo. Otras características de seguridad requieren autenticación en las dos vías. Es importante tener en cuenta este atributo en la RNTE en razón a que la información que eventualmente transite por la red puede ser información sensible que no debe ser interceptada por personas ociosas o malintencionadas.
- **Baja latencia:** Existen requisitos para tiempo de establecimiento de llamadas muy corto y retardo limitado de la transmisión de datos/voz de extremo a extremo (para aplicaciones de misión crítica). Algunas especificaciones como la de la ETSI TR 102-022-1<sup>83</sup> especifica que el tiempo de establecimiento de llamadas de voz debe ser menor a 200 milisegundos en aplicaciones de banda ancha de misión crítica.
- **Interoperabilidad:** Hay una necesidad obligatoria para que las diferentes entidades dentro del sector de atención de emergencias, desastres y seguridad pública interoperen entre sí (por ejemplo, Policía, Bomberos y los servicios asociados), y a pesar que la RNTE, está originalmente definida para las entidades como la UNGRD, CDGR y CMGR, estas deben interactuar entre sí y con otros organismos del Estado. Para ello se utilizan dispositivos que permitan la interoperabilidad entre las diferentes redes y tecnologías.
- **Resiliencia:** Las redes deben ser muy resistentes a diferentes tipos de fallas e incluir varios niveles de redundancia. El equipo central de conmutación de la red debe ser totalmente redundante, con conmutación distribuida geográficamente. La interconexión entre las estaciones bases también debe ser completamente resiliente e incluir líneas de respaldo entre las estaciones bases claves. Las fuentes de alimentación de respaldo son necesarias en los diferentes niveles de la red. Algunos sitios importantes de estaciones base de la red deben poseer sitios alternos disponibles en caso de fallo del sitio primario.
- **Handover sin interrupciones:** La transferencia durante la transmisión de una llamada debe ser transparente a velocidades de hasta 300 Km/h (en el futuro se espera que sea a

---

<sup>82</sup> Como se referencia en varias respuestas al cuestionario ERO sobre PPDR del CEPT WGFM PT38 y en ETSI TR 102 628 (Additional spectrum requirements for future TETRA emergency systems in the UHF frequency range)

<sup>83</sup> ETSI TR 102 022-1: Recomendación de la European Telecommunications Standards Institute- Mission Critical Broadband Communication Requirements - 08/2012



500 Km/h)<sup>84</sup>. La transparencia se define como una interrupción menor a 300 milisegundos en la conexión.

- **Capacidad de soportar tráfico mixto:** Las redes de atención de emergencias, desastres y seguridad pública requieren transportar diferentes tipos de tráfico (voz, datos, imágenes), con el fin de ser capaz de utilizar la misma tecnología en todos los entornos, que van desde la respuesta de emergencia del día a día a los principales incidentes previstos y los grandes desastres / incidentes no planificados.
- **Terminales:** Para los usuarios móviles, se espera que la capacidad de banda ancha y las aplicaciones multimedia puedan ser alimentadas por baterías que tengan la capacidad suficiente para soportar un turno de 10 horas, con una presión creciente sobre el mejor manejo de los recursos energéticos y ambientales. Se espera que la nueva tecnología traerá con ello una reducción de los requisitos de potencia de operación y el aumento de la sostenibilidad ambiental. Hay una serie de oportunidades para reducir el uso de energía como el modo de suspensión en los terminales o estaciones de base durante los períodos de inactividad y las oportunidades para extender la vida de los productos y aumentar la cantidad de material reciclable en ellas.

Otras características que deben tener los terminales dedicados para la atención de emergencias es que deben tener un diseño compacto y robusto, una interfaz de usuario intuitiva y brindar información sobre la ubicación exacta del dispositivo derivada de un GPS integrado en el terminal móvil. También puede requerir una salida de audio alta (ambientes de alto ruido), así como accesorios únicos como micrófonos especiales, operación con guantes, operación en ambientes hostiles (calor, lluvia, frío, polvo, agua, golpes, vibraciones, ambientes explosivos, etc.).

Adicionalmente debe ser fiable, eficiente, confidencial, escalable.

Es poco probable que estos requisitos operacionales esenciales cambien en el futuro, y podría preverse que se mueven a una amplia gama de necesidades centradas en red, según el incremento del uso de sensores y el intercambio de información, imágenes y vídeo.

### 3.1 SERVICIOS DE VOZ

Los servicios de voz tradicionales son ampliamente utilizados para comunicaciones de misión crítica móviles, y a menudo utilizan una característica de red-céntrica, que se evidencia en el

---

<sup>84</sup> Estas velocidades se alcanzan en trenes de alta velocidad.



uso generalizado de las llamadas de grupo. Varios estudios documentados, presentados en TETRA Association TEDS Workshop, 2007, indican que los requerimientos para estos servicios continuarán existiendo. Las aplicaciones de voz definidas como banda estrecha, por la UIT-R de acuerdo al informe M.2033<sup>85</sup>, son las siguientes:

- Persona a persona: Llamada y direccionamiento selectivos.
- Uno a varios: Comunicación de despacho y de grupo.
- Comunicación directa sin repetidor/operación de modo directo: Grupos de portátiles a portátiles (móviles a móviles) muy próximos sin infraestructura.
- Pulsar para hablar.
- Acceso instantáneo al trayecto vocal: Pulsar para hablar y acceso prioritario selectivo.
- Seguridad: Encriptación/codificación de voz.

Adicionalmente se dispone de las siguientes funciones:

- Llamadas de grupo: Una llamada de grupo es una comunicación bidireccional punto a multipunto, entre una parte llamante y una o más partes llamadas. Las llamadas de grupo pueden ser iniciadas por un terminal de línea conectado o un móvil. El grupo puede estar compuesto por terminales móviles y terminales de línea conectados. Los miembros de un grupo tienen un número predefinido común que se denomina número de grupo y al cual ellos son direccionados.
- Llamadas de grupo y llamadas individuales cifradas con autenticación: Las llamadas de grupo o individuales pueden ser cifradas para proteger la información sensible que se transmite en ese momento.
- Llamadas individuales a PABX y/o redes telefónicas públicas: Interconexión con la red de telecomunicaciones pública para establecer comunicación con otros terminales fuera de la red.
- Operación en modo directo entre los terminales: Es decir, la comunicación se realiza de un terminal a otro terminal que se encuentran próximos sin utilizar la infraestructura de la red. Es útil en casos en los que falla una parte de la red, en los casos en los que no hay una completa cobertura geográfica de la red o en sitios como túneles, sótanos, garajes subterráneos.

---

<sup>85</sup> <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2033>, [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2033-2003-PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2033-2003-PDF-S.pdf): Informe UIT-R M.2033 Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro del 2003



- Llamadas de emergencia: Realizar llamadas de emergencia para que éstas sean tratadas con alta prioridad.

### 3.2 SERVICIOS MULTIMEDIA

De acuerdo con las investigaciones del Grupo Consultor una serie de aplicaciones de datos, imagen y vídeo están surgiendo adicionalmente a los servicios de voz tradicionales, y hay una demanda creciente para estas aplicaciones basadas en datos, para ser utilizadas conjuntamente con las comunicaciones de voz para misión crítica.

De acuerdo al informe M.2033<sup>10</sup> de la UIT, las aplicaciones que se contemplan para las redes PPDR, definidas como aplicaciones de banda amplia:

- Mensajes: Correo Electrónico que puede llevar anexos.
- Comunicación directa sin repetidor/operación en modo directo de datos: Comunicación directa entre unidades sin infraestructura adicional.
- Interacción con bases de datos (longitud de registro media): Consulta de formularios y registros.
- Transferencia de ficheros de textos: Transferencia de datos.
- Transferencia de imágenes: Descarga/envío de imágenes físicas comprimidas.
- Telemetría: Estado de localización y datos de sensores.
- Seguridad: Acceso prioritario.
- Vídeo: Descarga/envío de vídeo comprimido.
- Interactiva Determinación de la posición.

Las aplicaciones de banda ancha definidas en este mismo cuadro son las siguientes:

- Acceso a bases de datos: Acceso a Intranet/Internet, Navegación por la Web.
- Control de robots: Control remoto de dispositivos robots o máquinas remotas.
- Vídeo Secuencias de vídeo: conexión de vídeo en directo.
- Obtención de imágenes de alta resolución.

El rango de necesidades actuales y futuras que deben ser cubiertas por servicios multimedia y por la transferencia de datos móviles para las redes de emergencia están enfocados en:

- Datos de Localización, incluye servicios de:



- Reconocimiento automático de imágenes.
- Servicios de cartografía digital y localización: Seguimiento de vehículos o personas y posicionamiento geográfico preciso.
- Multimedia, abarca servicios de:
  - Transferencia de imágenes: Incluye difusión y envío de imágenes de alta calidad de daños en los edificios, planos detallados de edificios, fotografías, sistemas de reconocimiento personal (iris, rostro), imágenes de pérdidas de niños, lesiones en los sitios de los incidentes y otras imágenes relacionadas con el incidente para propósitos subsecuentemente evidentes.
  - Transmisión de video: Captura de secuencias de video en la escena de un incidente que se almacenan y se descargan posteriormente para seguimiento, evidencia o apoyo de toma de decisiones en tiempo real.
  - Vídeo en tiempo real: Vigilancia en tiempo real de cámaras fijas permanentemente localizadas a lo largo de las calles y en los edificios o de cámaras portátiles montadas en vehículos. Otras aplicaciones incluyen la transmisión de video de oficiales en campo o en centros de comando y usos dentro del sector de la salud como telemedicina o tratamiento de víctimas en tiempo real mediante la transferencia de imágenes que son capaces de proporcionar orientación acerca del tratamiento a distancia mientras el paciente es remitido a un centro de salud.
  - Dispositivos/redes de monitoreo: Redes de monitoreo desplegadas en zonas de incidentes específicos que sirven para recoger datos o imágenes dentro del área para su posterior transmisión al centro de comando (Recolección de imágenes térmicas dentro de un edificio para el reporte de incendios u otros daños). Sensores fijos o móviles utilizados para registrar los datos o imágenes en tiempo real que pueden ser distribuidos a otras autoridades en el mismo incidente. Esto habilita a los oficiales en el comando central tener acceso a las mismas imágenes que los oficiales en la escena del incidente facilitando la toma de decisiones en tiempo real. La velocidad de datos necesaria para transmitir vídeo ha sido evaluado por la ETSI<sup>86</sup> en alrededor de 2 Mb/s, mientras que la transmisión de fotografías es una aplicación soportada en las redes actuales pero que pondrá a prueba la velocidad de descarga de la red en caso de volverse común.

---

<sup>86</sup>ETSI TR 102 022-1 V1.1.1 (2012-08) User Requirement Specification: Mission Critical Broadband Communication Requirements



- Aplicaciones de oficina, prevé necesidades de:
  - Oficina móvil: Acceso al correo e intranet, transmisión de reportes de incidentes desde la escena del incidente o de lugares remotos, etc.
  - Sincronización de dispositivos PDA y PIM (Personal Information Manager), así como acceso a Internet. Actualmente estos servicios son satisfechos por Smartphones pero se desea disponer de estos servicios en el mismo equipo y con la misma seguridad.
- Subir y descargar información operativa, contempla el envío de la siguiente información desde y hacia el centro de control y terminales en campo:
  - Monitoreo de personal: Supervisión del personal de vigilancia en tiempo real para controlar sus condiciones de salud y ubicación mientras se atiende la emergencia (por ejemplo, los bomberos dentro de un edificio, o los oficiales involucrados en operaciones de búsqueda y rescate). Otras aplicaciones pueden incluir monitoreo perimétrico (por ejemplo, personas que entran y salen de la escena del incidente), de vehículos, alarmas o seguimiento de la ubicación de un individuo.
  - Dispositivos controlados a distancia: Dispositivos robóticos utilizados para grabar las imágenes dentro de los edificios afectados que están demasiado inestables para el ingreso de oficiales, u operar en áreas con explosivos o búsquedas submarinas. Otras aplicaciones incluyen el encendido o apagado de micrófonos de vigilancia, cámaras de vigilancia a distancia, y activación de alarmas. Descarga de mapas con anotaciones a las unidades en campo y la descarga de información de control y mando tales como gestión de tareas y reuniones informativas.
  - Envío de documentos escaneados como licencias o documentos de identidad.
- Consulta de bases de datos en línea, comprende:
  - Acceso remoto a bases de datos: Acceso remoto a bases de datos de diversos tipos para recuperar información almacenada en centros de control que sirven para apoyar la respuesta a incidentes.
  - Datos biométricos: Una amplia variedad de sistemas de reconocimiento personal, incluyendo el reconocimiento de huellas dactilares, reconocimiento de rostros e iris y transferencia de información en tiempo real a comandos centrales que deben controlarse con registros biométricos, para reconocimiento de víctimas por ejemplo.
- Varios, incluye:
  - Capacidad de actualizar la configuración de firmware, software, dispositivos y aplicaciones desde el aire.



- Actualización de mapas desde el aire, telemetría automática (movimiento de activos fijos como vehículos, equipos en hospitales, etc.).
- Comunicaciones submarinas, por ejemplo información de alarmas, monitoreo, de buzos.
- Captura de información de IMSI (International Mobile Subscriber Identity)<sup>87</sup> y envío a los centros de control, así como la conexión de unidades en el extranjero a su comando local.

El aumento de los requisitos de datos, imagen y vídeo seguirá impulsando la demanda para un mayor ancho de banda y una mayor funcionalidad de las redes de emergencia móviles.

La siguiente tabla muestra una serie de aplicaciones y su intensidad de uso prevista en las Operaciones de Respuesta a Emergencias (ERO por sus siglas en inglés):

<b>Alta</b>	Identificación de Geo-localización (vehículos y personas) Consulta / Acceso de base de datos. Mensajería/Datos Cortos. Comunicación de modo directo. Transferencia de Imagen/video/mapa/planos/fotos.
<b>Media</b>	Grupo de llamadas. Llamadas a PSTN. Comunicaciones Aire-tierra. Comando y control (despacho). Datos de la ambulancia al hospital llamada de emergencia.
<b>Baja</b>	Consultas WAP. E-mail y Oficina móvil. Llamadas a/desde PSTN y PABX. Seguimiento (por ejemplo RFID). Prioridad de llamada/conexión. Troncales de Operaciones. Aplicaciones contra incendios. Video llamadas. Radio paging.

**Tabla 5 Aplicaciones e Intensidad de Uso en las Redes de Emergencias**

Fuente: ERO – CEPT<sup>88</sup>

Un rango de aplicaciones sobre requerimientos de comunicación entre autoridades/organizaciones en casos de emergencias son identificadas en el documento de la ETSI TS 102 181<sup>89</sup>, definidas en términos de rendimiento, latencia y robustez:

<sup>87</sup> Código de identificación único para cada dispositivo de telefonía móvil, integrado en la tarjeta SIM, que permite su identificación a través de las redes móviles. Su traducción al español es Identidad Internacional del Abonado a un Móvil.

<sup>88</sup> Analysis Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010



Servicio	Rendimiento	Latencia	Robustez
Email	Medio	Bajo	Bajo
Imágenes	Alto	Bajo	Variable
Mapas digitales/GIS	Alto	Variable	Variable
Servicios de ubicación	Bajo	Alto	Alto
Video (tiempo real)	Alto	Alto	Bajo
Video	Medio	Bajo	Bajo
Acceso Remoto Bases de datos	Variable	Variable	Alto
Replicación de bases de datos	Alto	Bajo	Alto
Monitoreo de personal	Bajo	Alto	Alto

Tabla 6 Aplicaciones en Términos de Rendimiento, Latencia, Robustez en las Redes de Emergencia  
Fuente: ETSI<sup>90</sup>

Las futuras operaciones de emergencia dependerán de la disponibilidad de datos de múltiples aplicaciones de imagen y vídeo, así como de voz y demuestran la necesidad de que las aplicaciones se apoyen dentro de una sola red para garantizar la interoperabilidad entre diferentes organizaciones y autoridades implicadas en la respuesta a un incidente específico.

La empresa consultora internacional Analysys Mason<sup>91</sup> realizó un estudio acerca de la tecnología TETRA con cuatro escenarios alternativos de la evolución de las redes de emergencia para ilustrar cómo en estas se pueden desarrollar el uso de datos móviles y las aplicaciones multimedia:

- **Crecimiento constante:** La voz sigue siendo el método predominante de comunicación y presenta cambios mínimos en las prácticas actuales de operación. Las aplicaciones de datos existentes siguen siendo utilizadas con un aumento gradual de uso, sin embargo las redes existentes no serán suficientes para satisfacer las necesidades de banda ancha futuras debido al crecimiento de información a transmitir y a las restricciones de la red.

<sup>89</sup> ETSI TS 102 181 V1.2.1 (2008-02): Emergency Communications (EMTEL); Requirements for communication between authorities/organizations during emergencies

<sup>90</sup> Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010

<sup>91</sup> Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010



- Los datos sustituyen la voz: La respuesta a incidentes depende cada vez más del conocimiento de la situación proporcionado a través del acceso y de una serie de aplicaciones cada vez más rápidas, con gran cantidad de transferencia de datos, imágenes y video en movimiento que se pueden utilizar en una red centralizada, que permitan la toma de decisiones en forma efectiva. La seguridad de los datos que se transfieren en las redes de emergencia cobran importancia ya que limitarían el uso de las redes comerciales para transmitir datos sensibles en razón a que las redes comerciales no se implementan para satisfacer los requisitos operacionales de misión crítica. Las redes existentes no serán suficientes para transportar el volumen de tráfico que se produce.
- Manejo de información: Un cuadro de operaciones común se establece en la escena del incidente a través del uso de centros de mando móviles y unidades de mando central, y el intercambio de información (voz, texto, imágenes, datos y video) entre los dos. Incluye el uso de vídeo conferencias y otros servicios bajo demanda de vídeo para facilitar las comunicaciones y la respuesta a incidentes. La necesidad de aplicaciones de datos para ser entregadas a través de redes con alta disponibilidad, resiliencia, seguridad y fiabilidad requiere un mejoramiento de la capacidad de las redes dedicadas existentes.
- Dependencia Completa Multimedia: Tiene lugar una amplia serie de aplicaciones de banda ancha móvil, incluyendo imágenes de alta calidad y aplicaciones en tiempo real de vídeo. El intercambio de información generalizada mejora el establecimiento de imágenes comunes a las operaciones, facilita decisiones en tiempo real a incidentes y permite la introducción de nuevos servicios de video como aplicaciones médicas a distancia y el reconocimiento de características personales. Existen limitaciones en el uso de las redes comerciales existentes en cuanto a cobertura geográfica y capacidad de la red para transportar datos seguros y mayor tráfico de los mismos.

Estas cuatro alternativas indican la necesidad de una nueva generación de servicios de banda ancha móvil para satisfacer la demanda de los usuarios de la red de emergencias y seguridad pública cuya entrega se realizará a través de redes comerciales actualizadas o de una red de nueva generación de banda ancha móvil dedicada para este uso.

Mientras que las futuras redes LTE comerciales (por ejemplo) pueden ser capaces de ofrecer la serie de servicios de datos necesaria que estén previstas para apoyar los escenarios de uso, todavía habrá retos para asegurar que las necesidades de funcionamiento del sector de emergencia y seguridad pública pueden ser satisfechas por las redes comerciales.

En la siguiente ilustración se resumen los cuatro caminos y su impacto en los requisitos de red:

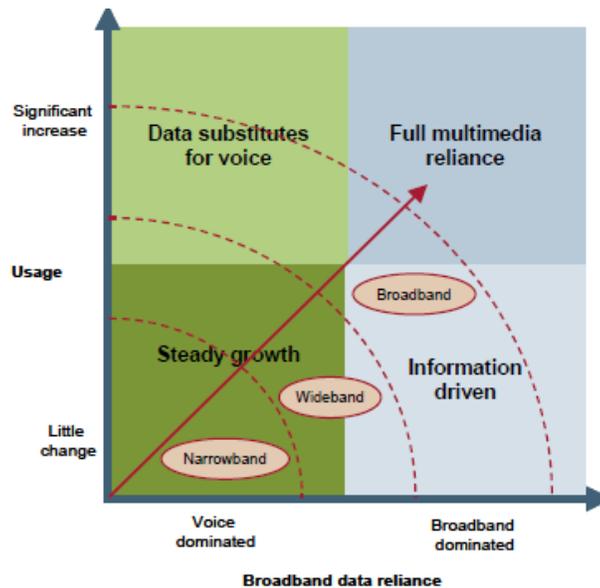


Ilustración 17 Cuatro Alternativas de Evolución de las Redes de Emergencia e Impacto en Requisitos de Red  
Fuente Analysys Mason<sup>92</sup>

### 3.3 REDES COMERCIALES O RED PRIVADA PARA LA RNTE

Las razones que pueden hacer que los operadores comerciales no estén dispuestos a realizar los cambios que se requieren en sus redes para apoyar la operación de las redes de emergencia, son entre otras:

- **Cobertura:** Los operadores comerciales típicamente invierten en cobertura comercial donde existen poblaciones (cabeceras municipales) y se diseña capacidad que maximice la generación de ingresos en estas zonas, con pocos incentivos para invertir en áreas de baja densidad de población con la calidad y las características requeridas por las redes PPDR. Las redes de emergencia y seguridad pública en cambio requieren una cobertura en toda la geografía nacional independiente de la densidad de la población, especialmente en las áreas de alta vulnerabilidad.

Los operadores comerciales, en algunos casos, son exigidos de ampliar su cobertura como contraprestación al gobierno por las licencias de operación o uso de frecuencia, como es el caso de Colombia. Sin embargo, se cumple con requisitos mínimos y para atender un mínimo de población y tráfico, lo que no garantiza en casos de emergencia

<sup>92</sup> Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010



se puedan cubrir requerimientos adicionales de tráfico, priorizaciones, transmisión de un gran volumen de datos, imágenes y videos.

- **Congestión:** Las Redes comerciales en Colombia en general, tienen grandes problemas de congestión, falta de disponibilidad, inclusive del canal de señalización, lo que ocasiona afectación a los usuarios en situaciones normales. En situaciones de emergencia estas redes colapsan, por el gran requerimiento de tráfico; esto lo puede evidenciar el usuario común.
- **Costo:** Es muy probable que el costo de adecuar las redes comerciales para cumplir los requisitos operativos del sector de las redes de emergencia y seguridad pública (disponibilidad del servicio en presencia de desastres que congestionen la red) sea muy alto, a la vez que existen pocos incentivos para que los operadores los desarrollen. Estas condiciones implican que las redes comerciales tendrían capacidad ociosa la mayoría del tiempo, lo que no es rentable para los operadores comerciales.
- **Seguridad:** Existen dudas acerca de si el grado necesario de seguridad para el uso de las redes de emergencia y seguridad pública puedan ser garantizados dentro de una red compartida con usuarios comerciales, en cuanto se requiere evitar el acceso ocioso a la red que pueda causar falsas alarmas de emergencia o desconexiones de la red.

De acuerdo con lo anterior, podemos deducir que las razones que favorecen el desarrollo de una red privada propia para una red de emergencia y seguridad pública son:

- **Diseño de la red:** La reingeniería de las redes comerciales para satisfacer las necesidades de la seguridad pública y requerimientos adicionales de tráfico en caso de emergencias, puede significar que estas redes sean sobredimensionadas y más costosas sin contar con un tráfico comercial adicional, que implique rentabilidad para los operadores.
- **Sabotaje:** Si es de público conocimiento que las redes comerciales son usadas para comunicaciones de emergencia y seguridad pública son más vulnerables al sabotaje por parte de delincuentes que las redes privadas dedicadas. Las redes dedicadas son protegidas con medidas especiales.
- **Programas de despliegue:** Hay requerimientos específicos para el despliegue de redes de emergencia y seguridad pública que no coinciden con las estrategias de despliegue comercial.
- **Riesgo del uso compartido:** Si los usuarios de emergencia y seguridad pública comparten con usuarios de redes comerciales, hay riesgos, tales como seguridad de la información, calidad de servicio y control de acuerdos de nivel de servicio.



- Dependencia de los operadores comerciales: Hay una renuencia de los organismos públicos a depender de un operador totalmente comercial, a causa de la posible falta de control sobre la inversión futura de la red, planes de negocio y financiación.
- Necesidad de espectro por debajo de 1 GHz: Dado el costo de la implementación de nuevas redes, el acceso al espectro en las bandas por debajo de 1GHz, facilitará la reutilización de activos como terminales y equipos de interconexión desplegados en las bandas que están siendo utilizadas por entidades como el FOPAE, Bomberos, Cruz Roja, Defensa Civil, entre otras, siempre que sea posible. El uso de espectro por encima de 1 GHz podría ser factible, sin embargo el despliegue de la red puede ser muy costoso en razón a los menores alcances de las celdas de radio.
- Armonización de espectro: La disponibilidad de un espectro armonizado, acorde con las tendencias mundiales, es clave para asegurar que los fabricantes sean capaces de desarrollar productos para el mercado de las redes de emergencia y seguridad pública. De acuerdo a las fuentes validadas por el grupo consultor incluidos organizaciones de estandarización como la ETSI y la ITU, la falta de espectro disponible es una barrera significativa para el desarrollo futuro de capacidades de comunicación móviles adaptadas para satisfacer los requisitos de las redes de emergencia y seguridad pública

### 3.4 TENDENCIAS DE LAS REDES DE EMERGENCIA

El sector de emergencias y seguridad pública, a nivel global, sigue las mismas tendencias que se manifiestan en la sociedad, en general para acceso en movimiento a una amplia gama de información y el intercambio de conocimiento e información. Otras tendencias se presentan a continuación<sup>93</sup>:

- Los cambios en las formas de trabajo: Las formas de trabajar en el sector de la seguridad pública y emergencia están cambiando a nivel mundial – por ejemplo, hay una tendencia hacia el mando y control móvil para mejorar la eficacia y la eficiencia de respuesta a incidentes. Esto impulsa la demanda de acceso simultáneo a una gama mucho más amplia de aplicaciones, que están siendo utilizadas en combinación para responder a un incidente individual.
- Los datos sustituyen la voz: Los usuarios de las redes de emergencia y seguridad pública utilizan cada vez más las aplicaciones de datos tales como Identificación de Geo-localización (vehículos y personas), Consulta/acceso de base de datos,

---

<sup>93</sup> Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010



Mensajería/Datos Cortos, Comunicación de modo directo, Transferencia de Imagen/video/mapa/planos/fotos para mejorar las comunicaciones de misión crítica de voz. Estas aplicaciones son vitales para el desarrollo de sus actividades diarias y la gestión de grandes eventos planificados y no planificados.

- Operaciones basadas en información: Los escenarios antes mencionados sugieren una evolución hacia un mayor intercambio de información de una variedad de fuentes (Voz, datos y video). El objetivo de esta forma de trabajo es establecer un cuadro de operaciones común entre todas las agencias, organismos y funcionarios que intervienen en los incidentes de emergencia y los centros de comando. Esto tiene muchas ventajas incluyendo una mejor movilización de los equipos sobre el terreno, la respuesta más oportuna e información más precisa disponible para apoyar la toma de decisiones sobre el incidente.
- Mayor conocimiento y uso de multimedia: Cada vez más las rutinas diarias se están aprovechando de una mezcla de diferentes tipos de tráfico (es decir, voz, datos, imágenes, video), el cual es soportado por las tendencias hacia las operaciones de campo móviles y oficinas móviles. Las aplicaciones multimedia se extienden a través de diferentes tipos de redes que abarcan redes WAN y LAN.

### 3.5 ALTERNATIVAS DE EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE EMERGENCIAS

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2003 (CMR-03), en su Resolución 646, se alcanzó un importante acuerdo acerca de la protección pública y las operaciones de socorro, el cual abre camino a la implantación de nuevas tecnologías que permiten utilizar aplicaciones mejoradas, con velocidades de datos superiores, video de movimiento completo en tiempo real y servicios de multimedia que facilitarán el trabajo de los organismos de protección y socorro. Los organismos actuales utilizan soluciones de banda estrecha de hasta 28 kbps, que son las que permiten tecnologías como TETRA, pero las exigencias de las nuevas aplicaciones requieren de mayores anchos de banda (con velocidades de datos en la gama 384–500 kbit/s, y de banda ancha, para imágenes y video 1–100 Mbit/s).

Los avances tecnológicos se presentan no solo en dispositivos, sensores, cámaras de video seguridad, software para aplicaciones de video, sino también en los medios usados para conectar tales elementos. La complejidad de las soluciones de video-seguridad está incrementándose de manera vertiginosa por distintas razones, entre ellas:

- La necesidad de utilizar más cámaras para monitorear áreas geográficas cada vez más extensas, lo cual se ve facilitado ante la baja en los precios de las cámaras, aunado al incremento de la calidad de imagen de las mismas.



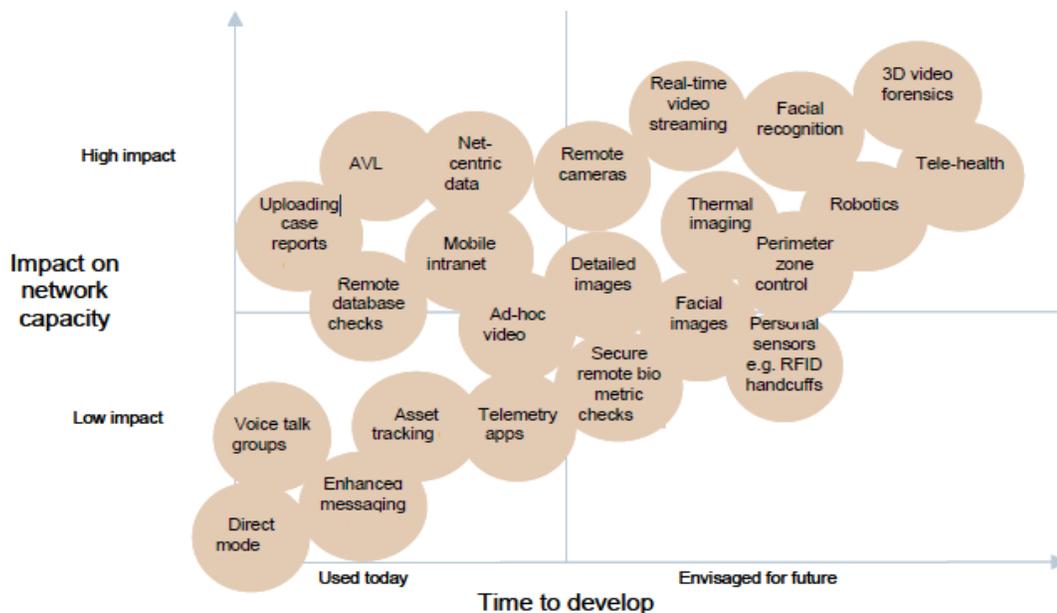
- Incremento en los requerimientos de video-almacenamiento, motivado por la disminución de precios de almacenamiento frente a un mayor desempeño en la capacidad de almacenamiento.
- La necesidad de colaboración entre múltiples sitios, que permitan compartir imágenes de alta definición, así como sesiones simultáneas de vídeo entre diversas entidades (agencias: policía, bomberos, ambulancias), centros de control y demás actuantes de la seguridad pública.

Para explorar cómo la demanda de las diferentes aplicaciones puede evolucionar en el tiempo, y cómo estas pueden impactar las necesidades de la red (es decir, la disponibilidad, velocidad y la capacidad), Analysys Mason<sup>94</sup> estudió una serie de caminos evolutivos alternos de las redes de emergencia y seguridad pública; estos caminos fueron construidos con base en el consenso con respecto a la gama de aplicaciones que podrían ser utilizadas dentro de las redes de emergencia y seguridad pública en el futuro. Este análisis se visualiza en la Ilustración 16, donde se muestran las aplicaciones y el impacto en los requisitos de la red, medido éste en capacidad y su etapa de desarrollo estimado.

La sociedad evoluciona hacia el uso de aplicativos multimedia en dispositivos móviles que tienen cada vez más interfaces intuitivas que han propiciado una manera más confortable para navegar y comunicarse. Esa tendencia, inicialmente difundida en la sociedad de consumo, está creando un hábito de trabajo diferente, las redes de propósitos específicos como la de emergencia, seguridad pública, etc., se están apropiando de esas mismas tendencias de las redes comerciales; no tiene sentido que la sociedad se comunique entre sí utilizando multimedia y no lo puedan hacer las redes empresariales y de propósitos específicos, y mucho menos que no lo utilicen las redes de emergencia, donde una imagen puede llegar a ser vital. Esta tendencia ha sido llamada por los analistas internacionales como la “consumerization of IT” que no es más que las empresas y las redes de propósito específico se apropian de los desarrollos que tuvieron como objetivo inicial el segmento de consumo. Por ello, las redes de emergencia migrarán hacia redes móviles de banda ancha.

---

<sup>94</sup>Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010



**Ilustración 18: Aplicaciones e Impacto en la Capacidad de la Red y su Etapa de Desarrollo**  
Fuente: Analysys Mason<sup>95</sup>

Con más de 6.000 millones de dispositivos móviles a través del globo incluyendo dispositivos GSM y LTE, la telefonía móvil es la forma de comunicación más dominante en el planeta<sup>96</sup>. Los dispositivos móviles están provocando una transformación espectacular y sin precedentes en las comunicaciones personales y en el acceso a Internet. La tecnología inalámbrica está ampliando el concepto de movilidad y conectividad más allá de la telefonía tradicional. Las nuevas tecnologías y las redes inalámbricas incorporan la conectividad de las redes a prácticamente todos los dispositivos que el hombre creará en un futuro.

El Grupo Consultor considera que la tremenda expansión y evolución de las redes inalámbricas combinadas con la creciente demanda de usuarios finales para el acceso ubicuo de voz y de datos ha ayudado a sentar las bases para una nueva generación de dispositivos móviles inteligentes que apenas estamos empezando a ver su potencial.

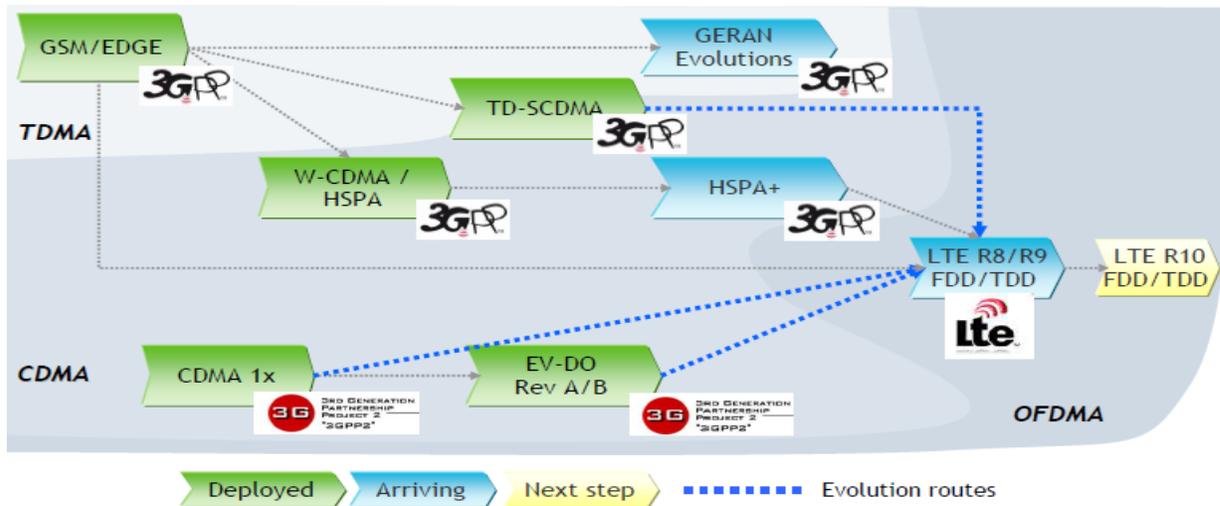
Se predice que un nuevo segmento de dispositivos conectados está surgiendo y es el segmento llamado M2M, que es la conexión máquina a máquina, que conjuntamente con las Tablet y los lectores electrónicos serán más de 800 millones de unidades conectadas en la red en el año

<sup>95</sup> Analysys Mason: Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs - Final report - 8 March 2010  
<sup>96</sup> En Q1 de 2012 había 6,2 billones de suscripciones móviles según Ericsson recuperado de Mobile Subscription Update, 2012.

2015<sup>97</sup>. Algunos actores importantes de las telecomunicaciones como Ericsson prevén que el segmento M2M alcanzará los 50.000 millones de conexiones en el año 2020.

El Grupo Consultor concluye que las redes de emergencia migrarán de las redes de banda estrecha de hoy a redes de banda ancha móvil; a su vez, dentro del ecosistema de las redes de emergencia y seguridad pública se tendrán dispositivos que hacen parte del segmento M2M, tales como sensores de niveles y caudal de ríos, sensores de temperatura y movimientos sísmicos, sensores para detectar humo e incendios en sitios públicos de acceso masivo (como estadios, centros comerciales, parques naturales, etc.), cámaras de vigilancia y acceso perimetral. Todos este conjunto de dispositivos conectados en la red enviando información a un centro de control y permitiendo la comunicación multimedia entre los usuarios de la misma red e inter-operando con otras redes.

Las redes de banda ancha móviles migrarán todas sin discusión hacia el estándar LTE (Long Term Evolution), como se muestra en la siguiente ilustración. Los analistas internacionales estiman que en el año 2016 en el mundo habrá 830 millones de suscriptores LTE<sup>98</sup>.



**Ilustración 19 Evolución de las Redes de Banda Ancha Móvil**  
Fuente: 3GPP<sup>99</sup>

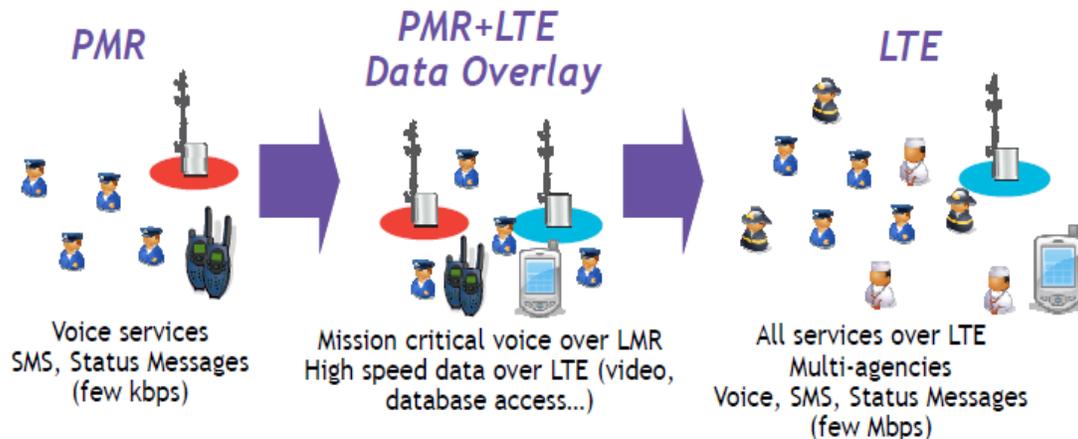
Sin embargo, a pesar de que LTE soporta el tráfico multimedia con baja latencia, no soporta los servicios específicos de las redes PMR (Private Mobile Radio) como cobertura de servicios PTT (Push To Talk) o llamadas de grupo.

<sup>97</sup> Yankee Group: Mobile Broadband Connected Future: From Billions of People to Billions of Things. Octubre 2011

<sup>98</sup> LTE 2012 Markets & Trends. IDATE, 2012

<sup>99</sup> Banda Ancha Inalámbrica para Seguridad Pública. LTE– The Alcatel-Lucent Solution, 2011

A continuación se muestra como se espera que sea la evolución de la tecnología de las redes de emergencia, donde en la fase intermedia (hoy) las redes PMR y LTE están superpuestas para adoptar las robustas funcionalidades de voz de PMR y las altas velocidades y robustas funcionalidades multimedia de LTE:



**Ilustración 20 Evolución de las Tecnologías de las Redes de Emergencia**  
Fuente: Alcatel Lucent<sup>100</sup>

Acontecimientos más recientes indican que el estándar de LTE para redes de emergencia estará disponible para mediados del año 2014<sup>101</sup> por parte del 3GPP. Adicionalmente, las entidades gubernamentales de USA (NPSTC y TCCA) y Europa (ECC) seleccionaron la tecnología LTE como el camino de evolución de los estándares actualmente utilizados en las redes de seguridad pública y emergencias, P25 y TETRA, para satisfacer las nuevas necesidades de servicios de banda ancha móvil y multimedia en situaciones de emergencia.

Por eso, el 3GPP está incorporando en el Release 12 de LTE, las características necesarias que permitan que LTE sea el soporte de una red de misión crítica y ofrecer los servicios de una red PPDR como son las llamadas a grupos, llamadas cifradas, servicios de proximidad o en modo directo (DMO), que son llamadas directas entre dispositivos móviles sin pasar por las estaciones base, etc. Los grupos de trabajo del 3GPP, están concentrados específicamente en los siguientes aspectos<sup>102</sup>:

- Desarrollo de interfaz de aire y algoritmos de cifrado de extremo a extremo para que sea seguro en los próximos 20 años.

<sup>100</sup> Banda Ancha Inalámbrica para Seguridad Pública, LTE– The Alcatel-Lucent Solution, 2011

<sup>101</sup> Delivering Public Safety Communications with LTE. 3GPP. Enero 2013.

<sup>102</sup> ETSI TR 102 022-1 V1.1.1 (2012-08) User Requirement Specification: Mission Critical Broadband Communication Requirements



- El desarrollo del estándar para las comunicaciones de grupo incluyendo multicast voz y datos.
- El desarrollo del estándar para encontrar una manera de ofrecer voz con una buena calidad de audio que sea compatible con TETRA, TETRAPOL y P25, para comunicaciones punto a punto y punto - multipunto. La norma tendría que abordar como se cancela el ruido de fondo (como lo hace la tecnología TETRA).
- Normalización de control de acceso y gestión de prioridades.
- Normalización de interoperabilidad y los servicios de voz y datos PMR con TETRA1, TEDS (Tetra Enhanced Data Services), P25 y TETRA sobre LTE.
- La estandarización de un protocolo para trabajar fuera de la cobertura de la infraestructura. Para proveer voz y datos con un rango al menos comparable al de TETRA DMO. El rendimiento de datos debe ser suficiente para soportar vídeo de barrido lento, por ejemplo 50 kbps a través del enlace DMO a una distancia de al menos 1 km en la banda de 400 MHz.

El 3GPP ha anunciado que tiene previsto liberar el Release 12 para mediados de 2014<sup>103</sup>.

Coincidiendo con lo anterior, la TCCA (Asociación de Comunicaciones Críticas y TETRA) crea el grupo de trabajo CCBG (Grupo de Banda Ancha para Comunicaciones Críticas) para impulsar el desarrollo y la adopción de estándares de banda ancha móvil comunes globales y soluciones para los usuarios que operan en entornos de misión crítica y acogen la tecnología LTE como el más grande prospecto para entregar soluciones para redes de misión crítica<sup>104</sup>.

Esto permitirá a las redes de emergencia beneficiarse de las economías de escala generadas por el uso de la misma tecnología que las nuevas redes comerciales y habilitar a sus usuarios con servicios de banda ancha móvil y comunicaciones multimedia. Por su parte, los operadores comerciales de telefonía celular también se beneficiarán puesto que tendrán acceso a nuevas capacidades que permiten nuevos servicios y aplicativos de para los sectores masivos y empresarial<sup>105</sup>.

---

<sup>103</sup> Delivering Public Safety Communications with LTE. 3GPP. Enero 2013.

<sup>104</sup> Delivering Public Safety Communications with LTE. 3GPP. Enero 2013

<sup>105</sup> Delivering Public Safety Communications with LTE. 3GPP. Enero 2013.



## 4 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS

De acuerdo a los análisis del Grupo Consultor, basados en los estudios existentes y disponibles en el mercado, las reuniones con los proveedores, la información suministrada por estos y los resultados de la consultoría “Alternativas para la formulación, diseño y modernización de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia en Colombia”; el Grupo Consultor resume que la situación actual de las redes de emergencia es la siguiente:

- En más de 30 países principalmente europeos, utilizan tecnología de acceso troncalizado TETRA orientado a servicios de voz; existen otras soluciones con un estándar similar denominado TETRAPOL que está saliendo del mercado.
- En Estados Unidos, y recientemente en Australia, el estándar más utilizado es el P-25, también orientado a servicios de voz.
- Los países en vía de desarrollo utilizan redes de radio en banda VHF/HF y comunicaciones analógicas con anchos de banda de 12.5 KHz, en su mayoría equipos de marca MOTOROLA y se soportan en las redes públicas fijas y móviles, algunas con soportes redundantes satelitales. De hecho las redes propias de las entidades de socorro en Colombia (UNGRD, Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana, Unidad Nacional de Bomberos) están basadas en tecnologías de radio en banda HF/VHF.
- Como respaldo la gran mayoría de los organismos de socorro en el mundo utilizan redes de radio en banda HF/VHF. Las redes de transporte generalmente son mezclas entre soluciones de fibra, microondas y satelitales.
- Gran parte de las redes, cuentan con sistemas de respaldo satelitales, tanto para el transporte, como para los accesos.
- La tendencia tecnológica y regulatoria del mercado de telecomunicaciones internacional muestra una clara inclinación de migración hacia tecnologías LTE; Inclusive una de las tecnologías más afianzadas y maduras del mercado para redes de emergencia y seguridad como es TETRA, está en pleno desarrollo de la versión TETRA-LTE. P-25 está en los primeros pasos para integración de LTE a su tecnología.

De acuerdo a lo anterior el Grupo Consultor definió, hacer un análisis para una nueva red dedicada exclusivamente para la atención de Emergencias de dos tecnologías tipo troncalizado:

- **P-25**
- **TETRA**



Y como la nueva tendencia del mercado, se incluirá en el análisis la tecnología:

- **LTE**

#### **4.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES DE RADIO Y LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS**

Como se mencionó anteriormente la redes propias de las entidades de socorro de Colombia (UNGRD, CDGRD, CMGRD, Cruz Roja Colombiana, Unidad Nacional de Bomberos, Defensa Civil) están basadas en tecnología de radio en bandas HF/VHF.

Es importante resaltar las diferencias de los sistemas convencionales de radio y los sistemas troncalizados, aún respecto a las soluciones de voz:

En los sistemas troncalizados los usuarios comparten todos los canales disponibles (frecuencias asignadas), evitando así que dependan de un canal determinado, como ocurre en los sistemas tradicionales, y no puedan transmitir su mensaje si este se encuentra ocupado. En un sistema convencional cada grupo de usuarios cuenta con un canal determinado. Si un usuario desea comunicarse con otro usuario de otro grupo, debe cambiar su radio al canal respectivo. De esta manera si el canal al cual está asignado el usuario se encuentra ocupado este no puede transmitir su mensaje.

En el sistema troncalizado, se crean grupos de usuarios independientes de los canales o frecuencias con que se cuente, de tal manera que cuando un usuario desea realizar un llamado, bien sea de voz o datos, el sistema automáticamente le asigna un canal libre. Si en ese momento no se encuentra ningún canal libre, queda en una cola de espera por un determinado tiempo. Este tiempo es programable al igual que otras muchas facilidades.

Motorola resume las diferencias entre sistemas de radio convencionales y sistemas troncalizados en la siguiente tabla:



Voz	Convencional	Troncalizado
<b>Acceso al Sistema</b>	Los usuarios deben monitorear el canal antes de acceder	Los usuarios necesitan sólo apretar el PTT y el sistema se encarga del resto
<b>Privacidad</b>	Limitada (a través de señalización especial) o inexistente	Sistema organizado por grupos donde cada grupo no interfiere con los otros. En llamadas uno a uno, nadie escucha o puede interferir la conversación privada.
<b>Prioridad</b>	Los usuarios compiten por acceso al canal y deben reintentar	Varios niveles de prioridad.
<b>Fila de Espera</b>	Inexistente	Fila de espera en el que el primero que entra es el primero que consigue acceso con niveles de prioridad dentro de la fila

**Tabla 7 Diferencias entre Sistemas de Radio Convencionales y Sistemas Troncalizados**  
Fuente: Motorola<sup>106</sup>

Existen otras diferencias adicionales como la obsolescencia y la falta de capacidad en los sistemas convencionales para:

- Manejar datos.
- Consolidación de información.
- Gestión de red y terminales.
- Facilidades en las terminales.

Ventajas adicionales de los sistemas troncalizados con respecto a los radios convencionales:

- Control y monitoreo de fallas en la red y auto-recuperación.
- Gestión y programación de facilidades para los usuarios de acuerdo a requerimientos.
- Manejo de prioridades.
- Llamada individual (no es escuchada por los demás usuarios).
- Manejo de grupos de usuarios.
- Desvío de llamadas y lista de llamadas pendientes por contestar.
- Trasmisión de datos, facsímil.
- Consultas a bases de datos.
- Manejo de mensajes de texto, sin ocupar el canal de comunicación.

<sup>106</sup> Presentación de Motorola al Grupo Consultor



- Estructura muy similar a la de las redes celulares.

Adicionalmente, los sistemas troncalizados son una tecnología madura, estandarizada y ampliamente implementada con excelentes resultados, desde 1997.

## 4.2 P-25

### 4.2.1 Descripción de la tecnología

Proyecto 25 (P25) es un conjunto de estándares producido por los esfuerzos conjuntos de la Asociación de Funcionarios Públicos de Seguridad en Comunicaciones Internacionales, (Association of Public Safety Communications Officials International - APCO), la Asociación Nacional de Telecomunicaciones de Estado (The National Association of State Telecommunications Directors - NASTD), Agencias Federales seleccionadas y el Sistema Nacional de Comunicaciones, (The National Communications System – NCS), y estandarizado bajo la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA).

Es un estándar para la fabricación de productos interoperables de comunicación inalámbrica digital de dos vías, algunas veces conocido como Proyecto 25 o APCO P25, diseñado en Estados Unidos.

Es de arquitectura abierta, donde el usuario maneja los estándares del sistema de radio, capaces de servir a las necesidades de organizaciones Públicas de Seguridad y Gobierno. La serie de estándares P25 implica servicio Digital Móvil de Radio por Tierra - Land Mobile Radio (LMR) para las organizaciones públicas de seguridad y agencias.

Los estándares abiertos de P25 definen las interfaces, operaciones y capacidades de cualquier sistema P25 sumiso de radio. Un radio P25 es cualquier radio que se adhiere al estándar P25 en la manera de funcionamiento u operación. El estándar P25 es de dominio público, permitiendo a cualquier fabricante producir un producto P25 compatible.

Aunque desarrollado principalmente para servicios de seguridad, la tecnología P25 y los productos públicos norteamericanos no son limitados a la seguridad pública, sino también han sido seleccionados y ha sido desplegado en otras aplicaciones privadas, en todo el mundo.

Puede manejar sistemas convencionales de comunicación de radio VHF.

El Proyecto 25 tiene cuatro objetivos principales:<sup>107</sup>

---

<sup>107</sup> P25 Radio\_Radio\_Systems\_Guide.pdf



- Asegurar la competencia en adquisiciones de ciclo vital del sistema por medio de Sistemas de Arquitectura Abierta.
- Permitir comunicaciones eficientes, efectivas y seguras en comunicaciones internas y entre distintos organismos.
- Proporcionar funcionalidad y capacidades mejoradas centrado en necesidades de seguridad pública.
- Mejorar eficiencia de espectro de radio.

#### 4.2.2 Cobertura

Uno de los objetivos del Protocolo AP25, utilizado por la tecnología P-25, es lograr con los sistemas digitales igual cobertura geográfica que con el mismo número de puntos de repetición de los sistemas analógicos tradicionales. Un ejemplo es en el rango de VHF (134 – 176 MHz) que con el sistema de comunicación digital P-25, en condiciones rurales ideales, se puede lograr un radio de cobertura alrededor de los 100 Km.

Dada la flexibilidad del sistema, este puede satisfacer las necesidades de cobertura geográfica de diferentes organizaciones, ya sea que se trate de sistemas de pequeñas comunidades o de todo un país. Lo anterior con base en que la potencia de salida de los sistemas APCO no es limitada.

#### 4.2.3 Capacidad

Capacidad de crecimiento de hasta 700 sitios por sistema, 7.000 canales, 16.000 Talk groups<sup>108</sup> 128.000 ID individuales, 250 posiciones de despacho por sitio, 55 sitios de despacho diferentes.

Capacidad multi-zona / multi-agencia, equipos portátiles con alta potencia (6W en el rango de VHF), Radio bases de alta potencia (100 W / repetidor), programación sobre el aire de los equipos, bajo tiempo de procesamiento de llamada < 500 ms.

#### 4.2.4 Bandas de Frecuencia

Las bandas de frecuencias en las cuales el Proyecto P25 puede operar y dentro de la normatividad colombiana que pudieran estar disponibles, son los siguientes rangos: VHF (136 - 174 MHz). UHF (403 – 512 MHz, 806 - 870 MHz).

Además, la tecnología P25 de la fase I, ha sido adoptada por la FCC, como el estándar digital de la interoperabilidad digital de la seguridad pública en el rango de 700 MHz: (746 - 806 MHz).

---

<sup>108</sup> Grupo de usuarios asignados en un sistema troncalizado que utilizan canales virtuales de voz para comunicarse entre si



#### 4.2.5 Eficiencia espectral

Eficiencia espectral mejorada: Dos canales por radio base. P25 maximiza la eficacia del espectro estrechando la banda. El espectro del RF es un recurso finito usado por cada país en el mundo. La eficacia del espectro libera más canales para el uso de radio en el sistema.

- FDMA 12.5 KHz modo normal.
- FDMA 2:1 en 25 KHz.

Las redes P25 tendrán suficiente capacidad para manejar llamadas y permitir espacio para crecer incluso en áreas donde el espectro está sobrepoblado y es difícil que las empresas o Instituciones obtengan licencias para frecuencias de radio adicionales.

#### 4.2.6 Redundancia

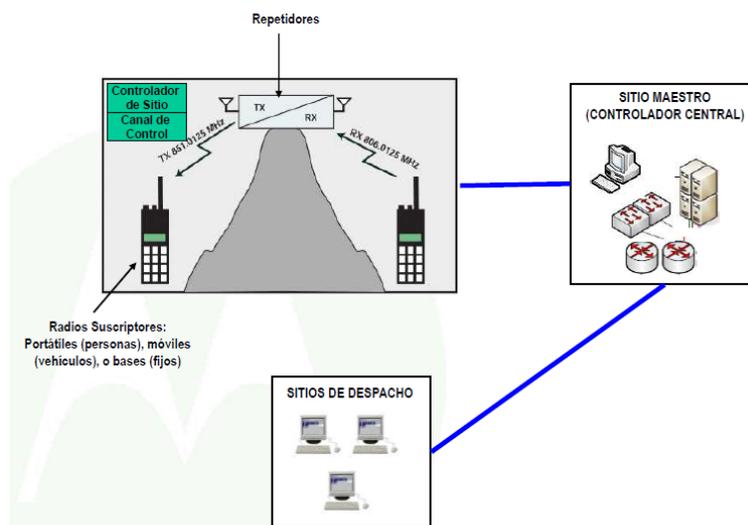
- Redundancia en Core central (geográfica - sitio diferente).
- Redundancia en controlador de sitio.
- Redundancia en canal de control.
- Modo fail soft - Capacidad de manejar tráfico en una base, aunque exista falla en el Master Site.

P25 básicamente, ofrece los servicios en tecnología FDMA (Frequency Division Multiple Access) que es aún más redundante y robusta. Las nuevas redes P.25 IP tienen un diseño tolerante a fallos, gracias al despliegue de conmutadores de red redundantes de alta disponibilidad, al diseño modular de las estaciones para facilitar las tareas de supervisión y mantenimiento, o un sistema de Backup automático en cada emplazamiento para facilitar la restauración rápida del sistema en casos de fallo.

#### 4.2.7 Componentes de la red

##### 4.2.7.1 Master Site

Es un sitio central de control, que se encarga de controlar y procesar las llamadas y la asignación de canales.



**Ilustración 21 Sistema Trunking P25 de Motorola**  
Fuente Motorola <sup>109</sup>

#### 4.2.7.2 Repetidores

Los sitios de repetición requieren:

- Un canal de control para coordinar el establecimiento de llamadas.
- Un controlador de sitio, que se comunica con el controlador central del sistema.
- Los sitios de repetición requieren interconexiones entre ellos y el sitio central o maestro (microondas).

#### 4.2.7.3 Interconexión e interoperabilidad

Los estándares P25 fueron diseñados para usuarios de seguridad pública, teniendo en cuenta requerimientos de servicios y manejo de prioridades. P25 es un sistema flexible, que permite transmisión confiable de voz y datos a baja velocidad, plenamente interoperable que puede interconectarse con otras redes P25 y sistemas Legacy de VHF.

P-25 ofrece la siguiente interoperabilidad:

- Redes convencionales de forma nativa.
- Integración a las redes telefónicas PSTN.
- Interfaces entre los sitios de repetición y el sitio central con interfaces Ethernet / E1.

<sup>109</sup> Presentación de Motorola al Grupo Consultor



P25 permite tener mejores comunicaciones dentro y entre agencias especialmente para los proveedores de servicios de emergencia. Dicha interoperabilidad es necesaria para coordinar respuestas eficientes y a tiempo.

#### **4.2.8 Administración**

Red de Gestión centralizada integrada con el sistema, que permite hacer gestión de fallas a nivel de producto y de sistema, ajuste el rendimiento y monitoreo de la red.

#### **4.2.9 Servicios**

##### **4.2.9.1 Voz**

- Talk Around: Modo directo de radio a radio.
- Mensajes de voz.
- Radio de dos vías:
  - Llamada de Grupo: uno a muchos.
  - Llamada Privada: uno a uno.
  - Niveles de prioridad.

##### **4.2.9.2 Datos/Multimedia**

- Transmisión de voz y datos a través de una red basada en IP.
- Mensajes de texto.
- Los canales P25 que llevan voz o datos funcionan en 9600 bits por segundo (bps).
- Voz / Datos banda angosta.
- Servicios de encriptación: Esta capacidad permite que el encargado de los sistemas de radio o administración, cambie remotamente las llaves de encriptación. La encriptación usada en P25 es opcional, permitiendo que el usuario seleccione métodos de la comunicación digital libre (sin encriptación) o segura (encriptación). Las llaves de encriptación también tienen la opción de la reintroducción de datos digitales sobre una red de radio. Esto se conoce como (reintroducción aérea) Over the air re-keying (OTAR).



#### 4.2.10 Terminales

La tecnología P-25 cuenta con terminales móviles y portátiles, capaces de operar en modulación digital en canales de 6.25 KHz y 12.5 KHz, así como en canales de 12.5 KHz y 25 KHz en modo analógico. Utilizando FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias) y modulación de 4 niveles FSK se manejan velocidades de 9600 bps en canales de 12.5 KHz o 4800 bps en 6.25 KHz cumpliendo con los requerimientos de la FCC para canales de 6.25 KHz.

En modo convencional permiten uso de hasta 1.000 grupos con 1.000 IDs en cada grupo, siendo posible hacer llamadas de grupo y llamadas individuales. En modo troncalizado es posible tener hasta 3.000 grupos por sitio con hasta 3.000 radios. Los sitios pueden ser de hasta 20 canales.

Las terminales son sólidas y de diversos tipos dependiendo de los requerimientos de los usuarios, las cuales permiten los siguientes servicios:

- Compatibilidad con sistemas analógicos.
- Seguridad.
- Encriptación Avanzada.
- Servicios integrados en un solo terminal.
- Radio de dos vías.
- Datos inalámbricos.
- Mejor privacidad y calidad de voz.
- Soportados por varios fabricantes.

Funcionalidades:

- Validación del Número de Serie Electrónico.
- Monitoreo de un ID prioritario.
- Prioridad en el tipo de llamada.
- Llamada de Emergencia.
- Cola de llamada y bitácora de llamadas.
- Adición remota de grupos.



- Verificación remota del sistema.
- Silenciamiento y des-habilitación remota de radios.
- Mensajes Cortos y Largos.
- Localización GPS.
- Potencias desde 1W a 5W programables.

Opcionales:

- Hombre caído.
- Inmersión.
- La seguridad intrínseca (IS) - es una técnica de protección para el funcionamiento seguro de los equipos eléctricos en zonas peligrosas mediante la limitación de la energía disponible para la ignición. Es muy utilizado en las áreas con concentraciones peligrosas de gases inflamables o el polvo se encuentran en aplicaciones tales como refinerías petroquímicas y minas.

#### **4.2.11 Estandarización**

P25 usa el estándar Americano (FCC), operado por las Fuerzas Armadas dentro de Norte, Centro y Sudamérica y en Colombia por las Fuerzas Militares incluida la Policía Nacional.

El Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeas (ETSI) y TIA, están trabajando de la mano en la fase III, conocida como el proyecto MESA (Movilidad para los usos de la emergencia y de la seguridad). La serie de estándares P25 implica servicio digital móvil de radio por tierra, Land Mobile Radio (LMR) y definen los puntos de conexión, operaciones y capacidades de cualquier sistema P25.

El Comité APCO Interfaz del Proyecto 25 (APIC) ha formado el grupo de trabajo de los procedimientos y proceso a conformidad (CAPPTG) para asegurarse de que el equipo P25 y los sistemas que lo conforman radio bases y equipos repetidores, estén cumpliendo con los estándares P25 para el acceso y la interoperabilidad, la conformidad, y el funcionamiento sin importar el fabricante.



#### 4.2.12 Madurez y futuro de la tecnología

P-25 es una tecnología establecida desde 1990 por el Association of Public-Safety Communications Officials International USA.

Fabricantes de sistemas: Motorola, Harris, EFJ, Powertrunk.

Fabricantes de Terminales: Motorola, Harris, EFJ, Tait, BK radio, Kenwood.

Más de 100.000 suscriptores operativos en Colombia (Especialmente Policía y Ejército Nacional).

#### FASES DEL PROYECTO P25<sup>110</sup>

La tecnología P25 compatible se está desplegando en varias fases:

- **Fase I:** Los sistemas de radio de la fase I funcionan en modo análogo, digital o mezclado con 12.5 KHz, de separación entre canales. Fase I ya es estable.
- **Fase II:** Los sistemas de radio de la fase II alcanzarán un canal de voz o un mínimo de 4.800 bps del canal de datos a 6.25 KHz de eficacia de banda. P25 concluye así la solución de la fase 2 FDMA (CQPSK), y una solución alterna de TDMA está actualmente en desarrollo. La puesta en práctica de la fase II alcanza la meta de la utilización mejorada del espectro radioeléctrico. También están incluyendo características tales como interoperabilidad con equipos legacy de VHF, interconectando entre los equipos repetidores y otros subsistemas, capaces de realizar roaming y también la reutilización espectral del canal. El estándar fue terminado en 2010 y actualmente se encuentra en implementación en Estados Unidos, Canadá y Australia.
- **Fase III:** La puesta en práctica de la fase III, tratará la necesidad de los datos de alta velocidad para el uso de seguridad pública. Los desarrollos están dirigidos a la integración con LTE. La Fase en desarrollo, no tiene fecha estimada.<sup>111</sup>.

El Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeas (ETSI) y TIA están trabajando de la mano en la fase III, conocida como MESA del proyecto (movilidad para los usos de la emergencia y de la seguridad).<sup>112</sup>

Los sistemas actuales P-25 y la tecnología futura del MESA del proyecto compartirán muchos requisitos y funcionalidades de compatibilidad.

---

<sup>110</sup> P25 Radio\_Radio\_Systems\_Guide.pdf, Disponible en: <http://www.p25.com/>

<sup>111</sup> <http://www.p25phase2.com/discussions/phase-iii-activities-high-speed-data>

<sup>112</sup> <http://www.projectmesa.org/>



Los estándares de Fase II y Fase III se encuentran en desarrollo. El Roadmap de P-25 es visible hasta el 2017.

#### **4.2.13 Costos referenciales**

##### **4.2.13.1 Radio Bases**

- 2 CH - USD 140.000.
- 8 CH - USD 265.000.
- 12 CH - USD 360.000.

##### **4.2.13.2 Master Site**

- Para 5 Estaciones USD 269.000.
- Para 100 Estaciones USD 950.000.

##### **4.2.13.3 Terminales**

- Portatil Low Tier USD 1.400.
- Portatil High Tier USD 2.900.
- Mobile Low Tier USD 1.876.
- Mobile High Tier USD 3.300.

#### **4.2.14 Ventajas y desventajas**

##### Ventajas

- Compatibilidad entre el estándar P-25 y los sistemas convencionales (permitiendo que los usuarios de las diversas empresas o áreas se comuniquen directamente unos con otros). Esto permite que las entidades nacionales, departamentales y locales (o cualquier otra agencia) se comuniquen con mayor eficacia cuando se encuentren en estado de emergencias. La conectividad se hace entre master site y master site, y permite la interconexión de usuarios de diferentes redes. En vista de los recientes acontecimientos mundiales, la interoperabilidad entre los principales actores es una iniciativa clave para muchos países.
- Mantenibilidad: Los sistemas P25 se pueden mantener y actualizar de forma económica a lo largo del ciclo de vida del sistema, satisfaciendo así las necesidades del usuario,



logrando interoperabilidad y seguridad, incentivando a los fabricantes a proveer productos compatibles, fomentando la competencia. Fácil de operar: Se requiere un mínimo de capacitación para la operación del P25.

- P25 es un estándar digital desarrollado en Norteamérica, establecido y sólido, también está siendo utilizado en Australia y en varios otros países.
- Opera en bandas de frecuencia VHF y UHF.
- Probado y usado en Colombia por las principales fuerzas de seguridad del Estado (Policía y Ejército), cuenta con más de 100.000 usuarios en el país.

### Desventajas

- Alto costo para la implementación.
- Baja eficiencia espectral.
- Canal de datos de muy baja velocidad.

## **4.3 TETRA**

### **4.3.1 Descripción de la tecnología**

TETRA (Terrestrial Trunked Radio) es una tecnología de radio digital estandarizada por ETSI. TETRA es un estándar abierto, mundial, donde el objetivo es cubrir las necesidades de comunicación crítica de agencias de seguridad pública, seguimiento y control, sistemas de emergencia y de desastres, pero que también ha visto ampliar su rango hacia otros sectores del mercado. Está diseñado específicamente para atender las organizaciones de misión crítica y sus usuarios.

TETRA esta optimizado para brindar servicios de llamada de grupo y servicios de datos para información de posicionamiento y solicitudes a bases de datos entre otros.

Su estandarización inició en 1989 y el estado de Norma de Telecomunicación en Europa se obtuvo en 1995. Su primera implementación se llevó a cabo en el año 1997.

Ofrece cubrimiento a varios mercados de redes móviles privadas PMR (Private Mobile Radio), sin embargo, el mayor de ellos se encuentra en los sistemas de emergencia y en los sistemas de seguridad pública, donde la tendencia es la implementación de redes de cobertura nacional, compartidas por todas las organizaciones e instituciones para atención a los ciudadanos, por razones de economía (compartida), autonomía de operación para comunicaciones de rutina y la



capacidad de total inter-operar con otros servicios durante situaciones de emergencia y desastres.

El sector de transporte es el siguiente segmento de mayor crecimiento, especialmente para sistemas de transporte masivo y grandes aeropuertos. En el sector militar, es utilizada para operaciones de rutina, (no tácticas) aunque inicialmente no se había planeado con este fin.

Esta tecnología ha tenido bastante éxito, razón por la cual ha atraído la atención de muchos fabricantes y proveedores de productos y servicios, ofreciendo a los usuarios una amplia oferta, por ende un mercado competitivo y una amplia gama de equipamiento de terminales de radio para aplicaciones específicas. También se ha creado una fuerte base de desarrolladores de aplicaciones para proveer una amplia variedad de aplicaciones para ser utilizadas con TETRA<sup>113</sup>.

La infraestructura de TETRA es más parecida a un sistema de telefonía celular que a otro estándar de dispositivos PMR (Private Mobile Radio) / LMR (Land Mobile Radio) y se adecúa fácilmente para áreas con altos volúmenes de tráfico por radio y cantidad de usuarios.

- TETRA es escalable, lo que permite su implementación tanto en redes pequeñas, como de cobertura nacional.
- Su modo de operación es troncalizado y también tiene la funcionalidad de operación en modo directo (DMO).
- TETRA es un sistema digital que proporciona buena calidad de voz y baja tasa de error.
- Soporta voz, conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.
- TETRA es un sistema diseñado que gestiona de manera eficaz y económica el uso de la red.
- La red TETRA puede ser compartida por varias organizaciones manteniendo privacidad y seguridad a través de redes virtuales.
- Proporciona servicios de voz y datos simultáneos para grupos cerrados de usuarios.
- Ofrece prioridades en el acceso.
- Rápido establecimiento de llamada: <300 ms.

---

<sup>113</sup> <http://www.tetramou.com/about/page/12030>



- Autorización y control de llamadas desde el centro de despacho.
- Ofrece servicios de acceso a bases de datos desde terminales móviles con transmisión en modo paquete con velocidades de hasta 28,8 Kbps.
- El estándar TETRA proporciona niveles altos de seguridad y cifrado de comunicaciones.
- Autenticación de Abonados en la infraestructura.
- Cifrado interfaz aire.
- Cifrado extremo a extremo (end2end).

Por ser una norma abierta, permite utilizar diversos fabricantes tanto para equipos de infraestructura como para terminales, asegurando interoperabilidad de servicios y desarrollo de aplicaciones.

Una Red de Emergencias en TETRA se caracteriza porque no se cae durante un evento crítico por carga de tráfico ya que maneja colas de tráfico, y no presenta degradación del servicio.

TETRA proporciona un conjunto completo de estándares para interfaces de aire y línea. Se ha establecido como el estándar por defecto para redes de seguridad pública y emergencia en el Reino Unido y en Europa, pero hay obstáculos de propiedad intelectual y regulatorios que deben ser superados para su funcionamiento en América del Norte.

#### **4.3.2 Cobertura**

Promedio en condiciones ideales de 50 Km, potencia 25W en repetidora y hasta 10W en móviles.

#### **4.3.3 Capacidad**

Cuatro canales por repetidora, opera en baja potencia lo que facilita la reutilización de frecuencias.

#### **4.3.4 Bandas de Frecuencia**

TETRA está diseñado para operar lado a lado con canales de radio análogo, para permitir la coexistencia de redes de radio digital en bandas existentes de PMR análogo. Esto requiere niveles estrictos de potencia de canal adyacente y selectividad, comparable con transceivers análogos, a diferencia de estándares celulares como GSM y CDMA, que requieren una banda de guarda para prevenir la interferencia.



En TETRA la sensibilidad y la interferencia co-canal (C/I), ha mejorado dramáticamente comparada con la especificación del estándar publicada en 1995. La sensibilidad típica de un receptor es ahora de -119 dBm, comparada con -115dBm del estándar; y la C/I ha mejorado a 9 dB en lugar de los 19 dB, en el estándar.

En general, las autoridades nacionales reservan 2 bandas de 5 MHz para las redes TETRA de seguridad pública (banda superior o inferior).

Asignación de acuerdo a la norma ETSI TS 100392-15:

- 870 a 876 MHz (UL), 915 a 921 MHz (DL).
- 380 a 390 MHz (UL), 390 a 400 MHz (DL).
- 410 a 420 MHz (UL), 420 a 430 MHz (DL).
- 450 a 460 MHz (UL), 460 a 470 MHz (DL).

#### **4.3.5 Eficiencia espectral**

TETRA tiene una buena eficiencia espectral debido a que utiliza portadoras de 25 KHz dando soporte a 4 canales de 6,25 KHz por portadora bajo la técnica de TDMA (Time-Division Multiple Access), obteniendo una eficiencia espectral de 4:1. La unidad básica es el timeslot, con una duración de 14,167 ms., transmitiendo información a una velocidad de 36 Kbps. La duración del timeslot incluyendo el tiempo de guarda es de 510 bits (255 símbolos).

El nivel máximo de interferencia con el canal adyacente es de -60 dB, con una separación frecuencial de 25 kHz.

La modulación usada por TETRA es p/4 diferencial cuaternaria por desplazamiento de fase p/4-DQPSK. También utiliza modulación p/8-D8PSK. Las características de este tipo de modulación son:

- Alta eficiencia espectral.
- Transiciones no dan lugar a amplitudes nulas, con lo que se facilita el diseño de amplificadores lineales de RF.
- Ya que la información se transmite en las transiciones de fase, no se necesita saber sobre el valor absoluto de la fase de la señal. Con esto se consigue la utilización de demoduladores simples.



- La principal desventaja de este tipo de modulación es que requiere del uso de amplificadores lineales de potencia, esto significa que la capacidad plena del amplificador no puede ser explorada.
- Baja potencia menor cobertura.

#### 4.3.6 Redundancia

La redundancia depende de los equipos ofrecidos por los fabricantes, en general, se encuentra que los equipos de red cuentan con los siguientes esquemas de soporte en caso de falla de algún componente:

- Redundancia en los equipos de conmutación y en los repetidores en los elementos críticos: fuente de poder y tarjetas de control, ofreciendo una redundancia 1+1.
- Los equipos pueden contar con baterías de respaldo en caso de fallas en el suministro de energía.
- Redundancia en la administración de red y de despacho.

##### 4.3.6.1 Redundancia en Estaciones Base

- Redundancia de canal de control (MCCH). Posibilidad de tener canal de control secundario (SCCH).
- Software para conexión redundante a los equipos de conmutación.

##### 4.3.6.2 Redundancia en Conmutación

Para soluciones de misión crítica se encuentra proveedores que ofrecen soluciones con disponibilidad del servicio de hasta 99.999%, dependiendo de la configuración de la red, implementación de centros de conmutación alternos y redundantes.

Debido a que las redes TETRA ofrecen conectividad IP, los centros de despacho y de administración de red, pueden estar ubicados o conectarse en varios puntos de la red, se puede tener un esquema de soporte redundante de manera transparente.

#### 4.3.7 Componentes de la red

##### 4.3.7.1 Core

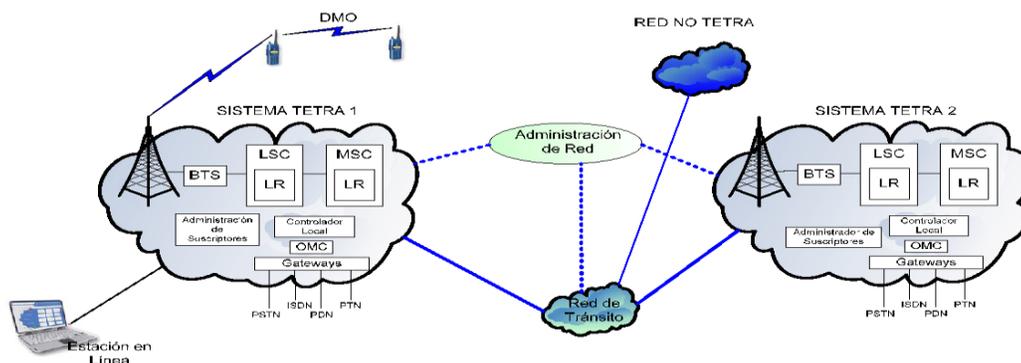
- **SwMI Infraestructura de Administración y Conmutación**

Es el componente básico dentro de la red TETRA, comprende los aspectos necesarios para la administración, conmutación, networking y elementos no estandarizados de la red. Los

beneficios de la no estandarización es que se deja a los fabricantes del mercado, en libertad de implementar soluciones rentables para la red. SwMI comprende hasta seis sub-sistemas los cuales son:

- Red Individual TETRA: Estaciones base (BS), conmutadores, centros de administración y operaciones.
- Las estaciones móviles (MS) que comprenden la Unidad de Terminación Móvil (MTU) y el Equipo Terminal (TE).
- Las estaciones de línea (LS) que comprenden la Unidad de Terminación de Línea (LTU) y el Equipo Terminal (TE).
- La unidad de administración central de red.
- Estaciones móviles operando en una red DMO (TETRA en Modo Directo).
- Gateways. El estándar contempla la conexión de un sistema TETRA con otras redes tales como la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN), Redes Telefónicas Privadas (PTNs), Red Digital de Servicios Integrados (ISDN) y Redes de Datos Empaquetados (PDNs).

La configuración de SwMI se muestra en la siguiente ilustración:



**Ilustración 22: Configuración SwMI**  
**Fuente: Análisis Comparativo TETRA <sup>114</sup>**

<sup>114</sup> [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1502/1/CD-2197.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1502/1/CD-2197.pdf) Recuperado de Benítez Torres, Franklin Hernán, Análisis comparativo entre el estándar analógico MPT1327 y el estándar digital tetra. Quito, mayo 2009. Pág. 40 Figura 2.3



- BTS=Base Transceiver Station.
- LSC=Local Switching Centre.
- MSC=Main Switching Centre.
- LR=Location Register.
- OMC=Operation & Maintenance Centre.
- PDN=Packet Data Network.
- PTN=Private Telephone Network.
- PSTN=Public Switched Telephone Network. ISDN=Integrated Services Digital Network.
- MS= Mobil Station.

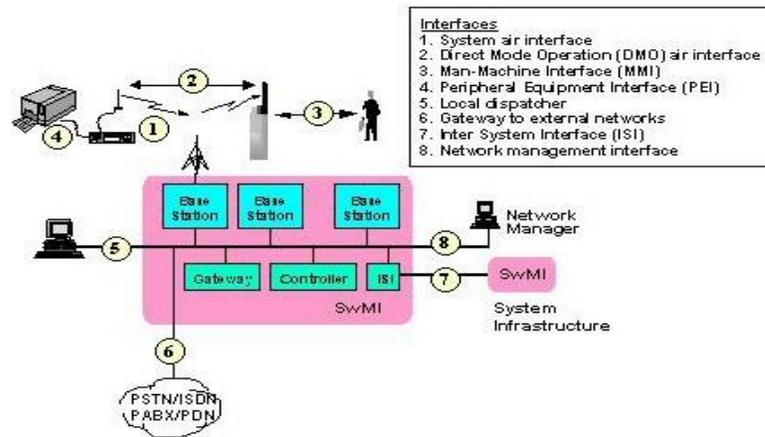
Estos elementos se interconectan a través del uso de interfaces específicas:

- **Interfaces de Red**

La Infraestructura de Conmutación y Gestión SwMI se define en términos de seis interfaces específicas necesarias para garantizar la interoperabilidad, interworking y gestión de red:

- Terminal Equipment Interface (**TEI**): Permite la conexión de equipos como PCs, impresoras, cámaras, etc., a un equipo móvil. Especialmente realizado para soporte de aplicaciones de datos móviles.
- Air Interface (**AIR IF**): Garantiza la interoperabilidad entre los equipos terminales y la red troncalizada. La Interfaz Aire se basa en la técnica de acceso FDMA/TDMA con una estructura de trama de 4 slots por portadora. El tráfico y la señalización en la multiplexación de canales se realiza mediante una estructura jerárquica de 4 niveles que son: slot, trama multitrama e hipertrama.
- Inter Systems Interface (**ISI**): Define la interconexión entre dos redes TETRA. La transmisión la realiza de dos maneras diferentes: en modo circuito y en modo paquete.
- Direct Mode Operation (**DMO**): Operación en modo ad-hoc, es decir, que los equipos terminales se comunican independientemente entre sí sin necesidad de la infraestructura de la red, la comunicación la realizan mediante el interfaz aire en modo directo.
- Interfaz Man-Machine, pasarelas a redes externas (PABX, PSTN).
- Interfaz con los gestores de red (NMP).

Estas interfaces se visualizan en la siguiente ilustración:



**Ilustración 23: Interfaces TETRA**  
Fuente TETRA<sup>115</sup>

#### 4.3.7.2 Acceso

La red de radio consta de estaciones de radio base (BS), que proporciona la interfaz de aire a la Estación Móvil (MS), así como la multiplexación y la interfaz con la entidad de conmutación y control.

La entidad de conmutación y control funcional es el nodo principal de la red, que gestiona el procesamiento de llamadas y la conmutación del tráfico de voz y datos, incluyendo el Modo Circuito y el de Paquetes de datos. La entidad de conmutación y control por lo tanto interconecta a los elementos internos de red, tales como BS, otras entidades de conmutación y control y otras bases de datos centralizadas. La entidad de conmutación y control funcional también interactúa con las estaciones de línea (LS), otras redes TETRA y la Unidad de Gestión de Red (NMU).

La estación base está transmitiendo continuamente la siguiente información de control e identificación:

- Identificación del sistema (por ejemplo, código de país, código de usuario, código de área, etc.).
- Información de sincronización (por ejemplo, slot de sincronización, trama de sincronización, etc.).
- La organización del canal de control y carga de datos (por ejemplo, estructura de la ranura anuncio, especialmente para el acceso aleatorio).

<sup>115</sup> <http://www.tetramou.com/about/page/12024>: TETRA Standard Release 1 - Figure 1: TETRA Standard Interfaces



- Las solicitudes de inscripción o denegación de sistema.
- Información (tal como mensajes de búsqueda dirigidos a un móvil particular o grupo de móviles) se transmite sobre la base de llamada por llamada.

La información se intercambia entre la infraestructura y el móvil. El móvil realiza un procedimiento de cinco elementos:

- Despertar (si es un modo de ahorro de batería).
- Presencia de verificación en el canal de control (si es necesario).
- Traslado al canal de tráfico.
- Reconocimiento en el canal de tráfico (si es necesario).
- El tráfico de transferencia de información (voz o datos).

Otros elementos a tenerse en cuenta durante el establecimiento de la llamada son los concernientes a los servicios suplementarios y el control de la base de datos de suscriptores para asegurar que estos servicios si han sido contratados o asignados a los usuarios. Una vez finalizada exitosamente esta etapa, el móvil avanza a la etapa llamada en progreso.

#### 4.3.7.3 Interconexión

TETRA implementa un proceso de certificación de **Interoperabilidad** que ha permitido la disponibilidad de sistemas y radios de varios vendedores de manera interoperable. Debido a que es una solución de estándar abierto multi-vendedor, se ha obtenido un mercado muy competitivo, con soluciones orientadas a un amplio número de segmentos.

El proceso de Interoperabilidad de TETRA (IOP) sin duda ha contribuido a su desarrollo hacia un verdadero estándar multi-vendedor. TETRA IOP es un proceso continuo que adopta todas las nuevas características que llegan al mercado, y que ha generado confianza con más de 1.000 casos de prueba cubriendo todos los servicios esenciales. El proceso TETRA IOP es independiente y es aceptado globalmente como un proceso de alto nivel profesional.

Listado de Fabricantes participantes en el proceso IOP:

Fabricante	
<b>Apsi</b>	Asia Pacific Satellite-Communications Inc
<b>Artevea</b>	Artevea Digital Limited
<b>Cassidian</b>	Cassidian Finalnd Oy
<b>Cleartone</b>	Cleartone Telecoms Plc s
<b>Damm</b>	Damm Cellular System A/S
<b>Etelm</b>	Etelm SAS
<b>Funkwerk</b>	Funkwerk Security Communications GmbH
<b>Hytera CN</b>	Hytera Communication Co LTD (China)



Fabricante	
Hytera DE	Hytera Mobilfunk GmbH (Germany)
Motorola	Motorola Solutions
Piciorgros	Funk- Electronic Piciorgros GmbH
Rohill	Rohill Technologies B.V
Selex	Selex Elsag S.p.a.
Sepura	Sepura plc
Teltronic	Teltronic S.A.U.
3T	3T Communications
Thales FR	Thales Communications & Security (France)
Thales UK	Thales Communications & Security (UK)
TPL Systèmes	TPL Systèmes

**Tabla 8: Fabricantes Participantes en el Proceso IOP**

Fuente: Tetramou<sup>116</sup>

- **Interconexión con Otras Redes**

La compatibilidad con redes anteriores es una consideración importante cuando se intenta simplificar la migración hacia una red nueva. Una solución para lograr la interoperabilidad con redes de radio análogas existentes es implementar Gateways entre las redes actuales análogas y las nuevas redes digitales. Virtualmente todos los fabricantes de red TETRA ofrecen gateways a radio análogo, lo que da soporte a la interoperabilidad tanto con redes troncalizadas como de radio convencional. Esto permite dar el salto de operación centrada en la voz hacia una operación centrada en la información, haciendo uso de todas las características de TETRA.

#### **4.3.8 Administración**

La administración de la red se puede observar desde dos puntos de vista, la administración de los servicios a través del despachador y la administración de la red. Las características y funciones dependen en gran medida de la implementación de los proveedores, pues haciendo uso de las facilidades para implementar aplicaciones, su desarrollo es independiente. Sin embargo, se relaciona a continuación algunas de las características generales.

- **Sistema de Despacho:**
  - Funciones de Llamada.
  - Llamadas de Grupo.

---

<sup>116</sup> Fabricantes de tecnología TETRA, 16 Nov 2012 Disponible en: <http://www.tetramou.com>



- Llamadas individuales Half y Full dúplex.
- Llamada de broadcast.
- Monitoreo de llamadas activas.
- Envío de mensajes de datos cortos.
- Llamadas PABX/PSTN.
- PPT Maestro.
- **Comunicaciones Críticas:**
  - Estatus e histórico de llamadas.
  - Alarmas de nodos.
  - Administración de asignación de números de grupo dinámicos o de suscriptores o grupos individuales.
- **Servicios de Despachador:**
  - Combinar llamadas.
  - Llamadas autorizadas por despachador.
  - Llamadas de Prioridad y Emergencia.
  - Crear y adicionar DGNA. (Dynamic Group Numbering Assignment).
  - Posicionamiento GPS de los suscriptores en el mapa.
  - Verificar velocidad y dirección para los suscriptores con GPS.
  - Actualización de contactos desde el registro de suscriptores.
  - Estado e histórico de llamadas de voz.
- **Administración de la Red**
  - Sistemas en configuración Cliente/Servidor.
  - Basados en Modelos de estados OSI (ITU-T X.731).
  - Clases de alarmas estandarizadas. ITU-T M.3100.



- Supervisión de Red.
- Acceso remoto para mantenimiento.
- Información de Desempeño.
- Gestión de Configuración.
- Gestión de Seguridad.
- Configuración de Perfiles de suscriptor.
- Configuración de celdas.
- Arquitectura Distribuida.
- Soporte multi-display.
- Soporte a SNMP para sistemas externos.

#### 4.3.9 Servicios

Los servicios TETRA están basados en tres tipos de servicios principales con diferentes interfaces de radio, todos ellos especificados por la ETSI:

Servicios de Voz y Datos:

- Voz y datos (V+D): Transmisión de voz y datos a través de circuitos conmutados. (ETS 300 392).
- Paquete optimizado de datos (PDO): Tráfico de datos basado en la conmutación de paquetes. (ETS 300 393).
- Modo directo (DMO): Transmisión de voz unidireccional (simplex) entre dos sistemas móviles sin utilizar una red. Sobre un canal físico se pueden establecer dos llamadas DMO simultáneas. (ETS 300 396).

El estándar TETRA soporta transmisiones de datos para mensajes de estatus, mensajes de datos cortos (similares a los SMS de la telefonía celular) y acceso de conmutación de paquetes (basados en IP). Típicamente se utiliza para la identificación de la posición de vehículos utilizando GPS, acceso directo a bases de datos desde unidades móviles, transferencia de fotografías, mapas y bocetos.



El estándar TETRA define tasas de transferencia de datos en el rango de 2.4 Kbps a 28,8 Kbps, dependiendo del número de canales disponibles y de la corrección de errores requerida.

#### 4.3.9.1 Voz

En TETRA se definen tres tipos de servicios:

- **Teleservicios**

- Llamada individual.
- Llamada Grupal.
- Llamada de difusión.
- Llamada de prioritaria de emergencia.
- Operación en modo directo DMO- half dúplex, en forma directa sin necesidad de utilizar la infraestructura de la red.
- Repetidor en modo directo (Direct Mode Repeater):
- Doble escucha (Dual Watch).
- Vía de acceso al modo directo (Gateway to System).
- Canal abierto.
- Inclusión de llamada.

- **Servicios Suplementarios**

- Llamada autorizada por despachador Acceso Prioritario.
- Prioridad de llamada.
- Acceso tardío.
- Escucha Discreta.
- Ambiente de escucha.
- Número de grupo dinámico.
- Identificación de grupos de llamadas.
- Prioridad para llamadas preventiva.



- Encriptación de Voz: El estándar TETRA da soporte a una variedad de algoritmos de encriptación al aire. (TEA's), de acuerdo a los tipos de usuario a quienes se les permite su uso. La principal ventaja de la encriptación al aire es que puede implementarse a través de software en los terminales de radio y las estaciones base, en lugar de utilizar módulos de encriptación que ocupan espacio e incrementan los costos. El estándar TETRA también soporta encriptación "end to end" utilizando una variedad de algoritmos de acuerdo a la necesidad de las organizaciones de seguridad nacional.

- **Servicios Suplementarios Opcionales**

- Selección de área.
- Identificador de llamada.
- Desvío de llamada incondicional.
- Desvío de llamada en caso de ocupación.
- Desvío de llamada en caso de no contestación.
- Lista de búsqueda de llamada.
- Abreviación de llamada.
- Llamada en espera.
- Retención de llamada.
- Completar una llamada cuando el usuario está ocupado.

#### **4.3.9.2 Datos/Multimedia**

Actualmente debido a las restricciones impuestas por la capacidad de transmisión de datos (28,8 Kbps) de TETRA, no se ofrecen de manera comercial servicios multimedia, sin embargo, cabe anotar que están siendo llevado a cabo esfuerzos para integrar otras tecnologías a través de la implementación de gateways y también de mejorar las capacidades de TETRA; esto último para próximas versiones del estándar.

- **Servicios de Portadora**

Los servicios portadores permiten la transmisión de señales entre diferentes puntos de acceso. Se realizan hasta la capa de Red del modelo OSI.

- Transmisión del estado de usuario.



- Servicios de Datos Cortos.
- Servicio de Datos sobre Circuitos Conmutados. Se utiliza en modo no protegido (7,2 Kbit/s por ranura de tiempo), con codificación estándar (4,8 Kbit/s por ranura de tiempo), y con codificación de rango superior (2,4 Kbit/s por ranura de tiempo).
- Servicio de Datos sobre Paquetes conmutados de 28,8 Kbps.
- **Modo de transmisión de datos PDO (Packet Data Optimized):** Es el modo de operación más flexible para las comunicaciones de datos trabajando con un sólo canal de 36 Kbps frente a los 4 canales de 7,2 Kbps en V+D.

#### 4.3.10 Terminales

El estándar TETRA define las siguientes clases de terminales:

- **Clase A**

Esta clase de receptor está diseñada para ambientes de difíciles condiciones de propagación (áreas urbanas que generan muchas componentes de múltiples trayectorias, o terreno montañoso). Este equipo está definido para modelos de propagación estáticos, así como también para modelos TU50 y HT200. Donde TU y HT corresponden a la clase de terreno (TU es área urbana típica, y HT terreno montañoso) y los números 50 y 200 denotan el grado de movilidad de la MS y representan el valor máximo de velocidad que pueden alcanzar expresado en Km/h.

- **Clase B**

Estos equipos se han diseñado para condiciones menos exigentes que los receptores clase A, tales como en áreas urbanas normales o suburbanas. Sin embargo estos no serían capaces de operar en áreas que generen altas componentes multitrayectoria. Se ha definido para modelos de propagación estáticos y TU 50.

- **Clase E**

Esta clase de equipos tienen un ecualizador que está desarrollado para ambientes de propagación con muy difíciles condiciones de propagación (retardos de propagación por múltiples trayectorias en el orden de los 2 símbolos de duración). Su operación está definida por modelos de propagación estáticos, TU50 y EQ200 (donde EQ significa que la MS cuenta con ecualizador).



#### 4.3.11 Estándares de la industria a los que se ajusta

El estándar TETRA es en la práctica un conjunto de estándares que cubren diferentes aspectos de la tecnología como por ejemplo las interfaces de aire, de red, sus servicios y su infraestructura. Es un estándar en evolución y ha sido desarrollado en fases (Releases), conocidos como TETRA Release 1 y TETRA Release 2. Aunque ambos han sido completados, se sigue trabajando en el comité técnico de TETRA dentro de la ETSI, para mejorar el estándar y dar cubrimiento a nuevos requerimientos de usuario, así como también aprovechar los beneficios de las innovaciones en tecnología. Además de Europa, el estándar TETRA ETSI, ha sido anteriormente adoptado en China y Corea del Sur. Actualmente el mayor grado de crecimiento en implementación de redes TETRA está siendo llevado a cabo en Asia y el Pacífico.

Si bien es un estándar abierto, algunos detalles de la implementación se han dejado abiertos para permitir extensiones propietarias por parte de los fabricantes.

A continuación se relacionan algunos de los documentos principales que componen el estándar:

- ETS 300 392: V+D.
- ETS 300 393: Datos empaquetados optimizados.
- ETS 300 394: Test de conformidad.
- ETS 300 395: Codec.
- ETS 300 396: DMO.

#### 4.3.12 Madurez y futuro

La primera generación de redes fue implementada en 1997 en el aeropuerto Gardemo en Noruega, y desde entonces más de 250 redes han sido implementadas alrededor del mundo. Si bien un número considerable se encuentra en Europa, se observa una rápida apropiación en regiones de Asia, Oriente Medio y América del Sur. La red TETRA más grande a la fecha corresponde a Airwave del Reino Unido, que cuenta con 3.600 estaciones base y aproximadamente 350.000 usuarios; Se espera próximamente la red de Alemania, que con 500.000 usuarios se constituirá en la más grande. Aunque el mercado de Norte América, apenas se ha abierto a la tecnología TETRA, ya se cuenta con redes en EEUU y Canadá. Actualmente TETRA está en operación en más de 125 países alrededor del mundo y se han vendido millones de radios desde su introducción en 1997.

En el segmento de la seguridad pública actualmente se están construyendo o están en uso, redes en los siguientes países: Andorra, Austria, Bahrein, Bulgaria, Croacia, Dinamarca, Egipto,



Alemania, Gracia, Israel, Irlanda, Jordania, Luxemburgo, Mónaco, Holanda, Noruega, Portugal, Rumania, Suecia, Turkmenistán, el Vaticano y el Reino Unido, entre otros.

Se espera que próximamente también se cuente con equipos en VHF, debido a que se están desarrollando cambios en el estándar ETSI para cubrir VHF y que múltiples proveedores han confirmado dar soporte a esta iniciativa.

### **4.3.13 Costos Referenciales**

#### **4.3.13.1 Radio Bases**

Precio de referencia proporcionado por uno de los fabricantes<sup>117</sup> es de:

- US\$ 60.000 por Radio base con una portadora.
- US\$ 90.000 con 2 portadoras.
- US\$ 150.000 con 2 portadoras y redundancia.

#### **4.3.13.2 Terminales**

Varían de US\$900 por un móvil, unidades para vehículo de US\$1.900, para mesa de US\$2.200<sup>13</sup>

### **4.3.14 Ventajas y desventajas**

#### Ventajas

- Es un estándar abierto.
- Tiene un alto nivel de interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes, debido a la estandarización de las interfaces en la norma.
- Ofrece una eficiencia espectral de 4:1, tiene 4 canales de 6,25 KHz (cuatro time slot en un ancho de banda de 25 KHz).
- Los terminales de usuario necesitan una potencia de transmisión más baja que otras tecnologías y por lo tanto pueden ser más pequeños, menos costosos y más parecidos a los teléfonos celulares, en cuanto a dimensiones y características físicas.
- Por ser un sistema de transmisión digital, se cuenta con buena calidad de voz, constante independiente de la potencia de la señal de RF y el funcionamiento es simple (trabaja o no trabaja).

---

<sup>117</sup> Teltronic Andina



- Seguridad: Debido a que es un sistema digital, la información puede ser encriptada más fácilmente.
- Tiempo de establecimiento de llamada <300 ms.
- Tiempo de establecimiento de llamada de uno a múltiples destinatarios puede ser establecido en <500 ms.
- El sistema cuenta con protocolos que le permiten operar aun cuando el sistema este sobrecargado de llamadas, esto es especialmente útil durante eventos críticos. Las llamadas pueden pasar a diferencia de los sistemas celulares.
- Modo Directo de Comunicación entre radios.
- Posibilidad de comunicación con móviles en desplazamiento a velocidades altas >400 Km/h.
- Prioridades de llamada.
- Soportada por grandes fabricantes y usuarios finales, brindando un mercado multivendor.

#### Desventajas

- Necesidad de utilizar amplificadores lineales, que le permitan operar con otros sistemas de radio existentes. Baja velocidad de transferencia de datos, en comparación con equipos de telefonía celular.
- Debido que los sistemas TDMA tienden a generar impulsos y que utiliza potencias mayores que los equipos de telefonía celular, los equipos de mano pueden interferir con sistemas electrónicos sensitivos o mal diseñados (usualmente antiguos). También ha sido expresada una preocupación acerca de los usuarios de equipos sensitivos, tales como marcapasos, pero no hay documentación de problemas reportados, aun siendo utilizados por muchas tripulaciones de ambulancias. Como precaución los usuarios de este tipo de sistemas sensitivos, deben tener cuidado cuando se encuentran en las cercanías de cualquier equipo de transmisión de RF.

#### **4.4 SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE P-25 Y TETRA**

##### Similitudes

- Ambas son tecnologías de radio troncalizado digital
  - Mejor privacidad y calidad de voz.
  - Funcionalidades mejoradas.

- Ambos son estándares abiertos
  - Soportados por varios fabricantes.
  - Asegura longevidad de los productos.
- Servicios integrados en un solo terminal
  - Radio de dos vías.
  - Interconexión telefónica.
  - Datos inalámbricos.

Diferencias:

	APCO P25	TETRA
<b>Área de cobertura</b>		
<b>Capacidad</b>	APCO  FDMA 25 kHz 4:1 futuro Mayor reuso de canales	TETRA  TDMA 25 kHz Menor reuso de canales
<b>Compatibilidad con sistemas analógicos</b>		
<b>Operación convencional y troncalizado</b>	 	 
<b>Bandas de frecuencia</b>	VHF, UHF, 764 - 870 MHz Flexible duplex Canales 12.5kHz	350 band, 380-400, 410-430, 450-470, 806-870 MHz 10MHz duplex Canales 25kHz

Tabla 9: Diferencias entre P25 y TETRA

Fuente: Presentación de Motorola al Grupo Consultor

## 4.5 LTE: LONG TERM EVOLUTION

### 4.5.1 Fundamento Tecnológico y Características de la Tecnología

LTE (Evolución a Largo Plazo) es una de las soluciones móviles más adecuadas a la demanda creciente de comunicaciones de alta velocidad. El número de usuarios suscritos a comunicaciones de datos muestra un crecimiento con tendencia exponencial durante los próximos años. Las necesidades de comunicaciones de alta velocidad de estos nuevos usuarios son y serán satisfechas por la llamada tecnología 3GPP de Cuarta Generación (4G), la



cual cumple con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Radio UIT-R.

Para la tecnología LTE, el 3GGP marcó unos requerimientos exigentes a las tecnologías de acceso con el principal objetivo de que estas evolucionaran. Estos requerimientos, en resumen, son:

- Reducir los retardos en el establecimiento de conexión y en los datos de usuario.
- Incrementar la velocidad de datos de usuario a 100 Mbps, en el enlace de bajada (DL), y a 50 Mbps en el enlace de subida (UL), en un ancho de banda de 20 MHz.
- Ancho de banda escalable: 20, 15, 10, 5, 3 y 1.4 MHz.
- Posibilidad de uso de banda pareada modo Frequency Division Duplexing (FDD) y no pareada Time Division Duplexing (TDD).
- Mejorar la tasa de datos de los usuarios en el borde de la celda, más afectados por las interferencias.
- Reducir el costo por bit, implicando una mejora de la eficiencia espectral.
- Simplificar la arquitectura de red.
- Disminuir el consumo de potencia de manera razonable en el terminal móvil, para mejorar la autonomía de la batería.
- Mejorar la cobertura.
- Optimizar la calidad de servicio: Se debe garantizar calidad de servicio extremo a extremo. El servicio de Voz sobre IP (VoIP) debe soportarse con las mismas prestaciones con las que se ofrece un servicio de voz para conmutación de circuitos.

LTE fue propuesta por primera vez por NTT DoCoMo del Japón en el año 2004 y los estudios sobre esta nueva norma comenzaron el año 2005. El estándar LTE se finalizó en diciembre de 2008, y la primera red fue lanzada por Telia Sonera en Oslo y Estocolmo el 14 de diciembre de 2009. Al 2012 se cuenta con aproximadamente 100 redes de operadores comerciales distribuidos en América, Europa, Asia, África y Oceanía. La evolución de LTE es LTE Advanced, que se estandarizó en marzo del 2011. Los servicios de redes de LTE Advanced se espera que comiencen en el año 2013.



**Ilustración 24: Evolución de la familia de tecnología 3GPP**  
Fuente 3GPP<sup>118</sup>

Durante muchos años, uno de los objetivos de la industria ha sido alcanzar un estándar celular mundial. Todo indica que con LTE finalmente se va a lograr debido a que la mayoría de los operadores, fabricantes de dispositivos e infraestructura y proveedores de contenidos, están dando soporte a LTE como la tecnología móvil del presente y futuro. Inclusive los operadores de WiMAX, están tomando compromisos estratégicos a largo plazo hacia redes LTE.

LTE proporciona una nueva tecnología de acceso por radio basada en la conmutación de paquetes de datos, y ha sido diseñada inicialmente para soportar sólo conmutación de paquetes de servicios, por eso simplificó la arquitectura de red comparada con las generaciones móviles anteriores y disminuyó los retardos al ser IP e2e (de extremo a extremo). El objetivo de LTE es aumentar la capacidad y velocidad de las redes de datos inalámbricas utilizando la tecnología DSP (Digital Signal Processing / Procesamiento Digital de Señal) y técnicas de modulación en la interfaz de radio.

LTE emplea Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) en el downlink, que es muy adecuado para alcanzar altas velocidades de datos en un gran ancho de banda espectral. El enfoque OFDMA también es altamente flexible en canalización permitiendo canales entre 1,4 y 20 MHz. En el enlace ascendente, un enfoque de OFDMA puro da lugar a una pobre eficiencia de potencia afectando la autonomía de la batería. De ahí que LTE utilice, para el enlace ascendente, FDMA de una Portadora (SC-FDMA), que se asemeja en parte a OFDMA, pero tiene una ventaja de 2 a 6 dB sobre el método OFDMA empleado por otras tecnologías como Wimax IEEE 802.16e.

Las principales características de LTE son:

- Alta eficiencia espectral.
- Muy baja latencia: 100 ms para el Plano de Control y 10 ms para el Plano de Usuario.

<sup>118</sup>Banda Ancha Inalámbrica para Seguridad Pública. LTE– The Alcatel-Lucent Solution, 2011



- Separación del plano de usuario y el plano de control mediante interfaces abiertas.
- Ancho de banda adaptativo: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.
- Soporta todas las bandas de frecuencias utilizadas actualmente por los sistemas IMT y por la UIT-R.
- Arquitectura simplificada: la red de acceso E-UTRAN se compone sólo de eNodeB (desaparece la controladora de las generaciones anteriores), y el CORE la compone una sola red (las generaciones anteriores tienen una red para la voz y otra para los datos).
- Interoperabilidad con redes 3GPP (GSM/GPRS/EDGE, UMTS/HSPA) y no 3GPP (CDMA, WIMAX, WiFi).
- Velocidades alcanzadas pico.
  - Bajada: 326,5 Mbps para 4x4 antenas, 172,8 Mbps para 2x2 antenas, en 20MHz.
  - Subida: 86.5 Mbps en 20MHz.
- Óptimo para desplazamientos hasta 15 Km/h. Compatible hasta 500 Km/h.
- Más de 200 usuarios por celda de 5 MHz.
- Mejora y flexibiliza el uso del espectro (FDD y TDD) haciendo una gestión más eficiente del mismo, e incluye servicios unicast y broadcast.

#### 4.5.2 Cobertura

LTE permite lograr coberturas con un radio desde decenas de metros (pico-celdas) hasta 100 kilómetros (macro-celdas), dependiendo de la frecuencia utilizada, de las condiciones geográficas, del cubrimiento del terreno, etc. En las bandas de frecuencias más bajas, que se utilizan en las zonas rurales, el radio de cobertura de las celdas es de 5 km con un rendimiento óptimo, de 30 km con un rendimiento razonable, y hasta 100 km con un rendimiento aceptable.

#### 4.5.3 Capacidad

LTE soporta al menos 200 usuarios activos por portadora de 5 MHz. Sin embargo la cantidad de usuarios que puede atender la celda en un momento dado, depende de los servicios y el ancho de banda que cada usuario de la red de emergencias requiera. Si consideramos una eficiencia espectral de 3 bits/Hz, factible con 64QAM en downlink, tenemos que la portadora de 5 MHz tiene una capacidad de 15 Mbps.



#### 4.5.4 Bandas de Frecuencia

El 3GPP<sup>119</sup> ha definido hasta el momento 44 bandas para LTE que van desde 700 MHz hasta 3.8 GHz. Bandas más bajas, como 400 y 450 MHz, ideales para dar cobertura en zonas rurales y aplicaciones PPDR, están siendo estudiadas por el 3GPP.

Fabricantes de infraestructura como Cassidian, Alcatel-Lucent, Huawei, entre otros, anuncian soluciones LTE en las bandas de 400 MHz y 450 MHz y han realizado pruebas en varios países como Brasil y Alemania. También fabricantes de chipsets, como Altair, han lanzado al mercado chips en estas bandas, pero la realidad es que hasta el momento no existen redes LTE comerciales desplegadas en 400 MHz o 450 MHz, por lo tanto no existe un ecosistema de terminales que haga económicamente viable proyectos en estas bandas. Las frecuencias definidas por la 3GPP<sup>36</sup> son:

- 700 MHz.
- 850 MHz.
- 1800 MHz.
- 1900 MHz.
- 2300 MHz (\*).
- AWS.
- 2600 MHz.
- 2600 MHz (\*).

Las frecuencias (\*) están recomendadas para espectro TDD; las restantes para FDD.

#### 4.5.5 Eficiencia espectral

El uso de OFDMA en el enlace descendente y SC-OFDMA en el ascendente, en conjunto con MIMO (Multiple Input Multiple Output), la cual es una técnica que usa múltiples antenas en transmisión y recepción para añadir una dimensión espacial y aprovechar la formación de canales estadísticamente independientes originados por la multi trayectoria, permite a LTE conseguir una alta eficiencia espectral teórica de 15 bits/Hz. En la práctica se han demostrado eficiencias de 6 bits/Hz en ambientes controlados y de 3 bits/Hz en redes comerciales. En el Mobile World Congress de Barcelona 2012, se mostraron velocidades en downlink de 100 Mbps

---

<sup>119</sup> [http://niviuk.free.fr/lte\\_band.php](http://niviuk.free.fr/lte_band.php)



y uplink de 40 Mbps, usando un espectro de 40 MHz (20MHz para uplink + 20MHz para downlink) y MIMO 2x2.

#### **4.5.6 Redundancia**

El hardware y software ofrecido por los proveedores de equipos LTE es compatible con diversos grados de configuraciones redundantes de acuerdo con los requerimientos y objetivos de disponibilidad de la red. La redundancia se puede tener a nivel de equipos duplicados, bases de datos replicadas (con ubicaciones geográficas diferentes), diversidad de caminos de comunicación para alcanzar el destino final.

#### **4.5.7 Componentes de la red**

La arquitectura de red LTE es simplificada, consta de una red de acceso de radio E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) y de una red central EPC (Evolved Packet Core).

##### **4.5.7.1 Core EPC**

La red core EPC es responsable de las funciones que no están relacionadas con la interfaz de radio, así como del control global del terminal y establecimiento de portadoras necesarias para proporcionar una red de banda ancha móvil completa. Esto incluye, por ejemplo, la autenticación del usuario, la funcionalidad de carga y la configuración de las conexiones de extremo a extremo. El manejo de estas funciones por separado, en lugar de integrarse en la red de acceso, permite varias tecnologías de acceso por radio para ser servidas por la misma red central.

A continuación se muestra la arquitectura general de la red de LTE:

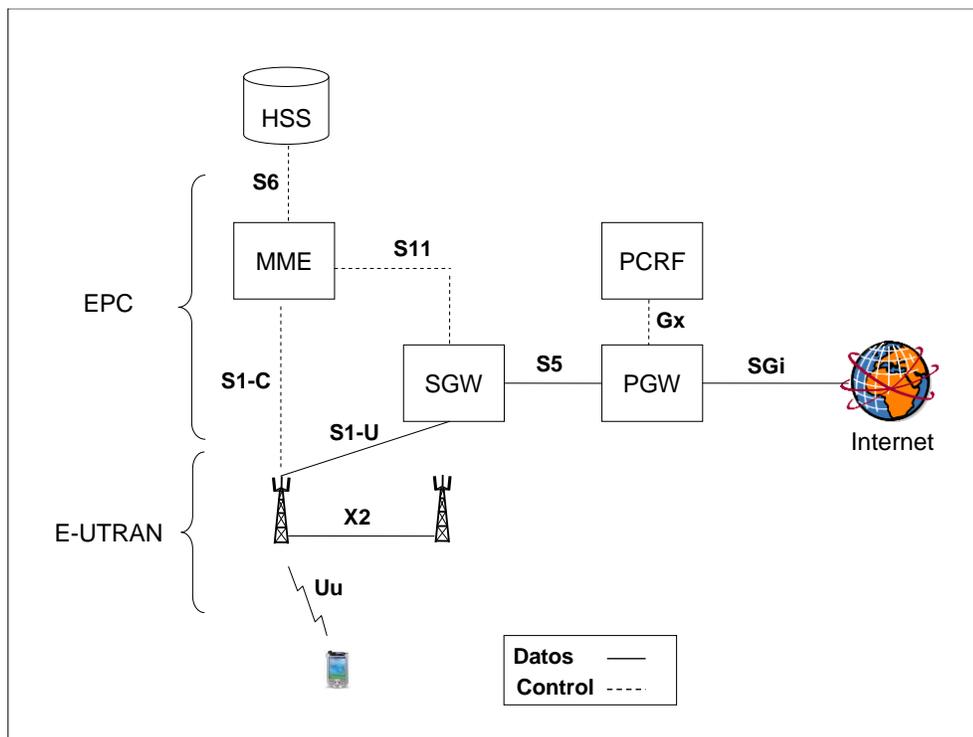


Ilustración 25: Arquitectura de una red LTE

Fuente: LTE, from Theory to Practice

Los nodos lógicos del EPC son:

- Puerta de Paquetes (P-GW).
- Puerta de Servicio (S-GW).
- Entidad de Gestión de la Movilidad (MME).
- Función de Políticas de Control y reglas de Cobro (PCRF).
- Servidor de Suscriptores (HSS).

El control de aplicaciones multimedia, tales como VoIP, es proporcionado por el Subsistema Multimedia IP (IMS), que no se considera parte del EPC.

Los nodos lógicos del core se describen a continuación:

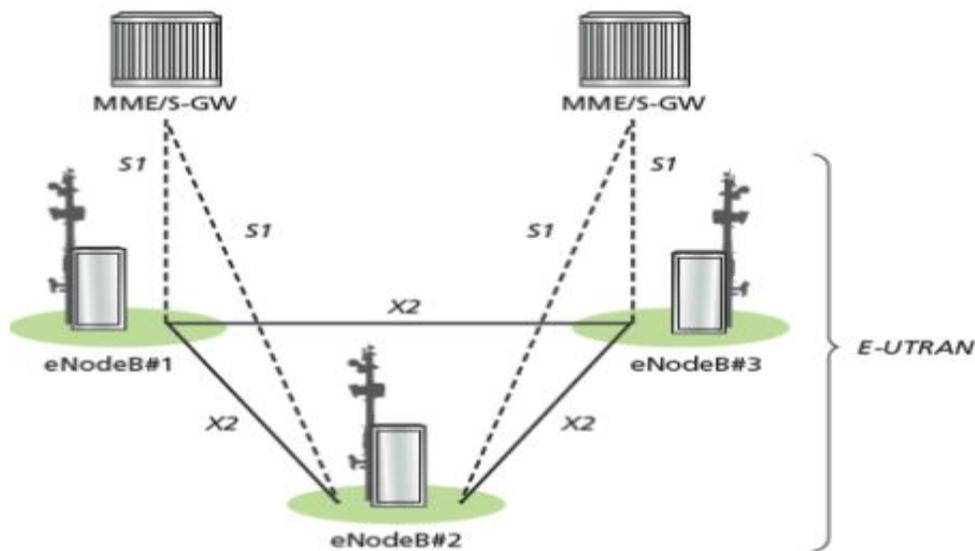
- **PCRF:** define las políticas a aplicar en las comunicaciones y las reglas de tarificación de las mismas. Las políticas hacen referencia a la cantidad de recursos de red que se asignan a los usuarios, como el ancho de banda, esto es, las características del bearer que se establece entre el terminal y el PGW. El PCRF define las políticas pero es el P-GW el que las aplica a las comunicaciones. El PCRF autoriza la calidad de servicio QoS que se aplica a una comunicación de acuerdo al perfil del usuario.



- **HSS:** Contiene el perfil de es la base de datos con la información de los suscriptores. QoS suscrito, restricciones de acceso, servicios abonados, posibilidad de roaming, información dinámica como la identidad del MME y S-GW a los que se encuentra registrado el usuario y estado del terminal. El HSS puede también integrar el centro de autenticación (AuC), que genera los vectores para la autenticación y claves de seguridad de acceso a la red.
- **P-GW:** hace el enrutamiento de los paquetes hacia su destino, es responsable de la asignación de direcciones IP al terminal, así como de aplicar la política de calidad del servicio y su tarificación de acuerdo a las reglas entregadas por el PCRF. Es responsable del filtrado de paquetes en sentido descendente del enlace hacia los usuarios, garantiza tasas de bits (GBR) para las aplicaciones que tengan esa QoS. También sirve como ancla de movilidad, cuando el terminal hace handover hacia redes de tecnologías no 3GPP tales como CDMA2000 y Wimax. La funcionalidad de “ancla” significa que el P-GW esconde la movilidad del terminal para que los aplicativos vean un punto fijo.
- **S-GW:** Sirve a un grupo de eNodeB recibiendo datos de usuario y transfiriéndolos hacia el P-GW. El S-GW sirve como ancla de movilidad local cuando el terminal se mueve entre eNodeB ocultando dicha movilidad. También sirve de ancla cuando el terminal hace handover hacia otras redes 3GPP como GPRS o UMTS. Cuando el terminal pasa al estado de reposo, después de una comunicación, y nuevos datos necesitan ser enviados por la red al terminal, el S-GW almacena temporalmente estos datos mientras el MME inicia el paging del terminal para restablecer las portadoras con éste. Además, la S-GW realiza algunas funciones administrativas en la red visitada, tales como la recopilación de información para la tarificación (por ejemplo, el volumen de datos enviados o recibidos por el usuario) y la interceptación legal.
- **MME:** Maneja el plano de control. Procesa la señalización intercambiada entre el terminal y la red. Los protocolos que funcionan entre el terminal y el MME se conocen como los protocolos NAS (No Access Stratum).

#### 4.5.7.2 Acceso

La red de acceso de LTE, E-UTRAN, es plana y simple ya que está compuesta únicamente de estaciones base llamadas eNodeB, como se ilustra en la siguiente figura:



**Ilustración 26 Red de Acceso LTE**  
Fuente Alcatel Lucent<sup>120</sup>

Los eNodeB son los responsables de atender los terminales vía radio y ofrecer los servicios a los usuarios de la red RNT. Se comunican con 2 nodos del core: el S-GW para intercambiar datos de usuario y el MME para intercambiar señales de control. El eNodeB gestiona los recursos de radio y los asigna dinámicamente a los terminales de acuerdo a las necesidades de las aplicaciones y a las instrucciones recibidas del PCRF vía toda la red, esto permite que se cumpla con la calidad de servicio de extremo a extremo.

Los eNodeB se comunican entre ellos por medio de la interfaz X2. El objetivo principal de esta comunicación es intercambiar señales de control para cumplir con varias funciones:

- Coordinar el handover.
- Balancear la carga de tráfico entre las celdas.
- Disminuir las interferencias (los usuarios que se encuentran en el borde de la celda utilizan sub-portadoras diferentes a los que usan la celda vecina).
- Desarrollar la característica SON (Optimización Automática de Red).

La característica SON permite que la red LTE haga optimización de RF automáticamente: Si una nueva celda es agregada a la red, las celdas vecinas la detectan, acomodan sus patrones de radiación y asignación de sub-portadoras para disminuir las interferencias, actualizan sus

<sup>120</sup> The LTE Network Architecture - A comprehensive tutorial, Alcatel Lucent. 2009



listas de celdas vecinas para realizar el handover. Así mismo, cuando una celda desaparece, por daño físico por ejemplo, las celdas vecinas se comunican entre ellas por el X2 para tratar de cubrir la zona oscura dejada por la celda fuera de servicio.

En algunas ocasiones la interfaz X2 puede llevar datos de usuario, cuando ocurre un handover y el eNodeB origen no alcanzó a entregar al terminal todos los datos recibidos del S-GW, se los envía al eNodeB destino por la interfaz X2, lo cual evita que el S-GW deba enviar de nuevo esta información al eNodeB destino.

El eNodeB cumple otras funciones como la compresión de la cabecera del paquete IP, lo cual optimiza las comunicaciones de voz principalmente, ya que estos paquetes tienen un tamaño pequeño y una cadencia constante, y garantiza la seguridad de la información, ya que todos los paquetes enviados y recibidos por la interfaz de radio están cifrados entre el terminal y el eNodeB.

El eNodeB está compuesto normalmente por varios sectores o celdas, cada uno compuesto por un transmisor/receptor de RF. Esto permite mejorar la cobertura, al usarse antenas directivas, y aumentar la capacidad de la red, ya que cada celda puede atender diferentes usuarios y ofrecer nuevo ancho de banda.

Normalmente el eNodeB está conectado a más de una pareja MME/S-GW como lo muestra la figura anterior. Esto aumenta la disponibilidad de la red. Las redes anteriores tienen controladoras de estaciones base y todas las estaciones se comunican en estrella con una única controladora, lo cual constituye un posible punto de falla.

#### **4.5.7.3 Interconexión**

LTE ha diseñado un sistema capaz de mejorar significativamente la experiencia del usuario con total movilidad, utilizando el protocolo de Internet (IP) para establecer cualquier tipo de tráfico de datos de extremo a extremo con una buena calidad de servicio (QoS), incluyendo el tráfico de voz (VoIP), lo que permite una mejor integración con otros servicios multimedia. Así, con LTE se espera soportar diferentes tipos de servicios incluyendo la navegación web, FTP, vídeo streaming, Voz sobre IP, juegos en línea, vídeo en tiempo real, pulsar para hablar (push-to-talk) y pulsar para ver (Push-to-view).

Adicionalmente, LTE permite la coexistencia con las generaciones anteriores de las tecnologías móviles y fijas.



#### 4.5.8 Administración

LTE cuenta con las herramientas necesarias para realizar una administración y gestión eficiente de la Red en forma remota y/o centralizada, aumentando la productividad y reduciendo los costos de inversión y operación.

#### 4.5.9 Servicios

##### 4.5.9.1 Voz

Voice over LTE (VoLTE) se basa en las especificaciones del IMS, adoptando esta solución para integrar una suite de aplicaciones. Para proveer el servicio VoLTE se deben definir tres interfaces como:

- User Network Interface (UNI): Esta interfaz está localizada entre el equipo del usuario y el operador de red.
- Roaming Network to Network Interface (R-NNI): Es una interfaz entre la operadora Local y en la que se realizara el Roaming.
- Interconnect Network to Network Interface (I-NNI): La interfaz entre operadoras que requieren establecer un canal de voz.

##### 4.5.9.2 Datos/Multimedia

LTE soporta diferentes tipos de servicios de transferencia de datos y multimedia incluyendo la navegación web, juegos en línea, vídeo en tiempo real, pulsar para hablar (push-to-talk) y pulsar para ver (push-to-view).

#### 4.5.10 Terminales

De acuerdo a la GSA (Global Mobile Suppliers Association) a Enero de 2013 existen 145 redes comerciales en servicio en el mundo, 97 de las cuales fueron lanzadas en el 2012. La GSA prevé que al fin del 2013 habrá un total de 234 redes operativas en 83 países. Un total de 330 operadores en 104 países están comprometidos con LTE.

Por otra parte, al 2 de noviembre de 2012 hay 512 tipos de terminales LTE en el mundo lo que representa un crecimiento del 164% frente a los 197 que existían un año atrás y del 23% en relación al 3 de julio del año 2012. Los dispositivos son producidos por un total de 79 fabricantes.



A partir del 15 de Enero de 2013 el 3GPP<sup>121</sup>, inicio la actualización de especificaciones de los Equipos de Usuario de alta potencia para Redes de banda ancha de Seguridad Pública en la banda 14 (Región 2).

#### 4.5.11 Estandarización, Madurez y Futuro de la Tecnología

LTE es una tecnología emergente con un “Roadmap” definido por la UIT y 3GPP con cronograma establecido para el desarrollo de las recomendaciones acerca de LTE.

El 3GPP prevé lanzar en el 2014 el Release 12 de LTE, para que las primeras redes comerciales aparezcan en el 2016 y su masificación empiece a partir del año 2020. La orientación del Rel.12 es dar mayor capacidad a las redes, en razón a que el tráfico de datos seguirá aumentando de forma exponencial por la aparición de las tabletas, nuevos aplicativos y la computación en la nube.

El 3GPP desarrolla la estandarización de las redes de seguridad pública y emergencias con base al estándar LTE bajo el Release 12, en tres etapas que se presentan a continuación:

Stage Number	Description	Planned Release 12 Freezing Date (as at January 2013)
1	Requirements	March 2013
2	Architecture and system design	December 2013
3	Protocol development and solution implementation	June 2014

**Tabla 10 Etapas del Desarrollo del Estándar LTE Rel.12 para Redes PPDR**

Fuente: 3GPP<sup>40</sup>

Paralelamente, el 3GPP identificó tres áreas claves específicas de trabajo en aspectos comerciales y regulatorios para LTE Release 12, que permitirán al estándar LTE cumplir con los requerimientos de una red PPDR y que ya han empezado a documentarse:

<sup>121</sup> 3GPP News. Enero 2013. <http://www.3gpp.org/Public-Safety>



Work Item	3GPP Release	Work Item Document Reference
Proximity-based Services Specification (ProSe)	12	SP-120883 [4]
Group Communication System Enablers for LTE (GCSE_LTE)	12	SP-120876 [5]
Public Safety Broadband High Power User Equipment for Band 14 for Region 2	11	RP-120362 [6]

**Tabla 11 Áreas Claves de Trabajo para LTE en Redes PPDR**  
Fuente: 3GPP<sup>40</sup>

## 4.5.12 Costos Referenciales

### 4.5.12.1 Radio Bases

El Grupo Consultor obtuvo información referencial de US\$40.000 por Radio base configurada y redundante completa, sin embargo tenemos conocimiento de negociaciones hechas entre los proveedores y operadores nacionales del orden de US\$20.000.

### 4.5.12.2 Terminales

El Grupo Consultor obtuvo información referencial de terminales desde US\$150 por terminal.

## 4.5.13 Ventajas y desventajas

El estándar para comunicaciones LTE será posiblemente uno de los más utilizados a corto plazo, debido a que la plataforma ofrece una gran cantidad de ventajas para los usuarios:

- LTE proporciona velocidades máximas de bajada alrededor de 100 Mbps, mientras que una subida ronda en 50 Mbps.
- La plataforma se basa en la escalabilidad del ancho de banda, soportando frecuencias que van desde los 1,4 MHz a los 20 MHz, además de ser compatible con los sistemas FDD y TDD.
- Una buena parte del estándar LTE reside en el SAE, una arquitectura basada en la red que permite reemplazar el núcleo de GPRS y de esta manera asegurar a los usuarios el soporte necesario para la movilidad y la compatibilidad entre los sistemas.
- Alto rendimiento y baja latencia. Además en la misma plataforma se dispone del sistema plug and play, FDD y TDD, lo que sin duda ofrece una experiencia realmente mejorada para el usuario. Todo esto basado en una arquitectura sencilla con bajos costos de operación.



- Soporte necesario para que las redes móviles de tecnologías anteriores puedan pasar a utilizar este estándar, tales como aquellos que hoy utilizan GSM, CDMA One, UMTS y CDMA2000.

#### Desventajas:

- Los servicios de voz sobre LTE, con calidad y posibilidad de servicios adicionales que son utilizados para las redes de emergencia, se encuentra en período de implementación.
- Las terminales dedicadas con funciones especiales para redes de emergencia, se encuentran en desarrollo y se estima su liberación para el primer semestre del 2013. En USA ya existen redes VoLTE con IMS, pero el tema está inmaduro por los terminales.

## **4.6 MATRIZ DE CALIFICACIÓN**

De acuerdo a los requerimientos del pliego se hizo un análisis comparativo entre las tres tecnologías seleccionadas para la nueva red RNTE, de acuerdo a los parámetros requeridos por el MINISTERIO:

- 1) Cobertura geográfica.
- 2) Características propias de la tecnología.
- 3) Disponibilidad de bandas de frecuencias en Colombia para soluciones disponibles comercialmente.
- 4) Tipos de servicios soportados (Voz, datos de banda angosta, datos de banda ancha, video).
- 5) Características de redundancia disponibles en la tecnología.
- 6) Facilidades para configuración de diferentes tipos de usuarios.
- 7) Funcionalidades disponibles en herramientas de gestión.
- 8) Facilidades de Administración y Operación de la red.
- 9) Implicaciones normativas de la tecnología.
- 10) Facilidades de interconexión con otras redes.
- 11) Eficiencia espectral.



- 12) Grado de estandarización de la tecnología.
- 13) Grado de madurez de la tecnología.
- 14) Roadmap de la tecnología.
- 15) Análisis de costos asociado a estaciones base.
- 16) Análisis de costos asociado a equipos terminales Análisis de costos asociado a otros elementos que hagan parte de la solución.

La calificación solicitada es ALTO, MEDIO, BAJO. Para determinar este valor se hizo un análisis por cada uno de los parámetros a analizar y se determinó, a que calificación corresponde en cada uno de estos parámetros calificables.

Para hacer el análisis el Grupo Consultor tomó como base, la documentación entregada por los representantes de los fabricantes, la información investigada por el Grupo Consultor a través de internet en las páginas de los fabricantes, estudios realizados al respecto de estas tecnologías, implementaciones que se han realizado en otros países y en algunos casos simulaciones a través del software contratado por el Consorcio ITELCA-STI.

El Grupo Consultor ha realizado reuniones con los siguientes proveedores:

- Motorola: P-25, TETRA, LTE.
- Asecones: Cellcast Technologies.
- Alcatel-Lucent: LTE.
- Huawei: LTE.
- Energía integral Andina: eVigilo - Mensajes de texto masivos y sistemas de emergencia.
- Ericsson: LTE.
- Albetia Systemas S.A - BroadBand Wireless Solutions: Wimax y servicios de ingeniería.
- Tackyon: Análisis de las bandas de frecuencia.
- Teltronic: TETRA.
- ZTE: LTE.



#### 4.6.1 Metodología de Calificación

En una calificación de 1 a 5, se determinó que ALTO corresponde a 5, MEDIO 3,5 y BAJO 2, para dar una ponderación y una calificación final.

En cada uno de los parámetros, la calificación se hará de la siguiente manera:

##### 1) Cobertura geográfica

De acuerdo al análisis de las especificaciones técnicas, de las implementaciones existentes, se definió que la calificación se dará de la siguiente manera:

ALTO: Mayor cobertura en Km<sup>2</sup>.

MEDIO: Cobertura media en Km<sup>2</sup>.

BAJO: Menor cobertura en Km<sup>2</sup>.

Se hizo la siguiente simulación:

En una misma ubicación, bajo igualdad de condiciones, con el máximo de potencia soportada por la tecnología, en las mismas bandas de frecuencia y con las características de cada tecnología:

TECNOLOGÍA	UBICACIÓN	Ciudad	POTENCIA W	BANDA DE FRECUENCIAS MHz	TIPO DE ANTENA	GANANCIA DE ANTENA	PORTADORAS
P 25	Cerro Suba	Bogotá	100	435-524	Omni	10 dBd	
TETRA	Cerro Suba	Bogotá	50	380-430	Omni	6.5 dBd	
LTE opción 1	Cerro Suba	Bogotá	40	380-430	Sectorial	12 dBi	3 MHz
LTE opción 2	Cerro Suba	Bogotá	40	821-824 866-869	Sectorial	15 dBi	3 MHz

**Tabla 12 Tabla de parámetros de simulación**

Fuente: Grupo Consultor

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

Nivel, dBm	P25	TETRA	LTE 400	LTE 800
-75	1150,0	740,2	662,4	366,3
-85	928,4	976,2	648,1	640,9
-95	800,0	864,8	479,3	500,8
-100	387,7	386,1		
-105			704,0	520,0
<b>Total Km2</b>	<b>3266,1</b>	<b>2967,3</b>	<b>2493,8</b>	<b>2028,0</b>

**Tabla 13 Resultado de simulación de cobertura desde Cerro Suba, con las diferentes tecnologías**

Fuente: Grupo Consultor



## 2) Características propias de la tecnología

Se tendrán en cuenta las siguientes características: Análogo/digital, tiempo de establecimiento de la llamada, seguridad, número de canales, usuarios por radio-base, eficiencia, escalabilidad, inter-operatividad, disponibilidad entre otros:

ALTA: Mejor rendimiento en todas las características.

MEDIA: Rendimiento medio en las características.

BAJO: Menor rendimiento en las características.

## 3) Disponibilidad de bandas de frecuencias en Colombia para soluciones disponibles comercialmente

Frecuencias de la tecnología contra Plan Nacional de Asignación y atribución de frecuencias de Colombia, con esto medimos el grado de dificultad para asignación de frecuencias con base a la disponibilidad y cantidad de usuarios en las bandas de frecuencia.

ALTA: Disponibilidad alta de frecuencias.

MEDIA: Disponibilidad media de frecuencias.

BAJA: Disponibilidad baja de frecuencias.

## 4) Tipos de servicios soportados (Voz, datos de banda angosta, datos de banda ancha, video)

Servicios soportados:

ALTA: Banda ancha, banda angosta y voz.

MEDIA: Banda angosta y voz.

BAJA: Solo voz.

## 5) Características de redundancia disponibles en la tecnología: Redundancia en repetidor o estación base y/ Core.

ALTO: 1+1.

BAJO: 1+0.

## 6) Facilidades para configuración de diferentes tipos de usuarios: Cantidad de tipos usuarios y servicios por usuarios, grupos de usuarios y prioridades.

ALTO: Flexibilidad en configurar todos los servicios.



MEDIO: Flexibilidad de configurar algunos de los servicios.

BAJO: Flexibilidad de configurar servicios básicos.

**7) Funcionalidades disponibles en herramientas de gestión:** Cumplimiento de la recomendación UIT-R M.1168, que debe incluir:

- Gestión de Calidad de Servicio.
- Gestión de Usuarios.
- Gestión de Seguridad.
- Gestión de Calidad del Funcionamiento.
- Gestión de Configuración del Sistema.
- Gestión del Mantenimiento.

ALTO: Cumple con todas.

MEDIO: Cumple a medias o con algunas.

BAJO: No cumple.

**8) Facilidades de Administración y Operación de la red:** Gestión remota, centralizada y en sitio

ALTO: Gestión remota vía web, centralizada y en sitio.

MEDIO: Gestión remota y en sitio.

BAJO: Gestión en sitio.

**9) Implicaciones normativas de la tecnología:** Administración del espectro, niveles permitidos de potencia irradiada, PIRE.

ALTO: Cumple.

BAJO: No cumple.

**10) Facilidades de interconexión con otras redes:** Tipos de interfaces, con redes existentes y futuras.

ALTO: Uso de interfaces estándares y abiertas.



MEDIO: Uso de interfaces estándar y cerradas/ abiertas.

BAJO: Uso de interfaces cerradas.

**11) Eficiencia espectral:** Reutilización de espectro. Cuantos por 1 canal.

ALTO: Mayor de 4.

MEDIO: Entre 2 y 4.

BAJO: Menor de 2.

**12) Grado de estandarización de la tecnología:** Cumplimiento con los estándares UIT, Internacional, ETSI, Internacional, FCC, Dimensión Nacional, IEEE Dimensión Nacional, 3GPP Especificaciones – Internacional.

ALTO: Cumple con estándares internacionales.

MEDIO: Cumple con estándares regionales.

BAJO: No cumple con estándares.

**13) Grado de madurez de la tecnología:** Emergente - en desarrollo, establecida, declinando.

ALTO: Establecida.

MEDIO: Emergente.

BAJO: En desarrollo o declinando.

**14) Roadmap de la tecnología:** Mediano plazo 4-6 años, Largo Plazo 6-12 años.

ALTO: Largo plazo.

MEDIO: Mediano Plazo.

BAJO: Saliendo del mercado.

**15) Análisis de costos asociado a estaciones base:** Costo de referencia dado por los proveedores.

ALTO: Menor costo de referencia.

MEDIO: Medio costo de referencia.

BAJO: Mayor costo de referencia.

**16) Análisis de costos asociado a equipos terminales:** Costo de referencia dado por los proveedores.



ALTO: Menor costo de referencia.

MEDIO: Medio costo de referencia.

BAJO: Mayor costo de referencia.

#### 4.6.2 Matriz Comparativa

La siguiente tabla muestra el resumen de la calificación dada de acuerdo al criterio de expertos del Grupo Consultor.

	CARACTERÍSTICAS A ANALIZAR	CALIFICACIÓN NOMINAL POR TECNOLOGÍA			CALIFICACION NUMERICA POR TECNOLOGÍAS		
		P-25	TETRA	LTE	P-25	TETRA	LTE
1	Cobertura geográfica obtenida con soluciones disponibles comercialmente	ALTO	MEDIO	BAJO	5	3,5	2
2	Características propias de la tecnología	MEDIO	MEDIO	ALTO	3,5	3,5	5
3	Disponibilidad de bandas de frecuencias en Colombia para soluciones disponibles comercialmente	MEDIO	MEDIO	MEDIO	3,5	3,5	3,5
4	Tipos de servicios soportados (Voz, datos de banda angosta, datos de banda ancha, video)	BAJO	MEDIO	ALTO	2	3,5	5
5	Características de redundancia disponibles en la tecnología	ALTO	ALTO	ALTO	5	5	5
6	Facilidades para configuración de diferentes tipos de usuarios	MEDIO	MEDIO	ALTO	3,5	3,5	5
7	Funcionalidades disponibles en herramientas de gestión	MEDIO	ALTO	ALTO	3,5	5	5
8	Facilidades de Administración y Operación de la red	MEDIO	MEDIO	ALTO	3,5	3,5	5
9	Implicaciones normativas de la tecnología	ALTO	ALTO	ALTO	5	5	5
10	Facilidades de interconexión con otras redes	MEDIO	MEDIO	ALTO	3,5	3,5	5
11	Eficiencia espectral	BAJO	MEDIO	ALTO	2	3,5	5
12	Grado de estandarización de la tecnología	MEDIO	MEDIO	MEDIO	3,5	3,5	3,5
13	Grado de madurez de la tecnología	ALTO	ALTO	MEDIO	5	5	3,5
14	Roadmap de la tecnología	MEDIO	MEDIO	ALTO	3,5	3,5	5
15	Análisis de costos asociado a estaciones base	BAJO	MEDIO	ALTO	2	3,5	5
16	Análisis de costos asociado a equipos terminales Análisis de costos asociado a otros elementos que hagan parte de la solución	BAJO	MEDIO	ALTO	2	3,5	5
<b>CALIFICACIÓN PROMEDIO POR TECNOLOGÍA</b>					<b>3,50</b>	<b>3,88</b>	<b>4,53</b>

Tabla 14: Matriz de Comparación de Tecnologías

Fuente: Grupo Consultor

## 4.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TECNOLOGÍA

- Las tecnología P-25 y TETRA, son tecnologías tipo troncalizado, bastante similares, con algunas desventajas de una que son contra-restadas por ventajas de la otra. Por ejemplo P-25 permite una mayor cobertura, por su manejo de potencia; TETRA puede



manejar mayor cantidad de usuarios y tiene un mejor manejo espectral. La decisión aquí depende de que es más importante: la cobertura o la cantidad de usuarios y el manejo de tráfico.

- La tecnología P-25 tiene un buen despliegue a nivel nacional, especialmente en los sistemas de seguridad nacional (Policía, Ejército). En Bogotá es utilizada en la red metropolitana de emergencia por Policía, Bomberos y FOPAE. Sin embargo los costos de inversión e implementación de este tipo de redes es bastante más alto, que las otras tecnologías analizadas.
- Ambas tecnologías, P-25 y TETRA, son tecnologías robustas, probadas, maduras, confiables, redundantes, de alta disponibilidad.
- La principal desventaja de estas tecnologías es que solo trabajan con banda angosta para datos. Una foto, un video, puede significar la toma de decisión adecuada, salvar una vida. El buen manejo de la información y los datos en línea es de vital importancia para la toma de decisiones, actividades preventivas, actuación ante cualquier evento, etc.
- La tecnología LTE, se encuentra en un período de desarrollo e implementación, existen aproximadamente 100 redes de diferentes operadores en el mundo y han empezado a implementarse redes LTE para sistemas de emergencia, en Estados Unidos en distintas ciudades, Sao Pablo - Brasil y Australia, con muy buenos resultados, y con costos inferiores a las implementaciones en redes TETRA o P-25.
- Los acontecimientos más recientes indican que el estándar de LTE para redes de emergencia estará disponible para mediados del año 2014 por parte del 3GPP, los países desarrollados están haciendo sus inversiones en desarrollo e implementación PPDR sobre redes LTE, por varias razones: nuevas aplicaciones, facilidades de uso, menores costos, itinerancia con redes existentes, uso de terminales inteligentes.
- La capacidad de manejo de servicios de datos y multimedia, nuevas tecnologías, estándares internacionales, facilidades y menores costos es lo que da una mejor calificación a la tecnología LTE.

En criterio del Grupo Consultor la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia que necesita el país es una red mixta, que incluya diferentes tecnologías, LTE para la nueva red que sea el centro y unión de la red, con la inclusión de las redes de los operadores existentes con exigencias de tipo regulatorio y las actuales redes VHF y HF de las entidades que conforman el SNGRD.



## 5 PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIA

Para definir y proponer la banda de espectro de frecuencia a ser utilizada por la RNTE, es necesario entender y conocer el contexto internacional que dispone y resuelve las condiciones del uso del espectro radioeléctrico en el mundo.

A nivel internacional la UIT-R ha definido los requerimientos de las redes de telecomunicaciones de emergencia y operaciones de socorro. La resolución UIT-R 646 revisada en la CMR-12 estipula en los siguientes literales del considerando, lo siguiente:<sup>122</sup>

*“c) Que las necesidades de telecomunicaciones y radiocomunicaciones de las instituciones y organizaciones encargadas de la protección pública, con inclusión de las encargadas de las situaciones de **emergencia y de las operaciones de socorro**, que son vitales para el mantenimiento del orden público, la protección de vidas y bienes, y la intervención ante situaciones de emergencia y operaciones de socorro, son cada vez mayores;*

*d) Que muchas administraciones desean promover la interoperabilidad y el interfuncionamiento entre sistemas utilizados para la protección pública y las operaciones de socorro, tanto a nivel nacional como trasfronterizas, en situaciones de emergencia y operaciones de socorro;*

*e) Que las actuales aplicaciones de protección pública y operaciones de socorro son en su mayoría aplicaciones en banda estrecha que soportan telefonía y datos en baja velocidad, generalmente en anchuras de banda de canal de 25 kHz o inferiores;*

*f) Que aunque continuarán los requerimientos de banda estrecha, muchas aplicaciones futuras serán de banda amplia (velocidades de datos indicativas del orden de 384-500 kbit/s) y/o de banda ancha (velocidades de datos indicativas del orden de 1-100 Mbit/s) con anchuras de banda de canal que dependerán de las eficiencias espectrales de las tecnologías utilizadas.*

*g) Que diversas organizaciones de normalización están desarrollando nuevas tecnologías para aplicaciones de protección pública y operaciones de socorro de banda amplia y banda ancha;*

*h) Que el continuo desarrollo de nuevas tecnologías tales como las IMT-2000 y los sistemas posteriores, así como los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) pueden apoyar o complementar las aplicaciones avanzadas de protección pública y operaciones de socorro;*

---

<sup>122</sup> ITU-R Resolution 646 – 2003, Rev.WRC 12, May, 2012, Ginebra Suiza



*i) Que algunos sistemas comerciales terrenales y de satélites complementan a los sistemas especializados en apoyo de la protección pública y las operaciones de socorro y que la utilización de soluciones comerciales sería la respuesta al desarrollo de la tecnología y a las demandas del mercado y que esto podría afectar al espectro requerido para la protección pública y las operaciones de socorro y las redes comerciales;”*

El informe UIT-R M.2033<sup>123</sup> indica en el numeral 3, lo siguiente:

*“Armonización del Espectro: Algunos países ya están utilizando cantidades importantes de espectro en diversas bandas para aplicaciones PPDR de banda estrecha, por lo que conviene subrayar la necesidad de contar con una capacidad de espectro suficiente para dar respuesta a las futuras necesidades operacionales incluidas las aplicaciones de banda estrecha, las de banda amplia y las de banda ancha. La experiencia demuestra que la armonización aporta beneficios entre los que se encuentran las ventajas de orden económico, el desarrollo de redes compatibles y de servicios eficaces y el fomento del interfuncionamiento de equipos, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, para las agencias que requieren cooperación nacional y transfronteriza con otras agencias y organizaciones de PPDR. Más concretamente, algunos de los beneficios potenciales serían los siguientes:*

- *Economías de escala en la fabricación de equipos;*
- *Mercado competitivo para la adquisición de equipos;*
- *Mayor eficacia espectral;*
- *Estabilidad en la planificación de bandas, es decir, evolución a esquemas espectrales armonizados mundial/regionalmente que puede contribuir a la eficaz planificación del espectro móvil terrestre;*
- *Mayor eficacia en la respuesta de las operaciones de socorro.*

*En el estudio de las frecuencias adecuadas para la PPDR, debe tenerse en cuenta que las características de propagación de las frecuencias inferiores les permite alcanzar mayores distancias que las frecuencias superiores y por este motivo los sistemas de baja frecuencia son potencialmente más asequibles para el despliegue en zonas rurales. Las bajas frecuencias resultan asimismo más convenientes en entornos urbanos por su mayor penetración en los edificios. No obstante, estas frecuencias inferiores han llegado a saturarse con el tiempo y para evitar su congestión, algunas administraciones utilizan ahora varias bandas de frecuencias en diversas partes del espectro radioeléctrico.”*

---

<sup>123</sup> INFORME UIT-R M.2033, Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro, 2003, Ginebra, Suiza



De las anteriores consideraciones de la UIT-R se puede concluir lo siguiente:

- Las redes PPDR tienen requerimientos tanto de banda estrecha como de banda ancha.
- El espectro para las redes PPDR debe armonizarse para obtener economías de escala y mercados competitivos en la fabricación de equipos, obtener mayor eficacia espectral y una planificación estable.

## 5.1 FACTORES PARA SELECCIONAR LAS BANDAS PPDR

Unas de las principales características de las redes de emergencia y desastres son su amplia cobertura, la cantidad relativamente pequeña de usuarios de estas redes y los pocos recursos con los que se cuentan para su despliegue, operación y mantenimiento. Por ello, la comunidad internacional está examinando y seleccionando frecuencias del espectro por debajo de 1 GHz en razón a que estas frecuencias poseen características de propagación que permiten alcanzar mayores cubrimientos conformando celdas de gran cobertura.

En general, cuando se duplica la frecuencia, el número de estaciones base requerida se cuadruplica; por ello cuando se utiliza la banda de 450 MHz, el potencial de ahorro en los costos de inversión o CAPEX es muy alto frente a usar bandas de frecuencias más altas. Por ejemplo, si en lugar de usar la banda de 450 MHz usamos la de 850 MHz, el número de radio-bases es 2,8 veces más grandes en esta última banda, lo que incrementa el CAPEX aproximadamente en la misma proporción, es decir el CAPEX en la banda de 850 MHz para atender un área determinada es cerca de tres veces más alto que si se desarrollara con la banda de 450 MHz.

En la siguiente tabla se muestra los valores teóricos de los radios de alcance de las celdas, el área que cubren y el número de radiobases que se estima se requieren para cubrir la misma área en diferentes bandas de frecuencia teniendo como referencia la banda de 450 MHz, en un área urbana que corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y una gran concentración de casas. Para los cálculos no se estima la banda VHF en razón a que la única tecnología de las estudiadas que opera en esta banda de frecuencia es P.25 y de que en esta banda se presenta alta interferencia. Adicionalmente el Grupo Consultor tampoco cuenta con información acerca de la ocupación de la banda, en el país.

Área Urbana			
Banda	Radio de la Celda	Área de la Celda (Km2)	Celdas relativas
150 MHz	5,3	88,2	0,5
450 MHz	3,8	44,2	1
700 MHz	2,7	23,5	1,9
850 MHz	2,26	16,0	2,8
1900 MHz	1,01	3,2	13,8



Área Urbana			
Banda	Radio de la Celda	Área de la Celda (Km2)	Celdas relativas
AWS	1,07	3,6	12,3
2600 MHz	0,74	1,7	25,7

**Tabla 15 Alcance de las Radio base en Diferentes Bandas de Frecuencia en Área Urbana**

Fuente: Electrical Engineering and Computer Science UC Berkeley<sup>124</sup> complementada por el Grupo Consultor

El área cubierta por una radio-base en la banda de 450 MHz para un terreno urbano es de 44,2 Km<sup>2</sup>; para cubrir la misma área en la banda de 700 MHz se requieren casi dos radio-bases y en la banda de 850 MHz se requeriría de casi tres celdas, lo que aumenta los costos de infraestructura en la misma proporción, más radio-bases con su respectiva infraestructura de torres, alimentación, adicionalmente más enlaces de backhaul, mayor capacidad de los enrutadores de concentración, etc.

A continuación se muestra en una tabla y en un diagrama de barras, el alcance de la celda en kilómetros para diferentes perfiles del terreno: Urbano Denso, Urbano, Suburbano en interiores y exteriores de edificaciones, dentro de un automóvil en zonas rurales y para mantener una comunicación de datos bidireccional de 128 Kbps, se seleccionaron las bandas de frecuencias en las que trabajan las tecnologías analizadas.

Banda	Radio de la celda en Kilómetros				
	Urbano Denso PS 128	Urbano PS 128	Suburbano Indoor PS 128	Suburbano Incar PS 128	Rural Incar PS 128
150 MHz	3,5	5,3	11,88	16,9	34,7
450 MHz	2,5	3,8	8,4	12,0	24,6
700 MHz	1,8	2,7	6,1	8,8	17,9
850 MHz	1,51	2,26	5,05	7,24	14,81
1900 MHz	0,68	1,01	2,26	3,1	6,34
AWS	0,72	1,07	2,4	3,29	6,73
2600 MHz	0,49	0,74	1,64	2,25	4,61

**Tabla 16 Alcance de las Celdas en Diferentes Perfiles de Terreno**

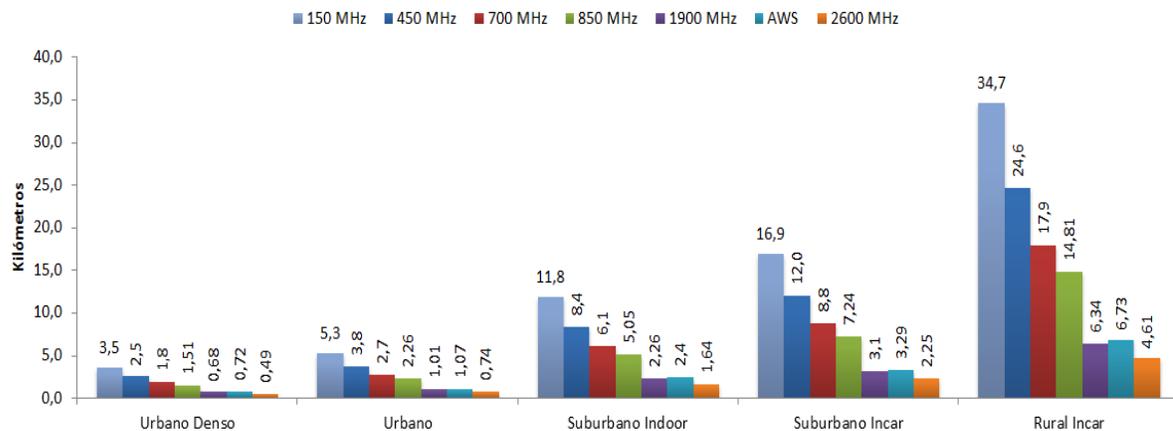
Fuente: Alcatel Lucent<sup>125</sup> Complementado por el Grupo Consultor

En ella se puede apreciar que las bandas de frecuencia más bajas tienen mayor recorrido en razón a que las frecuencias bajas pueden bordear y penetrar más los obstáculos que las frecuencias altas.

<sup>124</sup> Potential of CDMA450 for Rural Network Connectivity. Sergiu Nedeveschi, Sonesh Surana, Bowei Du, Rabin Patra, Eric Brewer, Victor Stan, Zapp Telemobil

<sup>125</sup> LTE Frequency Band Options. Alcatel Lucent. 2009

### Rango de las Celdas



**Ilustración 27 Alcance de las Celdas en Diferentes Perfiles de Terreno**  
Fuente: Alcatel Lucent<sup>44</sup> Complementado por el Grupo Consultor

El análisis anterior permite concluir que los gobiernos deben seleccionar en lo posible las bandas de frecuencia bajas para que en ellas operen las redes emergencia y vigilancia ciudadana. En general, entre más baja la frecuencia, más económica es la red.

Otro factor importante en la selección de la banda para las redes de emergencia y en general, para cualquier tipo de red es que el espectro esté armonizado, es decir que el espectro que se llegue a atribuir nacionalmente para las redes de emergencia deberá estar armonizado con el espectro identificado a nivel mundial y americano con el fin de permitir el desarrollo de economías de escala, lo que en últimas significa que haya una gran oferta comercial de equipos en la banda seleccionada para favorecerse de unos menores costos. También sería muy útil que el espectro de las redes de emergencia de banda ancha esté armonizado con las bandas comerciales con el fin de permitir la itinerancia en aquellas zonas donde por algún motivo no existan redes privadas de emergencia.

## 5.2 ¿QUÉ DICE LA UIT?

La resolución UIT-R 646 revisada en la CMR-12 resuelve en el literal dos:

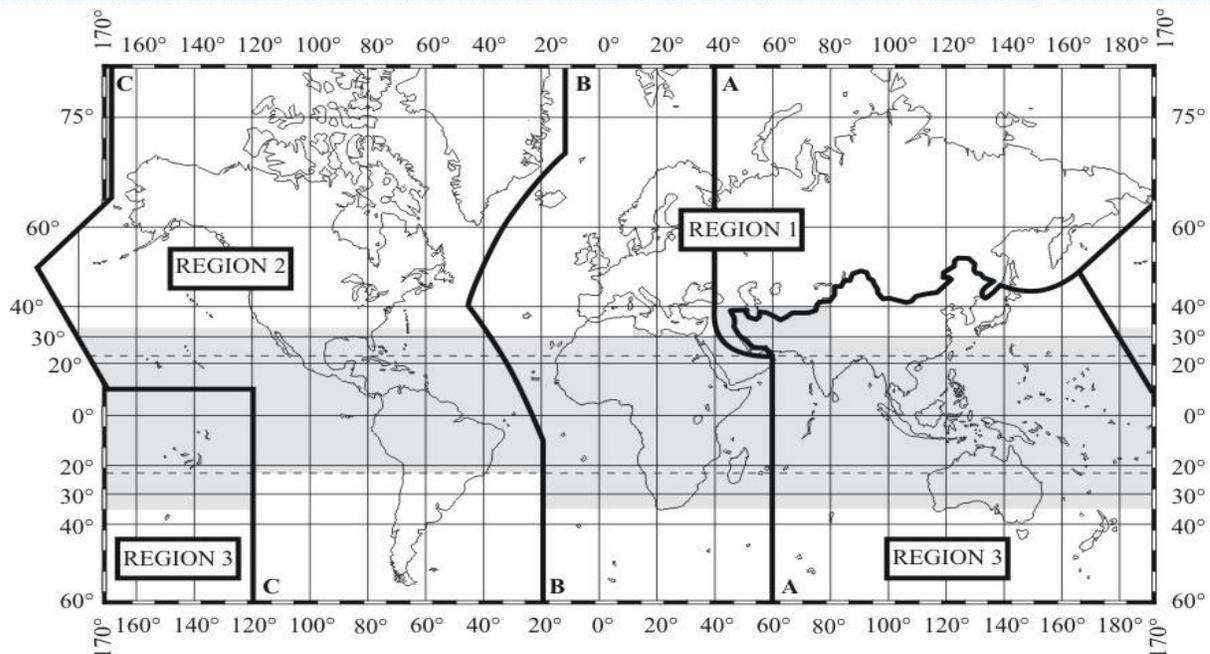
*“a fines de armonizar las bandas/gamas de frecuencia en el plano regional para ofrecer mejores soluciones para la protección pública y las operaciones de socorro, alentar a las administraciones a considerar las siguientes bandas/gamas de frecuencia identificadas, o partes de ellas, cuando emprendan su planificación nacional:*

- *En la Región 1: 380-470 MHz, como gran gama de frecuencia, dentro de la cual la banda 380-385/390-395 MHz es una banda armonizada básica preferida para las actividades*

permanentes de protección pública dentro de determinados países de la Región 1 que dieron su acuerdo;

- **En la Región 2<sup>126</sup>: 746-806 MHz, 806-869 MHz, 4.940-4.990 MHz;**
- **En la Región 3<sup>127</sup>: 406,1-430 MHz, 440-470 MHz, 806-824/851-869 MHz, 4.940-4.990 MHz y 5.850-5.925 MHz;**”

En la siguiente ilustración se observan la distribución de las regiones determinadas por la UIT. Colombia se encuentra posicionada en la Región Dos (2) por lo cual la recomendación de la UIT con respecto a las bandas de frecuencia que deberían usarse para las soluciones PPDR son 746-806 MHz, 806-869 MHz, 4.940-4.990 MHz. Sin embargo, de acuerdo a lo mencionado por la ANE, la CMR-12 dio la orden de realizar los estudios para modificar esta resolución, sin que al momento se tengan resultados al respecto.



**Ilustración 28 Regiones Definidas por la UIT**  
Fuente UIT<sup>128</sup>

<sup>126</sup> Venezuela ha identificado la banda 380-400 MHz para las aplicaciones de protección pública y las operaciones de socorro.

<sup>127</sup> Algunos países de la Región 3 también han identificado las bandas 380-400 MHz y 746-806 MHz para aplicaciones de protección pública y operaciones de socorro

<sup>128</sup> Bandas armonizadas a nivel regional: <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&link=emergency-bands&lang=es>. Recuperado el 10 de diciembre de 2012.



### 5.3 SITUACIÓN EN DIFERENTES PAÍSES

En el apartado 4.5 “Bandas para Seguridad Pública” del “Documento de Consulta Pública sobre las Consideraciones Técnicas en el Uso de la Banda del Dividendo Digital” publicado por la ANE, el 13 de Enero de 2012, se hace referencia a las bandas de **frecuencia utilizadas para Protección Pública y Operaciones de Socorro**, así:

*“El Manual de la UIT-D sobre operaciones de socorro reporta las siguientes bandas de frecuencias: 3-30, 68-88, 138-144, 148-174, 380-400 380-385/390-395 MHz, 400-430, 440-470, 764-776, 794-806, y 806-869 MHz, y que por lo tanto la cantidad de espectro necesario cada día para la protección pública puede diferir considerablemente entre los países, y que para intervenir en un desastre puede ser necesario el acceso a espectro adicional, con carácter temporal.*

*Por su parte, Estados Unidos adoptó para los servicios de seguridad pública la banda de frecuencias de 763 a 775 MHz y 793 a 805 MHz, cuyas reglas de servicio están descritas en el “700MHz Second Report and Order” del 2007.*

*La licencia de 10 MHz de espectro para comunicaciones de banda ancha en seguridad pública, correspondiente al rango de 763 – 768 MHz / 793 – 798 MHz, fue creada con el objetivo de asociarse con la sub-banda “D”, destinada a fines comerciales, de tal forma que se pudiera desplegar una red de comunicaciones como una alianza entre proveedores públicos y privados.*

*Sin embargo durante la subasta del 2008, la sub-banda D no fue otorgada, ya que ningún oferente alcanzó el precio de reserva. Por esta razón, aún se mantienen las discusiones sobre las reglas para una nueva subasta.*

*Ahora bien, en el caso de Perú, según el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias de dicho país, la banda de 380 a 400 MHz ha sido destinada para fines de seguridad pública. Asimismo, las bandas 385–386 MHz y 395–396 MHz están atribuidas para prestar servicios públicos de telecomunicaciones a título secundario, con fines de seguridad pública o de atención en situaciones de emergencia o de socorro.*

*De manera similar, otros países como México y Venezuela no tienen contemplado el uso de la banda de 700 MHz para sistemas de seguridad pública<sup>129</sup>. Por ejemplo, México está haciendo uso de las bandas 2182 KHz, 4125 KHz, 4209.5 KHz, 121.5 MHz/123.1 MHz, 148 – 174 MHz, 156.8 MHz, 380 – 406 MHz, 450 – 470 MHz, 821 – 824 MHz/ 866 MHz y 4.940 –*

<sup>129</sup> Conclusiones de las reuniones realizadas entre la ANE y delegados de COFETEL y CONATEL.



4.990 MHz<sup>130</sup> en servicios de seguridad pública, mitigación de desastres y operaciones de socorro. Por su parte, en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias de Venezuela se atribuye la banda de 4.940 a 4.990 MHz para estos fines.

En Brasil se están haciendo uso de las bandas de 381MHz, 391 MHz, 450 MHz, 800 MHz y 4.940 a 4.990 MHz<sup>131</sup>, adicionalmente se están adelantando pruebas de redes de comunicaciones para seguridad pública en la banda de 700 MHz, aunque esto no represente una posición definitiva del gobierno respecto del uso de esta banda para tales fines.”

La siguiente tabla muestra una síntesis de las bandas de frecuencias utilizadas para redes PPDR en diferentes países:

Banda Seguridad Pública	
<b>Estados Unidos</b>	763 a 775 MHz y 793 a 805 MHz
<b>Perú</b>	380-400 y las bandas 385–386 MHz y 395–396 MHz para prestar servicios públicos de telecomunicaciones a título secundario
<b>Venezuela</b>	380-400 y 4.940 a 4.990 MHz
<b>Brasil</b>	381MHz, 391 MHz, 450 MHz, 800 MHz y 4.940 a 4.990 MHz
<b>México</b>	2182 KHz, 4125 KHz, 4209.5KHz, 121.5MHz/123.1MHz, 148 – 174 MHz, 156.8 MHz, 380 – 406 MHz, 450 – 470 MHz, 821 – 824 MHz/ 866 MHz y 4.940 – 4.990 MHz
<b>Australia</b>	805-825/850-870 MHz
<b>Reino Unido</b>	380-400 MHz

**Tabla 17 Bandas de Frecuencia Utilizadas para Redes PPDR en Diferentes Países**  
Fuente: Grupo Consultor

## 5.4 REVISIÓN DE LA OCUPACIÓN DE LAS BANDAS POTENCIALES DE ATRIBUIRSE A LAS REDES PPDR EN COLOMBIA

El Grupo Consultor realizó una revisión de la ocupación de las bandas de frecuencias de acuerdo a los factores mencionados anteriormente y con el apoyo del análisis elaborado por el grupo Tachyon Consultores “Frecuencias para operación de los servicios de protección pública y operaciones de socorro (PPDR)” presentado en noviembre de 2012, pudo determinar lo siguiente:

<sup>130</sup> Información reportada por la delegación de México al punto 3.2 de la Reunión XVII del CCP II – CITEL.

<sup>131</sup> Información proporcionada por ANATEL en reuniones realizadas por la ANE.



- La banda de frecuencia de 380-385 MHz está siendo utilizada por 3.828 radios de empresas como: Gtech, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, entre otros.
- La banda de frecuencia de 385-387 MHz se encuentra prácticamente desocupada.
- La banda de frecuencia de 387-390 MHz está siendo usada por 3.107 radios de empresas como Carbones del Cerrejón, Edatel, Gtech, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga principalmente.
- La banda de frecuencia de 390-395 MHz es usada por 939 radios de las compañías: Edatel, Gtech, Ecopetrol, Emcali, Grupo TCI (Tolima), entre otras.
- La banda de frecuencia de 395-397 MHz se encuentra prácticamente desocupada.
- La banda de frecuencia de 397 a 400 MHz está prácticamente desocupada.
- La banda de frecuencia de 410-430 MHz se encuentra utilizada por aproximadamente 1.770 radios de empresas como Anditel, Cerromatoso, Edatel, Emcali, Aeronáutica Civil, Cerrejón, Telecali, Eaab, Radiotel Ltda, Ocol, Transmilenio, Gases de occidente, Radiogaleón, Compañías de seguridad, Gases de Boyacá, Empresas petroleras, FOPAE (en el canal 412,05 - 407,025 principalmente en Bogotá), Ingeominas (en aplicaciones sismología o vulcanología), entre otros.
- En la banda de frecuencia de 450-470 MHz que ha sido identificada por la UIT en el Reglamento de Radiocomunicaciones como una banda IMT, está siendo utilizada por 18.808 radios de usuarios en todo el país, entre los que se encuentran: La Policía Nacional (en los canales 467,5-469,4 y 457,5-459,4 con 3.411 radios) empresas de seguridad, cajas de compensación y empresas de transportes y de taxis. Sin embargo la sub-banda de 405-410 pareada con 420 y 425 MHz en la cual ya hay desarrollos comerciales de la tecnología LTE tiene un nivel de ocupación de 166 radios en la franja de 405-410 MHz y de 261 radios en la banda de 420-425MHz usados por FOPAE, Ingeominas, CAR, Tech América, Anditel, Gases de Boyacá, entre otros.
- La sub-banda de 450-455 MHz pareada con 460-465 MHz donde también hay desarrollos comerciales en la tecnología LTE tiene una ocupación de 12.865 radios de empresas como Ecopetrol, Holcim, Procuraduría General de la Nación, Policía Nacional, Bavaria, empresas de seguridad, entre otros.
- La sub-banda de 455-460 MHz pareada con 465-470 MHz se están utilizando por 7.519 radios de empresas como Ecopetrol, Policía Nacional, Cruz Roja, Procuraduría General de la Nación, Cerromatoso, entre otros.
- La reciente Resolución 668 del 12 de Diciembre de 2012, resuelve “*modificar el artículo 3 de la Resolución 037 del 20 de Enero de 2012 en el siguiente sentido:*”



*Al vencimiento de los plazos establecidos en la presente Resolución, se atribuye y se reserva dentro del territorio nacional, a título primario, la banda de frecuencias de 698 a 806 MHz, al servicio móvil terrestre para proveer redes y servicios de telecomunicaciones que utilicen o lleguen a utilizar las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)".*

- Las bandas de frecuencia de 806-809,75 MHz y de 851-854,75 MHz se encuentran asignadas al operador Avantel S.A para recepción y transmisión respectivamente. Adicionalmente, el operador Avantel cuenta con canales departamentales y municipales en la banda de 809,750 a 821 MHz y 854,750 a 866 MHz.
- La banda de frecuencia de 824 - 849 MHz y 869 - 894 MHz está asignada al servicio móvil para los operadores Claro y Movistar.
- La banda de frecuencia de 4940 - 4990 MHz es una banda que cuenta con atribución para servicios PPDR sin embargo es apropiada para otros usos debido a que no tiene posibilidades para prestar servicios LTE.

## **5.5 RECOMENDACIONES SOBRE LAS BANDAS DE USO POTENCIAL EN LAS REDES PPDR**

La banda de frecuencia de 450 MHz es ideal para servicios multimedia en las redes PPDR sin embargo de acuerdo a lo mencionado por la ANE<sup>132</sup> *“La banda de 450 MHz tiene una alta ocupación de redes de comunicación de empresas privadas y estatales, donde tienen desplegados sistemas punto a multipunto. En el corto plazo no es posible disponer de esta banda de frecuencias para la implementación de IMT, sin embargo el MINTIC y la ANE están adelantando los estudios necesarios para evaluar la viabilidad de migrar los operadores existentes.”*

Para la red de banda ancha de emergencias y seguridad pública el Grupo Consultor se permite sugerir las siguientes bandas de frecuencia donde hay desarrollo comercial de LTE y en especial enfocado a redes PPDR:

El Grupo Consultor encontró desarrollos de equipamiento operando en tecnología LTE en las siguientes sub-banda de frecuencia:

- 380-385 MHz pareado con 390-395 MHz
- 385-390 MHz pareado con 395-400 MHz

---

<sup>132</sup> Documento de Consulta Pública sobre las Consideraciones Técnicas en el Uso de la Banda del Dividendo Digital” publicado por la ANE, el 13 de Enero de 2012.



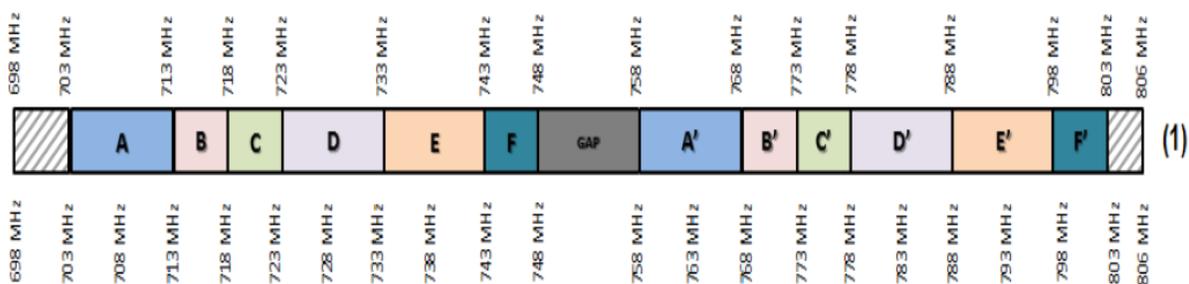
- 405-410 MHz pareada con 420-425 MHz

Las anteriores sub-bandas fueron examinadas usando la base de datos del MINTIC encontrando que la sub-banda comprendida entre 405-410 MHz pareada con 420-425 MHz tiene una baja ocupación ya que sólo operan en ella 427 radios en total, incluido el FOPAE para los cuales se podría diseñar un plan de migración muy sencillo. Sin embargo esta banda no aparece definida en el 3GPP, ni en la UIT para desarrollo en LTE; es muy posible que en próximas publicaciones, el 3GPP acoja esta banda dentro de las factibles para desarrollar LTE.

Otra alternativa viable es utilizar una porción de la banda de 700 MHz del Dividendo Digital para la implementación de redes de banda ancha PPDR. Teniendo en cuenta el primer escenario para el plan de canalización APT para sistemas FDD en la disposición A5 de la recomendación de la UIT, adaptado para Colombia que fue presentado en el “Documento de Consulta Pública sobre las Consideraciones Técnicas en el Uso de la Banda del Dividendo Digital” publicado por la ANE el 13 de Enero de 2012, que supone una combinación de 3 bloques pareados de 5 MHz y 3 bloques pareados de 10 MHz como se muestra en la Ilustración 29, atribuir un bloque pareado de 2 x 5 MHz en la banda de 700 MHz así: Bloque B (713-718 MHz) pareado con B' (768-773 MHz) para las redes PPDR por las siguientes razones:

- La banda va a ser liberada completamente.
- Las características de propagación, después de las de 450 MHz son las mejores, lo cual se traduce en ahorro en costos de despliegue de la red tanto en áreas urbanas como en áreas rurales.
- La banda de 700 MHz tiene probada penetración en edificios, lo cual es de vital importancia cuando se presentan emergencias en edificios, centros comerciales e incluso sótanos.
- Economías de escala que permitirían la reducción de costos debido a la amplia oferta de equipamiento en razón a que esta banda fue adoptada por países como Estados Unidos para redes PPDR y redes comerciales; A pesar de que Estados Unidos haya acogido otro tipo de canalización y en estos momentos no existe la economía de escala, si habilitará a fabricantes a desarrollar equipamiento especializado para operar en redes de emergencia y seguridad pública en la banda de 700 MHz con la canalización seleccionada por Colombia que es la APT ampliamente acogida mundialmente, en cuanto la adaptación técnica de los equipos es altamente factible.
- Posibilidad de contar con la itinerancia con redes comerciales que habilitaría el uso de estas redes en aquellos lugares que por alguna razón no se disponga de redes privadas de seguridad pública.

- El ancho de banda de 10 MHz para los operadores comerciales es suficiente puesto que la eficiencia espectral para LTE Advanced en release 8 es de 15 bps/Hz<sup>133</sup> en el enlace descendente, lo que permitiría tener 150 Mbps de descarga y 67,5 Mbps en el enlace ascendente. En LTE Advanced release 10, la eficiencia espectral alcanzará 30bps/Hz<sup>134</sup> lo que representará que con un ancho de banda de 10 MHz se pueda alcanzar 300 Mbps en el enlace descendente que cumple satisfactoriamente con el propósito del Dividendo Digital en las zonas rurales y apartadas del territorio nacional. Por ejemplo, actualmente dos de los operadores más grandes de Estados Unidos, Verizon tiene atribuidos 10 MHz (full dúplex) y AT&T tiene atribuidos 12 MHz (full dúplex) en la banda de 700 MHz para proveer sus servicios móviles en LTE.



**Ilustración 29: Plan de Canalización A5 adaptado para Colombia**  
Fuente ANE<sup>135</sup>

En razón a que existe un pronunciamiento de la ANE para que las redes PPDR sean implementadas en la banda de 800 MHz de acuerdo a consultorías previas realizadas para esta entidad, el Grupo Consultor sugiere adicionalmente trabajar en las bandas 810-815 MHz pareadas con las bandas 855-860 MHz que tiene una ocupación de 41.622 radios que requieren ser migrados a otras bandas para liberar completamente esta sub-banda. Esta sub-banda pertenece a la banda de frecuencia de operación 27 según el 3GPP lo que propiciará el desarrollo de tecnología LTE por varios fabricantes. Adicionalmente esta banda tiene similares características de propagación a la banda de 700 MHz y ha probado su penetración en edificios pero con alguna dificultad en los sótanos.

Igualmente es factible operar en la sub-banda de 814-819 MHz pareada con 859-864 MHz que está siendo utilizada por 23.046 radios que requieren ser migrados. Esta sub-banda pertenece a las bandas de frecuencias de operación 26 y 27 del 3GPP. Sin embargo, es importante recordar

<sup>133</sup> ETSI TS 136 104 V11.2.0 (2012-11) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 11.2.0 Release 11)

<sup>134</sup> LTE Advanced. Jeanette Wannstrom para 3GPP. Mayo 2012.

<sup>135</sup> Documento de Consulta Pública sobre las Consideraciones Técnicas en el Uso de la Banda del Dividendo Digital" publicado por la ANE, el 13 de Enero de 2012.



que en la medida que la frecuencia es mayor se tienen más pérdidas por espacio libre, obstáculos, penetración de edificios, etc.

A continuación se sintetiza en la siguiente tabla las frecuencias que el Grupo Consultor recomienda para seleccionar de ellas, las bandas para las redes de seguridad pública y de emergencias.

Tipo de Banda	Banda de Frecuencia	Alcance (Km)	Área de la Celda (Km2)	Celdas relativas	Costo Relativo de la Red	Disponibilidad de Equipos para redes PPDR	Itinerancia con redes comerciales	Nivel de Ocupación Absoluta	Nivel de Ocupación Relativo
<b>Banda Estrecha</b>									
<b>UHF</b>	385-387MHz 395-397MHz	4,99	78,2	0,75		Alta	No	6	Muy Baja
<b>Banda Ancha</b>									
<b>LTE</b>	405-410MHz 420-425MHz	4,74	70,6	0,79	1,0	Baja	No	427	Baja
	450-470MHz	3,75	44,2	1,00	1,0	Media	No	18.808	Muy Alta
	713-718MHz 768-773MHz	2,73	23,5	1,37	1,9	Alta	Si	0	Muy Baja
	810-820MHz 855-865MHz	2,35	17,3	1,60	2,5	Baja	No	5.274	Alta
	814-824MHz 859-869MHz	2,35	17,3	1,60	2,5	Baja	No	5.700	Alta

**Tabla 18 Síntesis de las Bandas de Frecuencias Recomendadas para la Red PPDR**

Fuente: Grupo Consultor



## 6 REQUERIMIENTOS DE LA RNTE

### 6.1 INFRAESTRUCTURA DE SOPORTE A UTILIZAR

El pliego de condiciones hace mención a la necesidad de utilizar la infraestructura de diferentes PRST, entidades públicas y privadas:

- Entidades territoriales de orden nacional, departamental y municipal
- Fuerzas Militares y Policía Nacional
- Organismos de socorro
- Prestadores de Redes y Servicios Públicos Fijos y Móviles
- Entidades privadas que dispongan de este tipo de infraestructura

Sin embargo, el Grupo Consultor no pudo tener acceso a información completa de todos ellos. De algunos como los PRST y los organismos de socorro solo se obtuvo información de la ubicación de las estaciones bases y repetidores, pero no de servicios provistos en cada uno de los sitios. De las demás entidades no se obtuvo información.

El Grupo Consultor propone utilizar la infraestructura de soporte existente en el país, sea quien fuere el propietario, y no importa el tipo de contratación que tenga sobre esta infraestructura: adquisición o arrendamiento; y de acuerdo con los intereses, requerimientos y necesidades de la red.

En reuniones con American Tower Colombia y el Grupo Consultor se obtuvo información de servicios provistos en las torres de comunicaciones. American Tower Comunicaciones es quien provee de servicios de infraestructura a los grandes PRST móviles del país (MOVISTAR, TIGO, UNE) y está en negociación con otros PRST móviles como CLARO y nuevos entrantes. Adicionalmente en reuniones con los proveedores fijos, Azteca Comunicaciones Colombia, Promitel S.A. e Internexa S.A., se pudieron conocer los servicios de co-ubicación de estos proveedores en las cabeceras municipales del país.

De esta forma el diseño se realiza teniendo en cuenta el uso de las instalaciones existentes de torres de comunicaciones, espacios, suministro de alimentación eléctrica y demás instalaciones esenciales requeridas para la implementación de la red.

De otra parte es conveniente anotar que en el documento “Análisis Técnico, Normativo, Financiero y Propuesta de un Marco Normativo para el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias”, se realiza el análisis jurídico que soporta el uso de la infraestructura existente para la implementación de la RNTE.



## 6.2 USUARIOS DE LA RED

Se espera que un Sistema de Telecomunicaciones de Emergencia deba tener la habilidad de coordinar la respuesta a situaciones urgentes con completa confiabilidad que permita no solo responder si no también cumplir funciones de prevención, es por esto que las herramientas tecnológicas y la información requerida debe estar disponibles cuando y donde sean necesarias en cualquier circunstancia para los usuarios del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia y en particular de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias.

El Grupo Consultor por su experiencia y conocimiento considera que existen tres componentes claves en un sistema de emergencia, y los cuales se listan a continuación:

- **Interoperabilidad Real:** permite que múltiples entidades de atención de emergencias en diferentes localidades y con diferentes tecnologías que deben atender una situación de emergencia puedan comunicarse entre sí.
  - Una interoperabilidad real permite la comunicación inmediata entre múltiples usuarios de diversas dependencias para mejorar la coordinación sin importar el tipo de red ni el organismo al que pertenezcan.
  - Se basa en estándares asegurando compatibilidad con redes que cumplan con plataformas abiertas, sin importar el fabricante que las creó.
  - Permite a los usuarios un fácil acceso a información de alta importancia de voz y datos donde y cuando sea requerida, para que puedan comunicarse como un equipo con sólo presionar un botón y así, ofrecer una respuesta coordinada en sólo segundos.
- **Redes Fundamentales:** Deben permitir comunicarse en forma rápida, segura y confiable.
  - Los usuarios de una red de emergencia no se pueden arriesgar a quedarse sin comunicación en ninguna circunstancia.
  - La seguridad de las comunicaciones debe estar garantizada.
  - La comunicación debe ser siempre inmediata y simultánea.
  - Las Redes Fundamentales deben ser diseñadas para funcionar durante la emergencia, allí donde el resto de las redes colapsan.
- **Datos en los Sistemas de Emergencia:** Requiere acceder al Intercambio de datos para garantizar eficiencia.

Se debe proveer información en forma anticipada a los usuarios que se encuentran en campo y en primera línea de acción para que se le facilite al usuario la toma de decisiones.



Los datos requeridos para una situación de emergencia facilitan la respuesta adecuada mediante información segura distribuida por las redes que están “siempre disponibles”.

Actualmente existen numerosas aplicaciones para información, desde video en tiempo real y acceso a bases de datos, hasta el envío de archivos, imágenes, correo electrónico y demás aplicaciones que extienden la oficina al campo (oficina móvil) para maximizar el tiempo del usuario que atiende una emergencia en la calle y aumentar su eficiencia.

La ITU<sup>136</sup>, clasifica a los usuarios PPDR en las siguientes categorías

- Policía/fuerzas y cuerpos de seguridad.
- Funciones de policía especial.
- Refuerzo civil de policía.
- Bomberos
- Bombero a tiempo parcial.
- Refuerzo civil de Bomberos.
- Servicios médicos de urgencia.
- Refuerzo civil de SAMU.
- Funcionarios ordinarios de la administración.
- Otros usuarios PPDR.

Para el Caso de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias de Colombia se han clasificado los usuarios de acuerdo a las entidades que hacen parte del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia, y que se muestran en el siguiente cuadro:

CLASIFICACIÓN DE USUARIOS / ENTIDAD	
<b>Entidades de Orden Nacional</b>	Presidencia de la República
	Unidad Nacional para Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
	Ministerio del Interior - Sala de Estrategia
	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
	MINISTERIO de Justicia y del Derecho
	MINISTERIO de Salud
	MINISTERIO de Vivienda y Desarrollo Sostenible
	Servicio Geológico Colombiano

<sup>136</sup> INFORME UIT-R M.2033: Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro, Sección D



CLASIFICACIÓN DE USUARIOS / ENTIDAD	
	IDEAM
	Policía Nacional
	Fiscalía General de la Nación
	Círculo Nacional de Auxiliares Técnicos (CINAT)
	DAS o quien lo sustituya
<b>Entidades de Orden Departamental</b>	Consejos Departamentales para la Gestión de Riesgo - CDGR: Ubicados en los 32 departamentos del país. Secretaría de Salud
<b>Entidades operativas</b>	Defensa Civil Colombiana Cruz Roja Colombiana Sistema Nacional de Bomberos
<b>Entidades del Distrito</b>	Secretaría de Salud del Distrito Alcaldía de Bogotá y los pertenecientes a la Red Distrital
<b>Entidades de orden Municipal</b>	Consejos Distritales y Municipales de Gestión de Riesgo - CDMGR: Contempla un consejo por cada distrito o municipio. Alcaldía del municipio. Secretaría de Salud.
<b>CAD</b>	Centro Atención y Despacho
<b>SIES</b>	SIES (Sistemas integrados de Emergencia y Seguridad)

Tabla 19 Usuarios de la RNTE de acuerdo a las Entidades que Hacen Parte del Sistema  
Fuente: UNGRD

### 6.2.1 Usuarios Actuales

El Grupo Consultor, en reunión<sup>137</sup> con la UNGRD y con las entidades operativas de socorro que hacen parte del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia, acordó enviar cuestionario para identificar los usuarios actuales y potenciales, como resultado de dicho cuestionario el Grupo Consultor identificó que en Colombia existen 19.947<sup>138</sup> usuarios potenciales que eventualmente deberían acceder a la Red de Telecomunicaciones de Emergencia en Colombia.

Las preguntas enviadas vía correo electrónico con fecha 28 de diciembre de 2012 por la UNGRD, fueron las siguientes:

<sup>137</sup> Reunión realizada el 13 de diciembre de 2012

<sup>138</sup> Información suministrada por la Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos, y la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo, vía correos electrónicos con fecha de enero de 2013.



1. Actualizar sitios de ubicación de equipos de telecomunicaciones con coordenadas de longitud y latitud, equipos y frecuencias utilizadas en cada uno de ellos.
2. Cantidad de usuarios actuales y proyectados a futuro por cada entidad.
3. Servicios adicionales a los de voz, que consideren necesarios o importantes para el desarrollo de la nueva red RNTE.
4. Tiene una estimación de la demanda de usuarios y espectro (en MHz) que será requerida para los servicios de protección pública y operaciones de socorro en los años 2012, 2014 y 2019.
5. Cualquier información adicional que considere importante para el desarrollo del proyecto.

Las entidades que dieron respuesta vía correo electrónico a dicho cuestionario, fueron:

- Unidad Nacional para Gestión del Riesgo de Desastres
- Defensa Civil Colombiana
- Cruz Roja Colombiana
- Dirección Nacional de Bomberos

De las respuestas dadas a los numerales 2 y 3 por las anteriores entidades, las cuales son relevantes para analizar en este apartado, se puede concluir que los usuarios actuales de la red con equipos de radiocomunicaciones son 7.479, y los estimados de acuerdo a las metas de cada entidad operativa son 19.947 en total, es de aclarar que las entidades operativas de socorro que dieron respuesta no informaron a que fecha realizaron la proyección.

En la siguiente tabla se identifican los usuarios que tienen equipo de comunicaciones por cada entidad:

Entidad	Total de Usuarios a 2013	Usuarios Proyectados
<b>UNGRD, CDGR y CMGR</b>	682	682 <sup>139</sup>
<b>Defensa Civil</b>	2.540	11.485
<b>Cruz Roja</b>	1.398	1.780
<b>Bomberos</b>	2.859	6.000
<b>Total de usuarios</b>	<b>7.479</b>	<b>19.947</b>

**Tabla 20: Usuarios Actuales y Futuros de la RNTE**

Fuente: UNGRD

<sup>139</sup> La UNGRD no suministró información acerca de la proyección de usuarios.



### 6.2.1.1 Unidad Nacional para Gestión del Riesgo de Desastres

- **Cantidad de usuarios actuales**

La Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres cuenta con una central de comunicaciones en la que un radio en banda HF y hay 30 radios en banda HF distribuidos en cada departamento. A nivel Nacional, se tienen 617 terminales de comunicaciones en banda VHF sumados a los 32 terminales de comunicaciones para cada uno de los Consejos Departamentales de Gestión del Riesgo de Desastres (32 Departamentos). Dando un total de 649 usuarios con terminal VHF cada uno y 31 radios en banda HF.

- **Servicios considerados importantes para la UNGRD para el desarrollo de la nueva red RNTE**

Se requieren servicios de datos y un sistema que no esté limitado por repetidoras, además se requiere que para el caso de que ocurra una emergencia o un desastre no se pierda la comunicación con la central de comunicaciones.

### 6.2.1.2 Defensa Civil Colombiana

- **Cantidad de usuarios actuales y proyectados**

Los usuarios actuales con equipos de radio comunicaciones en la Defensa Civil Colombiana suman 2.540. Esta entidad proyecta tener 11.485 terminales de comunicaciones para 114.852 líderes voluntarios a nivel nacional; se asignará un equipo de radiocomunicaciones a cada comité conformado por 10 líderes voluntarios a nivel nacional.

- **Servicios considerados importantes para la Defensa Civil Colombiana para el desarrollo de la nueva red RNTE**

La creciente frecuencia de los desastres naturales y las emergencias públicas plantea un gran desafío para las entidades operativas del SNGRD, con el fin de prestar una mejor respuesta a las emergencias, por lo cual se debe contar con un sistema seguro, fiable y eficiente.

Se debe contar con un sistema de despacho con plataforma digital estándar abierto, logrando una comunicación eficiente con gestión, ofreciendo centrales de despacho con paquetes de datos (GPS), voz (VoIP), enlaces nacionales / satelitales y video en tiempo real de los posibles escenarios.



### 6.2.1.3 Cruz Roja Colombiana

- **Cantidad de usuarios actuales y proyectados**

En la actualidad la Cruz Roja Colombiana cuenta con aproximadamente 1.397 usuarios con terminales de comunicaciones. Esta entidad proyectó que el número de usuarios puede aumentar en 448, para un total de 1.780 usuarios con terminales.

- **Servicios considerados importantes por la Cruz Roja Colombiana para el desarrollo de la nueva red RNTE**

Servicios adicionales a los de voz que se consideren importantes para el desarrollo del proyecto, son:

- Servicio satelital de datos mediante estaciones terrenas portátiles tipo BTM que permitan tráfico desde los sitios de los eventos.
- Actualización de las redes análogas actuales a redes digitales para el uso de datos (localización, Mensajería).
- Implementación de estaciones móviles celulares con posibilidad de enlace a redes operantes.

### 6.2.1.4 Dirección Nacional de Bomberos

- **Cantidad de usuarios actuales y proyectados**

La Dirección Nacional de Bomberos a través de los Cuerpos de bomberos oficiales y voluntarios cuenta en estos momentos con aproximadamente 2.859 usuarios con terminal de comunicaciones basado en el 80% de la información recaudada. La proyección esperada para los cuerpos de bomberos está estimada en 6.000 usuarios con terminales de comunicaciones.

- **Servicios considerados importantes por la Dirección Nacional de Bomberos para el desarrollo de la nueva red RNTE**

Adicional a los servicios de voz, esta entidad considera necesario para el desarrollo de la nueva red de telecomunicaciones de emergencia que sea incorporado un sistema de datos, preferiblemente en banda ancha, que garantice una alta capacidad en transmisión y recepción de información en casos de emergencia, de la misma manera se hace trascendental estructurar una red paralela de soporte en banda HF, equipos de comprobada eficiencia en colapsos por desastres masivos.

## 6.2.2 Otros Usuarios Eventuales

Aparte de la UNGRD y las entidades operativas de socorro existen otros integrantes que de acuerdo a la Ley 1523 de 2012 hacen parte del sistema nacional como y que solo se conectan



en casos de desastres o emergencias o casos puntuales, o al convocarse los correspondientes comités:

- Las instancias de Dirección del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo por Desastres constituidas por: Presidente de la República, Director de la UNGRD, Gobernador en su respectiva jurisdicción, Alcalde en su respectiva jurisdicción.
- Las Instancias de Orientación y Coordinación: Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo, Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, Comité Nacional para la Reducción del Riesgo, Comité Nacional para el Manejo de Desastres.

Los usuarios de los planes de contingencia, BCP, (Business Continuity Plan), no son objeto de esta consultoría, pero se recomienda tenerlos en cuenta para la implementación y puesta en marcha de la red.

## 6.3 SERVICIOS GENERALES

### 6.3.1 Servicios de usuario

Esta sección identifica varios de los requerimientos esenciales de los usuarios de la red de banda ancha móvil para emergencias haciendo énfasis en el control de dichos usuarios de forma autónoma e independiente para poder manejar la información confidencial y las cadenas de mando.

- **Acceso**

El personal de operaciones y administración de cada agencia debe poder configurar y autorizar usuarios o grupos de usuarios para tener acceso a ciertas aplicaciones específicas, según sea necesario. Se requiere que el Core comercial pueda manejar las prioridades de acceso a los usuarios de emergencia según lo definido por el correspondiente servicio del Core LTE de emergencias.

- **Roaming**

El sistema debe permitir el acceso a las aplicaciones mediante el uso de la red comercial o de ciertas celdas LTE dedicadas directamente conectadas al Core de emergencias o mediante otras redes LTE secundarias de apoyo autorizadas para roaming, las cuales deben tener acuerdos de nivel de servicio o SLAs.

- **Grabación**

El mecanismo de grabación se refiere al requerimiento indispensable para las agencias de atención de emergencias de llevar un registro de audio del manejo del evento no sólo para procesos de mejoramiento continuo sino también para verificación posterior de los organismos



de control. La información almacenada será responsabilidad de cada agencia y deberá estar protegida y con acceso restringido. Esto refuerza el requerimiento de un Core LTE para emergencias con gestión independiente.

- **Identificación y Direccionamiento**

En el manejo de eventos críticos de emergencias existe una correspondencia de uno-a-muchos entre un dispositivo y su usuario debido a que un mismo dispositivo puede ser usado por varios usuarios en un mismo turno o en diferentes turnos. El sistema del Core LTE debe tener la capacidad de permitir a cada usuario registrarse en diferentes dispositivos, acceder a la información y aplicaciones asociadas a su ID y recibir llamadas de datos o voz dirigidas específicamente.

- **Centros de Emergencia 123**

El sistema del Core LTE de emergencias debe proveer las interfaces que se requieran para la interacción con los Centros de Atención de Emergencias; dicha interconexión se amplía en la topología de la red.

- **Mensajería**

Los usuarios deben tener la capacidad de enviar y recibir mensajes de texto multimedia desde y hacia otros usuarios o grupos de usuarios empleando un mecanismo único que garantice la interoperabilidad.

- **Servicios de Video**

Los supervisores y comandantes responsables de un incidente deben poder acceder, por demanda, al video proveniente de cámaras montadas en vehículos como camiones, patrullas, máquinas de bomberos, helicópteros y otros vehículos de emergencia. Este video debe estar disponible en tiempo real con el propósito de visualizar las condiciones en campo, mejorar la respuesta, apoyar al personal presente, evaluar los daños y monitorear el desarrollo de la misión desde los centros de operación. El video en tiempo real proveniente de cámaras montadas en vehículos también debe permitir tener una mejor perspectiva de los requerimientos operacionales inclusive antes de la llegada de las primeras agencias. La transmisión de video debe realizarse de una forma efectiva con el propósito de economizar recursos de capacidad de transmisión y anchos de banda según el requerimiento de la situación, variando los parámetros de resolución, compresión y tasa de cuadros. Los usuarios deben poder intercambiar video uno a uno o en grupos de video.

- **Página Web de Status**

Debe existir una página web única, punto de llegada de los visitantes del sistema, entidades operativas que hacen parte del SNGRD, la cual facilite el acceso y distribución de aplicaciones,



alertas, información específica a incidentes, estado del sistema y demás. La página de status permitirá que las diferentes agencias cumplan su misión y facilitará el trabajo conjunto por medio de los mecanismos de ayuda e interoperabilidad para manejo de emergencias complejas.

- **Encriptación**

Es indispensable que el Core LTE de emergencias permita comunicaciones encriptadas AES 256 y que tenga la posibilidad de interconectarse con otras redes de entidades militares y policiales que usan sus propios algoritmos de encriptación.

### 6.3.2 Servicios de red

Esta sección describe los requerimientos de los servicios de red tales como el servicio de localización, servicios fundamentales de red, administración de dispositivos y de autenticación, seguridad e identificación. Estos servicios dado su carácter confidencial deberán manejarse en el Core LTE de emergencias:

- **Servicios de Localización**

Los servicios de localización representan una oportunidad única para soportar las operaciones de la emergencia. Al consultar el sistema para obtener la posición de un suscriptor con capacidades de localización, un coordinador de atención del incidente puede ubicar recursos, calcular y dirigir unidades sin tener que hablar. El sistema deberá tener el mecanismo de acceder a la ubicación, presencia y disponibilidad de un usuario determinado. Solo personal autorizado podrá tener acceso a la información histórica de posición geográfica y tiempo de un usuario. Por último, el usuario tendrá la capacidad de desactivar o restringir los servicios de localización en su dispositivo si así lo permite la política de uso.

- **Llamada de Emergencia**

Es necesario que los dispositivos de LTE para servicios de emergencia cuenten con un botón específico para una rápida llamadas de emergencia en la red. La activación de este servicio debe conceder prioridad y calidad de servicio superior al de la operación normal, y a la vez notificar a los despachadores de dichas agencias que hay un evento crítico por ejemplo la condición que amenaza a la vida. La definición de una situación de emergencia debe incluir no solo la comunicación por voz, si no también extenderse a demás aplicaciones multimedia. En caso de emergencia, el sistema debe permitir la activación de la situación de emergencia desde el terminal de usuario y desalojar, si es necesario, el tráfico de aplicaciones de menor prioridad con el fin de liberar recursos de ancho de banda.



- **Riesgo inmediato**

Al existir diferentes niveles de prioridad asignados a cada aplicación, esto podría causar, por ejemplo, que un servicio con altos requerimientos de ancho de banda, como el video en tiempo real, pueda ser de-priorizado y que éste nunca pueda tener el status de misión crítica. Existe por lo tanto la necesidad de proveer los mecanismos para re-priorizar una aplicación o servicio que ha sido de-priorizado en el evento de una situación crítica. Esto debe ser soportado por mecanismos de priorización dinámica en el Core LTE de emergencias.

- **Servicios Fundamentales de Red**

Entre estos servicios está la capacidad de encontrar una red o sub-red por nombre (Domain Name Services DNS) con los mecanismos de seguridad que prevengan que un usuario o dispositivo sea direccionado a una red no deseada que pueda infectar o comprometer la confidencialidad de la información. La separación de los servicios de DNS seguro de los servicios públicos de DNS en Internet, asegurará que el suscriptor pueda conectarse rápidamente y confidencialmente con los servicios necesarios.

Otro de los servicios requeridos es el servicio de tiempo de red (Network Time Service - NTP). Este servicio deberá proveer el tiempo u hora oficial de la red a los usuarios con propósitos de sincronización y coordinación de forma segura.

- **Gestión de Identidad**

Con el fin de permitir acceso a información sensible, el sistema debe ser capaz de identificar los usuarios de forma confiable, segura e interoperable, para garantizar el acceso apropiado a la información. Debido a que el equipo es compartido entre varios usuarios que atienden las emergencias, el alcance de la identificación debe extenderse más allá de la autenticación del dispositivo.

- **Gestión de Identidad de Dispositivo**

Los dispositivos del sistema deben tener la capacidad de ser compartidos y soportar el uso de varios usuarios que cambian, por ejemplo, entre turnos o entre incidentes.

- **Servicios de Autenticación y Autorización**

Se deben proveer los mecanismos de autenticación basados en estándares de la industria para garantizar la confianza entre la red y los usuarios. Una vez que el usuario ha sido autenticado, éste solicitará información con diferentes niveles de autorización previamente definidos según jerarquías y funciones dentro de las agencias.



- **Administración de Dispositivos**

El sistema debe permitir que las agencias a través del Core de LTE de emergencias realicen las funciones de administración de dispositivos de forma centralizada o distribuida. Estas funciones van desde la configuración inicial y aprovisionamiento del suscriptor, pasando por el mantenimiento continuo, actualizaciones de software y monitoreo del dispositivo, finalizando en la desactivación del mismo.



## 7 PROPUESTA DE ARQUITECTURA Y TOPOLOGÍA PARA LA RNTE

### 7.1 ARQUITECTURA PROPUESTA DE LA RNTE

La arquitectura de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia se basará en el nuevo modelo de las redes de telecomunicaciones conocido como Next Generation Network (NGN), conformada por cuatro niveles:

- 1) Nivel de Servicio.
- 2) Nivel de Control.
- 3) Nivel de Transporte.
- 4) Nivel de Acceso.

La RNTE interconectará las redes existentes VHF y HF de la UNGRD, CDGR, CMGR, los CAE existentes y los nuevos a implementar, las redes de los operadores fijos y móviles y la red de internet.

#### 7.1.1 Redes de Nueva Generación (NGN)

Según la Recomendación Y.2001 (12/2004) de la UIT-T, la NGN se define como “una red basada en paquetes capaz de ofrecer servicios de telecomunicaciones, utilizar las múltiples tecnologías de banda ancha, proporcionar transporte con Calidad de Servicio, QoS, y conseguir que las funciones relacionadas con el servicio sean independientes de las tecnologías del transporte subyacentes. Esta red posibilita a los usuarios el acceso a otras redes y elegir los proveedores y servicios. Además, soporta la denominada movilidad generalizada, la cual permite una oferta de servicios ubicua y consistente para los usuarios”.

Características principales según la UIT-T<sup>140</sup>:

- Transferencia basada en paquetes.
- Separación de las funciones del control del transporte y del servicio.
- Desarrollo de servicios a través de interfaces abiertas.
- Soporte de un amplio rango de servicios y aplicaciones, tanto en tiempo real como en tiempo no real, streaming y multimedia.
- Capacidad de banda ancha con QoS extremo a extremo.

---

<sup>140</sup> Recomendación Y.2001 (12/2004) de la UIT-T,

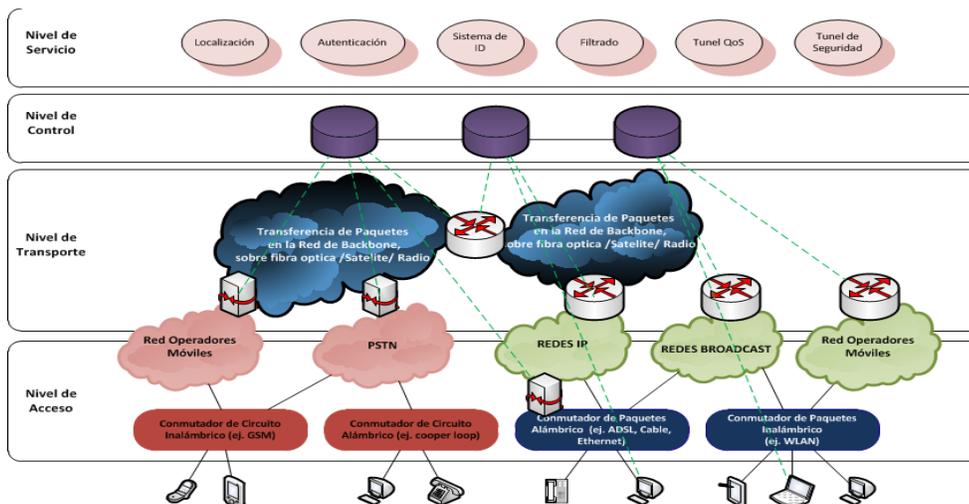


- Trabajo integrado con redes precedentes (RTCP/ISDN y otras) a través interfaces abiertas.
- Movilidad generalizada, tanto de usuarios como de dispositivos a través de diferentes tecnologías de acceso sin interrupción del servicio.
- Acceso de los usuarios a servicios ofrecidos por diferentes proveedores.
- Variedad en los esquemas de identificación de usuarios y dispositivos.
- Trabajo con un mismo perfil de servicio para un usuario en toda la red.
- Convergencia de los servicios fijos y móviles.
- Independencia de las funciones de un servicio de las tecnologías de transporte subyacentes.
- Soporte para múltiples tecnologías de última milla.
- Cumplimiento de todos los requisitos reguladores (comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal de contenidos y otros).

En conclusión y de acuerdo a la anterior las redes NGN, son redes de múltiples servicios que transportan voz, datos, y video sobre redes IP, garantizando calidad de servicio para los diferentes tipos de tráfico. Y que permite ser implementada en plataformas donde la capa de transporte está separada de la capa de acceso.

Los componentes básicos de una Red de Nueva Generación deben usar interfaces abiertas, las cuales permitan la integración de nuevos servicios y la interconexión de diferentes tipos de redes. Dichos componentes son la capa de acceso, la capa de transporte y la capa de servicio y control, como se muestra en la **Ilustración 30**.

**Nivel de Acceso:** Provee el acceso a diferentes tipos de terminales (ej. Teléfonos fijos, terminales móviles, etc.) sobre diferentes tipos de tecnologías inalámbricas o alámbricas. La capa de acceso del modelo NGN es agnóstica, es decir, ella es capaz de soportar todo tipo de acceso sea cual fuere su naturaleza: Telefónico RTCP, acceso móvil, acceso vía las redes de cable, acceso satelital, acceso vía Internet, acceso de radio convencional, etc. Los nuevos accesos tienen que ser de banda ancha, para soportar los nuevos servicios, pero tiene capacidad para integrar las redes existentes.



**Ilustración 30 Modelos de Capas de las Redes NGN**

Fuente: Grupo Consultor

**Nivel de Transporte:** La capa de transporte está basada en el protocolo IP, encargándose esta capa de proveer las calidades de servicio QoS y la conectividad que cada servicio en particular requiere, ya sea éste de voz, datos, imágenes video, etc. La capa de transporte tiene varios niveles:

Red Backbone: Se refiere a la red que conecta los puntos principales de la red, se caracteriza por ser la parte más resiliente de la red.

Redes de Backhaul: Son las porciones de una red jerárquica, que comprenden los enlaces intermedios entre el núcleo o Backbone, y las subredes en sus bordes o las llamadas redes de acceso.

**Nivel de Servicios y de control:** En esta capa se realiza la mayor parte de la gestión de los datos y se realiza la conexión lógica utilizando SIP (Session Initiation Protocol) que es el protocolo de control de la capa de aplicación para la gestión de las llamadas, para terminales, Gateways e interfaces de red. Los servicios son absolutamente independientes de la red, los nuevos servicios están basados en una iteración entre terminales inteligentes. Los servicios tradicionales o heredados, serán integrados y soportados, pero disminuirán su importancia paulatinamente a favor de los nuevos servicios, por ejemplo la voz TDM con el tiempo será desplazada totalmente por la VoIP.

## 7.2 TOPOLOGÍA PROPUESTA DE LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE EMERGENCIA

El objetivo de este apartado es describir la topología final de red que el Grupo Consultor propone para la RNTE, la forma como se interconectan cada una de sus partes (sub-redes) y



cómo es la interconexión con las redes externas. Para la definición de la arquitectura de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias se revisaron las tres alternativas propuestas por la consultoría anterior, Contrato estatal de consultoría No. 000396 de 2011 entre el FONTIC e ITECO, a los requerimientos del pliego, de los diferentes actores de la red y de acuerdo al análisis de tecnologías realizado en los capítulos anteriores por el Grupo Consultor.

Para satisfacer las necesidades actuales y futuras de los organismos que atienden emergencias, la parte central de la RNTE está basada en una red LTE que pueda ser migrada al Release 12, según lo está definiendo el 3GPP, para que cumpla con las características de una red PPDR. Para lograr un cubrimiento nacional a un costo razonable, de tal manera que se obtenga la mejor relación costo-beneficio, el Grupo Consultor ha propuesto fortalecer las redes de radio en bandas VHF, poner operativas las redes en banda HF, interconectar las redes a través de protocolos IP, utilizar las redes móviles existentes con tecnología PoC y en caso de grandes catástrofes, donde nada de esto funciones utilizar estaciones LTE transportables, con transporte satelital y/o eventualmente una estación satelital tipo BGAN.

Las sub-redes que componen la RNTE son:

- La red de acceso LTE: eUTRAN.
- La red Core LTE: EPC e IMS.
- La redes de agregación y transporte: backhaul y Backbone IP/MPLS.
- Redes de transporte preferiblemente redes anilladas de Fibra óptica
- Redes de transporte contingentes satelitales.
- Centro de Control.
- Las redes HF y VHF, con su interconexión a través de IP y Cross Conectores.

Las redes externas con las cuales se interconecta la RNTE son:

- Los Centros de Atención de Emergencias: CAE.
- La red de alertas tempranas.
- Las redes públicas de telefonía móvil y las soluciones PoC sobre estas redes.
- Las redes públicas de telefonía fija.
- La red de Internet.



La RNTE maneja tres niveles, los cuales son: el nivel de acceso, nivel de transporte y nivel de control. Estos niveles permiten el manejo de las aplicaciones propias del Sistema de Nacional de Telecomunicaciones en Emergencia. La RNTE interconectará las redes existentes en bandas VHF y HF de la UNGRD, los Centros de atención de llamadas de emergencia, (CAE-NUSE) existentes y los nuevos a implementar, las redes de alertas tempranas, con el centro de Control, las redes de los operadores fijos y móviles y la red de internet, la red permitirá la interoperabilidad con las redes de las entidades de socorro y las entidades de despacho, en todo el país. Esta red estará conformada por:

1. **Nivel de Acceso:** Red de Acceso: LTE, PRST, PoC, VHF, HF, Internet y redes IP
2. **Nivel de Transporte**
  - a. **Red de Backbone:** Red en anillo redundante de Fibra Óptica sobre protocolo IP.
  - b. **Red de Backhaul:** Red de Fibra Óptica sobre protocolo IP.
  - c. **Contingencia:** Enlaces satelitales por demanda
3. **Nivel de Control - Core:** IMS (IP Multimedia Subsystem).

El centro de control de la red será el punto central de la red ubicado en la UNGRD de Bogotá y tendrá los servidores centrales, gateways, consola de despacho, pantallas de alertas tempranas y las interfaces que le permitan el control de toda el Sistema Nacional de Telecomunicaciones en Emergencia.

En la **Ilustración 31** se muestra la topología propuesta para la RNTE y a continuación se describe en detalle dicha topología.

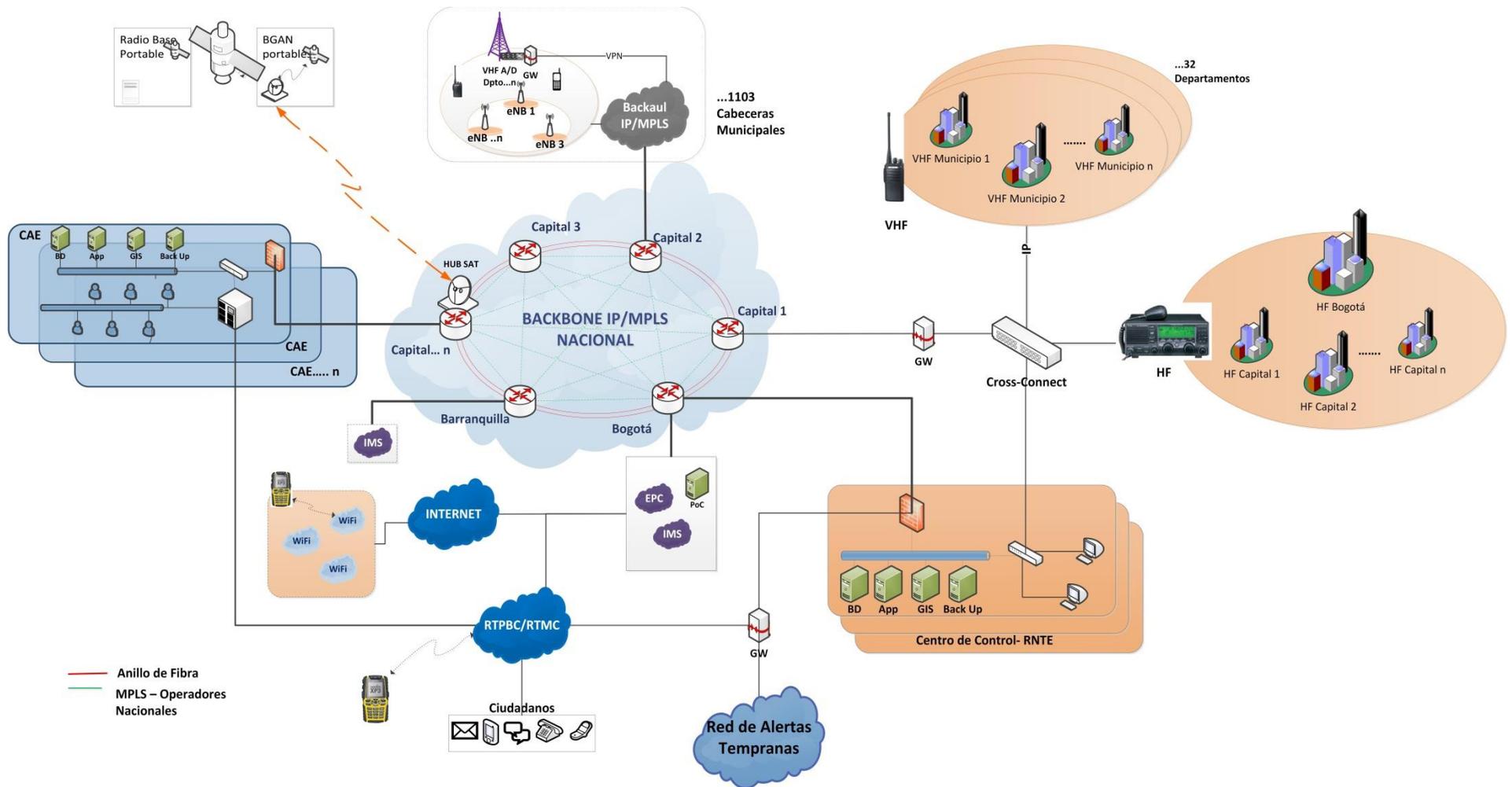


Ilustración 31 Topología de la RNTe  
Fuente: Grupo Consultor



## 7.2.1 Descripción de la Topología de la RNTE

### 7.2.1.1 Usuarios Finales

Los usuarios finales que se servirán del nivel de acceso son los dispositivos y las aplicaciones que pueden ser usados por un usuario de las agencias o autoridades que hacen uso de las redes de emergencias. Las autoridades que están involucradas en la RNTE son:

- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
- Consejos Departamentales para la Gestión de Riesgo: Ubicados en los 32 departamentos del país.
- Consejos Distritales y Municipales de Gestión de Riesgo: Contempla un consejo por cada distrito o municipio.
- Entidades Operativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD): Están incluidos la Defensa Civil, Cruz Roja Colombiana, el Sistema Nacional de Bomberos.
- Entidades del Estado: Contempla la Presidencia de la República, Ministerios, Departamento Nacional de Planeación, entre otros.
- Otras entidades que hacen parte del SNGRD tales como Policía, Fuerzas Militares, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Fiscalía y entidades que hacen parte de la Red de Alertas Tempranas como: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Sistema Geológico Colombiano (SGC), Dirección General Marítima (DIMAR), entre otros.
- CAE (Centros de atención de emergencia) y SIES (Sistemas integrados de Emergencia y Seguridad)

Los dispositivos y terminales de usuarios que se utilizarán por los diferentes niveles de usuarios de la RNTE deberán cumplir con los estándares internacionales de protección (IEC) y en casos específicos que involucran fuego, con estándares ATEX.

### 7.2.1.2 Nivel de Acceso

El nivel de acceso planteado permite la mayor cobertura posible del área de interés de la RNTE mediante la integración de redes de acceso inalámbrica en bandas VHF, HF, y redes móviles con tecnología 4G (LTE) y el uso de las redes existentes en 3G con tecnología PoC.

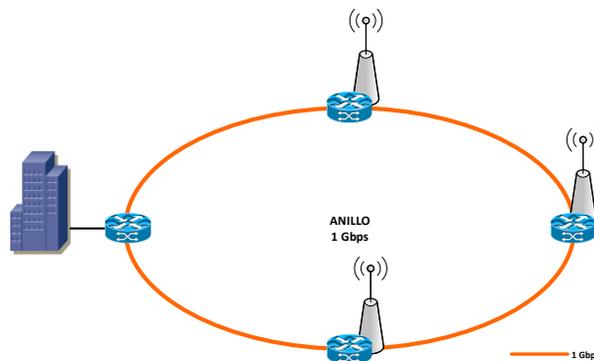
Para el caso concreto de LTE la red de acceso está compuesta por estaciones eNodeB (evolved Node B)<sup>141</sup> que atienden los servicios multimedia móviles que los usuarios de emergencia requieren. Los eNodeB estarán ubicados en 1.103 cabeceras municipales, lo que permitirá mayor cobertura. En dichas cabeceras municipales, el equipamiento de los eNodeB se alojará en las torres de los operadores PRST Móviles para conectarse desde ese punto a la red de backhaul.

En las localidades donde existen redes de radio en banda VHF y HF, se interconectarán a la red propuesta mediante protocolo IP y con las redes 3G existente mediante la funcionalidad PoC gestionada por el Core de la RNTE, las cuales se explican más adelante.

### 7.2.1.3 Nivel de Transporte

El nivel de transporte, lo compone la red de Backhaul IP/MPLS que recoge el tráfico de los eNodeB y es llevado a la red de Backbone IP y viceversa.

**Red de Backhaul:** Es una red metropolitana con una topología en anillo, que conecta los eNodeB (radio base para LTE) entre sí. Por tanto los eNodeB conformarán anillos que se conectarán al nodo de la cabera municipal a través de enlaces de 1 Gbps y 10 Gbps. En la siguiente ilustración se muestra la topología en anillo y conexión de los eNodeB:



**Ilustración 32 Topología en Anillo de una Cabecera Municipal**

Fuente: Grupo Consultor

Actualmente en el país existen anillos metropolitanos de fibra óptica en las capitales de departamentos, en las ciudades intermedias y gracias al proyecto de Vive digital (Azteca Comunicaciones Colombia) se tendrá una cobertura del 99% de las cabeceras municipales con esta tecnología.

<sup>141</sup> evolved Node B; E-UTRAN Node B: Único elemento de las redes LTE que actúa de interface con el terminal del usuario



Los nodos de cada cabecera municipal de departamento se conectarán al nodo de capital del departamento correspondiente, principalmente por enlaces dedicados, preferiblemente en fibra óptica, o en la tecnología disponible por los operadores locales. En casos de contingencia se llevarán nodos transportables por carretera o helicóptero y se conectarán por enlaces satelitales en demanda, si las redes de fibras se rompen o no están disponibles por efecto del mismo desastre. Aunque al estar anilladas es posible que puedan atenderse a través de los anillos.

De igual forma todos los repetidores de los sistemas en banda VHF, se deben conectar a los nodos IP más cercano ubicados en las cabeceras municipales. Para garantizar la conectividad de los repetidores a la red backhaul y la interoperabilidad con la RNTE, a cada repetidor se le asignará una dirección IP y un modem celular con puerto Ethernet. Dichos módems son equipos con el estándar DMR.

Debido a la cantidad de tráfico agregado por la red backhaul, se requiere una red Backbone que transporte el tráfico del acceso hasta el EPC y viceversa. Adicionalmente para transportar el tráfico de la red en banda VHF en protocolo IP, desde los municipios hasta la ciudad de Bogotá, utilizando las mismas redes de transporte backhaul y Backbone IP/MPLS.

Para interconectar la red en banda VHF a la red backhaul IP, es necesario un Gateway ubicado en las diferentes capitales de departamentos, y crear las correspondientes VPN.

**Red de Backbone IP/MPLS:** Está compuesta por 28 nodos, donde cada uno se localiza en una capital de departamento, exceptuando las capitales de departamento: Leticia, Mitú, Puerto Carreño e Inírida, en las cuales no habrá nodo ya que en la actualidad no hay conectividad por fibra óptica y tampoco se prevé una conexión de fibra a corto plazo<sup>142</sup>, pero sí estarán cubiertas con VHF ya que presentan amenaza de inundaciones e incendios. Los nodos que conforman el anillo del Backbone IP están interconectados a través de redes de fibra óptica anilladas, garantizando una alta disponibilidad del Backbone IP con llegadas a cada nodo por trayectorias independientes, las cuales se respaldan entre sí, en caso de fallas.

La red de Backbone se encarga de transportar con alta confiabilidad e integridad la información desde el sitio origen al sitio destino garantizando una red de alta prestación que es capaz de soportar un gran número de aplicaciones y servicios, con la escalabilidad necesaria para afrontar las futuras demandas de tráfico IP. Adicionalmente los nodos del Backbone nacional IP son de tipo “Carrier Class” los cuales se distinguen por poseer CPU redundantes con switch interno no orientado al bloqueo y con tarjetas de acceso con redundancia 1:n.

---

<sup>142</sup> Información suministrada por Azteca Comunicaciones.



Como resultado del Proyecto Nacional de Fibra Óptica, a través del operador Azteca Comunicaciones Colombia, se logrará la conexión de 1.069 nodos, ubicados en las cabeceras municipales que a su vez se conectarán al Backbone de fibra óptica.

Al Backbone de IP estarán interconectados el Centro de Comando y Control de la UNGRD, las redes fijas y móviles, la red internet y las redes de alertas tempranas existentes así como las redes Backhaul IP. Adicionalmente en el Centro de Comando y Control se ubicará una consola de despacho llamada “Cross Conector”, que permite la interconexión de las redes de radio en banda VHF y HF a las redes fijas y móviles RTPBC/RTMC.

A la red de Backbone IP/MPLS se interconecta a través de interfaces Ethernet las consolas que componen el Centro de Control y permiten monitorear el estado de la RNTE.

Las Redes de Alertas Tempranas se interconectan con la RNTE a través del Centro de Control utilizando interfaces Ethernet 10/100/1000. Los operadores del Centro de Control deben decidir el procedimiento a seguir una vez reciban la alerta: la prioridad que se le debe asignar, la forma como se debe alertar a la ciudadanía, el medio a utilizar (redes RTMC, TV, radio, etc.), el grupo objetivo de personas que debe recibir la alerta temprana, etc.

La interconexión de la RNTE con los CAE, asumiendo que se ubicarán en las capitales de departamento, se hace a través del Backbone IP/MPLS. Este Backbone lo componen enrutadores IP/MPLS con puertos Ethernet disponible para recibir los CAE.

LTE es un red totalmente IP de tal manera que la interconexión entre la red de acceso, la red de transporte y el Core es simple y eficiente con el uso de interfaces Ethernet. Lo realmente importante es que todo el conjunto de equipos que componen estas redes sean capaces de manejar las prioridades que los usuarios y servicios de las diferentes autoridades de la RNTE requieran.

#### **7.2.1.4 Nivel de Control**

El Core LTE permite la interconexión con Internet y con las redes RTPBC y RTMC, la interface dependerá de lo que ofrezcan dichas redes que para el caso de la RNTE, la interface principalmente usada es Ethernet/IP.

El Core de la RNTE se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, propuesto por ser ciudad capital que cuenta con sede de la UNGRD, con la mayor concentración de entidades de orden nacional, sede principal de entidades de socorro y sede principal de la mayoría de los PRST móviles del país; El respaldo estará ubicado en la ciudad de Barranquilla, ya que es la capital que presenta menores riesgo de amenazas. Debido a la ubicación del Core en Bogotá, este



nodo será el encargado de agregar el tráfico proveniente de las capitales de departamento que a su vez agregan el tráfico de todas las cabeceras municipales del departamento.

El Core EPC cobra importancia en la comunicación de los usuarios entre sí con los aplicativos que sean desarrollados para uso de las autoridades de emergencias y la comunicación con las redes externas.

El Core de la Red Nacional tiene los siguientes componentes:

- **EPC** (Evolved Packet Core): es responsable de las funciones que no están relacionadas con la interfaz de radio, así como del control global del terminal y establecimiento de portadoras necesarias para proporcionar una red de banda ancha móvil completa. Esto incluye, por ejemplo, la autenticación del usuario, la funcionalidad de carga y la configuración de las conexiones de extremo a extremo. El manejo de estas funciones por separado, en lugar de integrarse en la red de acceso, permite varias tecnologías de acceso por radio para ser servidas por la misma red central.
- **IMS**: IP Multimedia Subsystem. El IMS es un subsistema que permite los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de voz y multimedia basados en redes IP. El IMS del Core es transparente a la red de acceso usada por el equipo terminal y no está asociado con la capa de transporte y enrutamiento.
- **PoC** (Push To Talk over Cellular): Permite unir el audio de un terminal PoC con otros terminales, que están adscritos a un mismo grupo, de las redes de radio de banda VHF y HF existentes.
- **Hub Satelital**: Sistema redundancia de red para eventos de emergencia, permite conectar estaciones BGAN<sup>143</sup> portátiles, portables y radio bases LTE con enlaces de backhaul satelitales, para este hub se prevé sea subcontratado a alguno de los proveedores existentes. Todo esto ocurre mediante protocolos SIP/RTP.

Para interconectar el Core de la RNTE con las redes fijas tipo RTCP para servicios de voz, es necesario tener un IMS. Dentro del IMS se tiene:

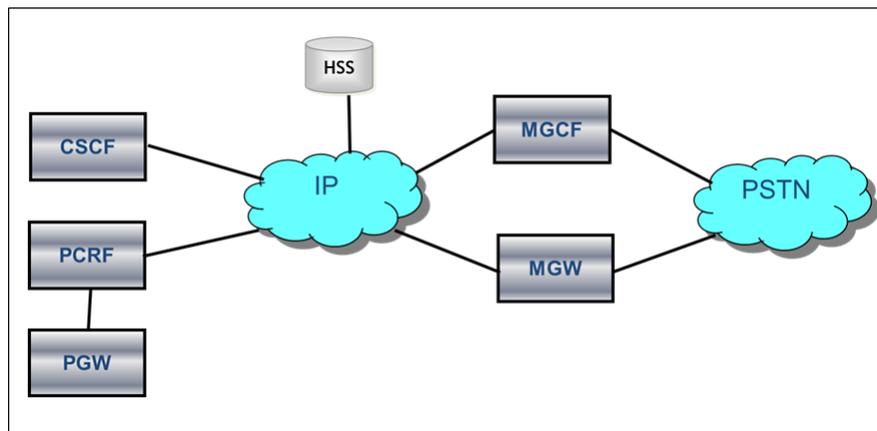
- El CSCF (Call Session Control Function) encargado de procesar y controlar los requerimientos de llamadas de voz y multimedia por medio de mensajes SIP, que se tramitan con las redes RTCP.
- El PCRF: (Policy and Charging Rules Function) Es el nodo de software que define las políticas a aplicar en las comunicaciones y las reglas de tarificación de las mismas.

---

<sup>143</sup> Por sus siglas en ingles Broadband Global Area Network. Red de área global de banda ancha.

- El PGW: (Packet Data Network Gateway). Es el enlace entre el terminal móvil y los servicios que residen en una red de paquetes externa.
- HSS (Home Subscriber Server) es la base de datos que contiene los usuarios de la red LTE. Permite el acceso a la red de Banda Ancha LTE y la interoperabilidad a través de un Gateway de Paquetes (PDG, Packet Data Gateway).
- El MGCF (Media Gateway Control Function) que puede recibir interfaces TDM (como E1s) de la RTCP para extraer la señalización número 7 (SS7).
- El MGW (Media Gateway), que también recibe interfaces TDM, y adapta las muestras de voz a la codificación VoLTE (VoIP) usada en la RNTE.

La interconexión de las unidades que componen el IMS con el EPC se hace a través de una red IP como muestra la siguiente figura:



**Ilustración 33 Interconexión de los Componentes del IMS**  
Fuente: Grupo Consultor

La interconexión del Core de la RNTE con las redes móviles tipo RTMC depende de los servicios a ofrecer.

Para el caso de datos:

- Se requiere un SGC (Service Gateway Controller) que se interconecte con la RTMC del operador a través de interfaces IP.

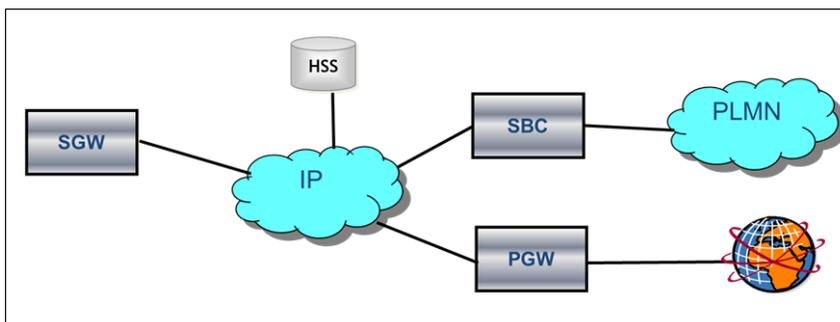
Para el caso de voz se hace a través del IMS de la RNTE:

- En caso que el operador RTMC no tenga Rel 4 o superior, el tema se convierte similar al caso de la RTPBC visto anteriormente, donde el MGW y el MGCF se interconectan con la MSC del operador móvil.

- En caso que el operador RTMC tenga Softswitch o IMS, la interconexión se hace con interfaces IP a través del SGC. Se tratan como datos ya que es VoIP, donde la señalización va por el protocolo SIP y las muestras de voz por RTP/RTCP.

La interconexión del Core LTE de la RNTE con internet se hace normalmente a través del PGW usando la interfaz IP.

En las interconexiones IP que salen de la RNTE es necesario tomar las medidas de seguridad como el uso de firewalls. La figura siguiente aclara las interconexiones mencionadas.



**Ilustración 34 Interconexión de los Componentes del EPC**  
Fuente: Diseño del Grupo Consultor

### 7.3 PROPUESTA DE DISEÑO

En el desarrollo de la consultoría, el Grupo Consultor informó de los últimos acontecimientos y pronunciamientos con respecto al uso de LTE en redes PPDR por parte de los organismos de estandarización mundial en la banda de 700 MHz al MinTIC. Con base en lo anterior, el Grupo Consultor presentó la propuesta de realizar el diseño de la RNTE en el estándar LTE y descartar el diseño de la RNTE con una tecnología de banda estrecha por la inminente obsolescencia de esta tecnología frente al estándar de banda ancha LTE para redes PPDR.

La implementación de una red de banda estrecha requeriría de grandes inversiones con pocos beneficios, frente a mayores beneficios de una red de banda ancha e inversiones menores. De hecho, el costo de actualizar la infraestructura existente de la red PPDR en Estados Unidos, por ejemplo, se ha estimado en 18 mil millones de dólares. En contraste, se encontró que el despliegue de una única red LTE de 700MHz a nivel nacional para voz y datos tendría un costo de alrededor de 10 mil millones de dólares.<sup>144</sup>

<sup>144</sup> Hallahan, Ryan y Jon M. Peña. "Cuantificación de los costos de una red nacional de telefonía pública inalámbrica de seguridad." Work Paper Ing. Carnegie Mellon University. Accedido mayo de 2011. [http://www.andrew.cmu.edu/user/rhallaha/papers/quantifying\\_costs\\_of\\_PS\\_network.pdf](http://www.andrew.cmu.edu/user/rhallaha/papers/quantifying_costs_of_PS_network.pdf)



El MinTIC acogió la propuesta de realizar el diseño de la RNTE con la tecnología LTE en la banda del Dividendo Digital, donde se asignaría un bloque de espectro para que un operador explote comercialmente la red, bajo la condición de que opere y administre la RNTE<sup>145</sup>. Dicho operador deberá garantizar la prioridad, disponibilidad y funcionalidad del tráfico y del sistema de los usuarios de la RNTE en condiciones de emergencia. Para ser viable este modelo, se estudiarán los incentivos y obligaciones a cargo de dicho operador.

Igualmente, el MinTIC indicó que este proyecto tomará tiempo, en razón a la definición de los estándares, de la subasta del Dividendo Digital, de la limpieza del espectro y de la implementación en sí misma por lo que recomendó al Grupo Consultor que estudiara la manera de utilizar las actuales redes 2G y 3G de los operadores móviles celulares para dar soporte a la RNTE.

De conformidad con lo anterior, la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia, objeto de diseño será es una red mixta integrada, que incluya diferentes tecnologías:

- LTE para la nueva red que será el centro y unión de la RNTE, con la inclusión de:
  - Las redes de los PRST existentes con exigencias de tipo regulatorio para priorización de tráfico en casos de catástrofes.
  - Tecnología de PoC sobre las redes 3G móviles, para autoridades con terminales propios para la atención de emergencias y desastres.
  - Fortalecimiento con ampliación de cobertura para las actuales redes de radio en banda VHF y HF que se tienen implementadas en la UNGRD, CDGR y CMGR.

La RNTE debe soportarse e integrar a las diferentes redes existentes en el país que le permita obtener cobertura y robustez requerida rápidamente, utilizando:

- La infraestructura base existentes en el país (Torres de comunicación, espacios físicos, energía eléctrica, tierras, protecciones, etc.).
- Redes de transporte de fibra óptica de los PRST, con respectivos respaldos, especialmente la nueva red de Fibra óptica del proyecto Vive Digital, que conectará la mayoría de las poblaciones del país.

---

<sup>145</sup> Acta No.11 de 21 de febrero de 2013, celebrada entre el MinTIC y el Grupo Consultor, en compañía de la ANE, CRC y UNGRD.



Como contingencia para casos extremos se deberán contratar estaciones base móviles, con enlaces de transporte satelitales, que puedan ser desplegadas en casos de desastres a diferentes lugares del país.

El diseño de esta red deberá implementarse en las siguientes fases:

### **7.3.1 Fase I: Implementación sobre las Redes Existentes de Telefonía Pública Fijas y Móviles**

#### **7.3.1.1 Implementación Sobre las Redes Existentes de Telefonía Móviles y Fijas**

Los PRST móviles establecidos en el país cubren el 94,65%<sup>146</sup> (1.044 municipios) de las 1.103 cabeceras municipales del objetivo de cobertura, con sus redes combinadas en tecnologías 2G y 3G. El uso de estas redes para la RNTE tendría las siguientes ventajas:

- 1) Estas redes se encuentran funcionando y no requieren de mayores inversiones.
- 2) Mayor Cobertura:
  - a. 1.044 cabeceras municipales de las 1.103 definidas como el alcance de la red RNTE.
  - b. Cobertura en un alto porcentaje de las zonas rurales del País. Corregimientos y/o veredas que se han beneficiado tanto de las radio bases instaladas inicialmente para cumplir con la exigencia del gobierno de cubrir las principales carreteras, como de la competencia de las tres operadoras por masificar el servicio.
- 3) Mayor número de portadoras de radio con mayor ancho de banda, que se traduce en un mayor ofrecimiento de servicios y la posibilidad de transmisión de datos a velocidades relativamente altas.
- 4) Acceso a radio bases UMTS (3G) en 1.044<sup>147</sup> cabeceras municipales del país que permite la conexión de terminales especializados como tablets, Smartphones, etc.
- 5) La penetración celular en Colombia es 105,3% de acuerdo al informe del cuarto trimestre del 2012 del MinTIC<sup>148</sup>.

Sin embargo tienen como desventajas que son redes altamente saturadas por tráfico comercial. Adicionalmente estas redes no fueron diseñadas para misión crítica por lo que no cuentan con los atributos requeridos para una red de emergencia, como son:

---

<sup>146</sup> Información recopilada por el grupo consultor cruce de información de las bases de datos de radio bases entregadas por el MINTIC, con la tabla de municipios del DANE y la información de las páginas Web de los PRST

<sup>147</sup> Información recopilada por el grupo consultor cruce de información de las bases de datos de radio bases entregadas por el MINTIC, con la tabla de municipios del DANE y la información de las páginas Web de los PRST

<sup>148</sup> Boletín trimestral de las TIC- Cifras IVT 2012: [www.mintic.gov.co/index.php/cifras](http://www.mintic.gov.co/index.php/cifras)



- Alta disponibilidad.
- Control y restricción de tráfico en casos de emergencia con priorización para las autoridades que manejan las emergencias.
- Seguridad física y lógica de la red.
- Resiliencia.
- Baja latencia.
- Interoperabilidad con las entidades de atención de emergencia y desastres.

De otra parte la gran mayoría de redes móviles existentes actualmente en Colombia son de tecnología 2G y 3G, las cuales tienen limitaciones para transportar grandes cantidades de datos sobre sus redes, ya que han sido diseñadas para tráfico de voz.

Por su parte PRST con redes fijas, si bien tienen una amplia cobertura, ya que cubren prácticamente todos los municipios del país, son limitadas en penetración a la población colombiana, 13,50%, de acuerdo al informe del cuarto trimestre del 2012 del MinTIC<sup>149</sup>, de otra parte las redes fijas más susceptibles a daños en casos de desastres y por su falta de movilidad tienen limitaciones en casos de emergencia.

Para estas redes se propone expedir la normatividad requerida con el fin de:

- 1) Implementar la priorización de llamadas sobre las Redes de Telefonía Fija y Móvil para los usuarios del SNGRD<sup>150</sup> que intervienen directamente en las fases de atención y recuperación de desastres. Esta funcionalidad se encuentra descrita en el documento “Análisis técnico, normativo, financiero y propuesta de un marco normativo para el fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia”.
- 2) Incorporar dentro de las “obligaciones de hacer” asociadas con otorgamiento y/o renovación de permisos de usos del espectro radioeléctrico en las bandas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT por sus siglas en inglés), así como con los procedimientos de implementación de la finalización del régimen de transición de los operadores cuyas condiciones de habilitación respetadas por el régimen de transición de la Ley 1341 de 2009 están próximas a expirar, las siguientes:
  - Brindar soporte a las telecomunicaciones AUTORIDAD-AUTORIDAD de las entidades que forman parte del SNGRD a partir tanto de las redes actuales 2G y 3G, como de la dotación de sus redes con el hardware y el software que permita la

<sup>149</sup> Boletín trimestral de las TIC- Cifras IVT 2012: [www.mintic.gov.co/index.php/cifras](http://www.mintic.gov.co/index.php/cifras)

<sup>150</sup> Se entienden todas las autoridades que forman parte del SNGRD de conformidad con la Ley 1523



facilidad de Push to Talk over Cellular (PoC), definido en el estándar desarrollado por el Open Mobile Alliance como un "servicio de comunicación bidireccional que permite a los usuarios PoC participar en una comunicación inmediata con uno o más usuarios PoC. Es un servicio similar a una aplicación walkie-talkie en la que pulsando un botón establece una comunicación con un usuario o a un grupo de usuarios PoC.

- Disponer de teléfonos móviles con características físicas propias de redes de emergencia tales como protección ante golpes, caídas, resistencia al agua, altas temperaturas, etc. a los usuarios de las agencias que atienden las emergencias.

Los requerimientos específicos que deberán incorporar en su red los actuales operadores celulares para los servicios de PoC se fijaran en la sección 8.4.1.2 y las características de los terminales para soportar este tipo de solución se describen en la sección 8.4.1.3.

### **7.3.1.2 Fortalecimiento de la Red de Radio en Bandas HF y VHF de la UNGRD y de los CDGR y CMGR**

Colombia cuenta en la actualidad con varias redes las entidades de socorro del país: UNGRD, CDGR, CMGR, Defensa Civil, Cruz Roja de Colombia, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia y el Ministerio de Salud; las cuales han sido desarrolladas por cada entidad de manera independiente, con diferentes recursos, directrices, operatividad y coberturas del país. Estas redes tienen un papel importante en los casos de desastres ya que son bastante sólidas, confiables y normalmente permanecen operativas en las peores circunstancias.

Por otro lado redes no están integradas, algunas cuentan con tecnología obsoleta y no todas están en condiciones de operatividad, sea por falta de frecuencias aprobadas, por no instalación de los equipos en las diferentes sedes, no asignación de recursos para su operación, falta de mantenimiento o equipos obsoletos de los que ya no se consiguen repuestos.

Se utilizan dos tipos de tecnología para estas redes de radio en Bandas HF y VHF:

- Redes de radio en banda HF:** Los sistemas de radio de onda corta por sus características de propagación pueden viajar grandes distancias (bajo determinadas condiciones, hasta miles de kilómetros). El comportamiento anterior se debe a que estas frecuencias pueden reflejarse en capas de la atmósfera en especial en la ionosfera, sin sufrir atenuaciones importantes, lo cual permite realizar comunicaciones entre estaciones muy distantes entre sí, sin necesidad de repetidores. No requieren de grandes inversiones, ni torres de comunicaciones especializadas y su instalación es simple. Trabajan en frecuencias de 3 a 30 MHz y se usan para transmisión de voz punto a punto en una sola vía (half dúplex).

Las comunicaciones en esta banda son menos confiables que en otras bandas, dado que a lo largo de un día las características electromagnéticas de la ionosfera cambian



continuamente, lo que cambia la calidad de la comunicación y hasta la pérdida de la misma en diferentes horas del día. La importancia de esta banda de frecuencias radica en que puede ser la alternativa de comunicación más económica en sitios en los cuales no se puede llegar por otros medios, o donde llegar implicaría grandes inversiones.

Un análisis en detalle de las redes existentes en esta banda y las opciones para su fortalecimiento se encuentra en la sección 8.2.

- b. Redes de radio en banda VHF:** La UNGRD, los CDGRD y algunos CMGRD, así como de las entidades de socorro del país cuentan con redes regionales basadas en tecnologías VHF, las cuales permiten la comunicación de los miembros de cada entidad y los municipios que tienen cobertura, dentro de cada departamento. En algunos departamentos todos tienen comunicación con su respectiva sede departamental ubicada en la capital del departamento. Un análisis en detalle de las redes existentes se encuentra en la sección 8.3.1.

Estas redes trabajan en frecuencias de 30 a 300 MHz; son redes multipunto, con comunicación de voz de una vía (half dúplex), son mucho más confiables que las redes de radio en banda HF, pero tienen menos alcance de propagación y requieren de mayores inversiones, torres de comunicaciones y estaciones repetidoras.

Se propone fortalecer la red de radio en banda VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR para que tenga una amplia cobertura en los sitios vulnerables del país y pueda servir como una red redundante en caso de presentarse un desastre que deje por fuera de servicio parte de la infraestructura de las redes de telefonía fija y móvil. En la sección 8.3.5 se encuentra el diseño completo de la ampliación de cobertura de la red de radio en banda VHF.

### 7.3.2 Fase II: Implementación de la Nueva RNTE - LTE

De acuerdo al análisis realizado por el Grupo Consultor en la sección 3.5, las redes de banda ancha móviles migrarán todas sin discusión hacia el estándar LTE (Long Term Evolution).

La tecnología seleccionada por el Grupo Consultor y aprobada por el MinTIC para la nueva RNTE está basada en LTE, cuarta generación de los sistemas móviles, desarrollado por el 3GPP, el cual está desarrollando la estandarización de las redes de seguridad pública y emergencias con base al estándar LTE bajo el Release 12<sup>151</sup>.

---

<sup>151</sup> Delivering Public Safety Communications with LTE. 3GPP. Enero 2013.



Esta tecnología permitirá la ampliación de los servicios existentes en las redes actuales, que solo permiten la transmisión de voz, a transmisión de servicios multimedia: imágenes, video, datos, monitoreo, actualización y visualización de bases de datos, sistemas de localización, mapas digitalizados, etc. todo en línea, elementos de vital importancia para la toma de decisiones en eventos de emergencia y desastres.

El diseño completo de la nueva Red de Telecomunicaciones de Emergencia en tecnología LTE en banda de 700 MHz, en el Capítulo 9 de este documento.

Esta fase tiene las siguientes opciones de viabilidad respecto a su implementación:

**a. Subasta del espectro de Dividendo Digital (banda de 700 MHz)**

Es la opción recomendada por el Grupo Consultor y consiste en destinar 30 MHz del espectro disponible en el Dividendo Digital, el cual será subastado por el Estado colombiano en los próximos meses con la canalización de Asia-Pacífico que ha sido aprobada por la ANE y el MinTIC.

En dicha subasta, los operadores celulares entrantes y los establecidos que no hayan superado el tope de espectro en las bandas bajas (entre 698 MHz y 960 MHz), el cual es de 30 MHz<sup>152</sup>, pujarán por 90 MHz de espectro comprendido entre 698 MHz y 806 MHz.

Esta banda es conocida también como la banda de 700 MHz y se caracteriza por tener un gran radio de alcance y una muy buena penetración comprobada en edificios y sótanos. Lo que permite desarrollar redes de gran cobertura con un número reducido de estaciones cuando se compara con las requeridas en las bandas más altas.

La propuesta es que a un operador comercial se le asigne dos bloques de 15 MHz, de estos 90 MHz, para que éste lo explote comercialmente, al tiempo que desarrolla en la misma infraestructura de la RNTE. Esto con el compromiso relevante de que en eventos de emergencia, el tráfico de los usuarios de las entidades del SNGRD tiene prioridad sobre cualquier tipo de tráfico comercial en las zonas afectadas.

Por su parte los usuarios de las entidades que conforman el ecosistema del SNGRD se dotarán con terminales LTE con características y funcionalidades PPDR para que operen en ambientes extremos sin que sufran daños significativos que impidan el acceso de los usuarios. Adicionalmente, los usuarios de la RNTE podrán tener itinerancia en los diferentes segmentos del espectro en la banda de 700 MHz.

---

<sup>152</sup> Tope máximo de espectro radioeléctrico para uso en servicios para PRST en las bandas bajas según el decreto 2980 de 19 agosto de 2011



Estos terminales deberán ser multi-banda/multi-modo, capaces de operar en las tecnologías celulares existentes (GSM-UMTS-LTE) para garantizar el mayor cubrimiento de la red celular actual, mientras que el cubrimiento de la red de LTE alcance un alto porcentaje.

Para lograr el éxito de esta fase, el Estado colombiano debería reconocer que el espectro utilizado por el operador seleccionado tiene un costo menor que el espectro de uso exclusivo para operaciones comerciales.

#### **b. Banda de 800 MHz**

El diseño propuesto para la banda de 700 MHz, a groso modo y con pequeños cambios, también puede ser aplicable para banda de 800 MHz, la cual puede disponerse bajo el mismo principio anterior para negociación con cualquier operador al que se le asigne esta banda para la comercialización de LTE, con las condiciones que se especifican en el diseño de la red para la implementación, operación y mantenimiento de la RNTE.

#### **c. Implementación propia**

Como última opción el Estado puede optar por la implementación de esta red con recursos propios en la banda que se asigne, entre 700 y 800 MHz, pero esta no es una opción que el Grupo Consultor considera viable por la gran inversión que implica para el Estado, tanto en la inversión inicial, como en los costos requeridos para asegurar la sostenibilidad de la RNTE en el tiempo.



## 8 DISEÑO DE LA RNTE SOPORTADA SOBRE LAS REDES PÚBLICAS DE TELECOMUNICACIONES FIJAS Y MÓVILES

En este capítulo se contempla presentar el diseño de la RNTE soportada sobre las Redes Públicas de Telecomunicaciones Fijas y Móviles como redes principales, y sobre la Red de Radio en bandas HF y VHF que actualmente se tiene implementada en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR, como redes de respaldo.

Inicialmente se presenta la propuesta de implementar la funcionalidad de “Priorización de llamadas sobre las Redes de Telefonía Fija y Móvil, para las autoridades SNGRD, durante las emergencia”, con el fin de asegurar que la RNTE se pueda soportar sobre las Redes Públicas de Telecomunicaciones Fijas y Móviles.

Posteriormente se presenta la propuesta del fortalecimiento de la Red de Radio en Bandas HF y VHF, que servirá como redes de respaldo en el evento en que se presente algún desastre que afecte la prestación de servicios sobre las Redes de Telefonía Fija y Móvil.

Esta propuesta se fundamenta en que la UNGRD, los CDGR, los CMGR, las entidades de socorro del país, se comunican al interior de cada una de sus entidades y entre ellas mismas mediante:

- Las Redes Públicas de Telecomunicaciones Fijas y Móviles
- Redes de Radio en Bandas HF y VHF de propiedad de cada una de estas entidades
- Otros sistemas de comunicaciones disponibles en algunas de estas entidades, tales como internet, radios en banda UHF y equipos satelitales.

### 8.1 REDES MÓVILES Y FIJAS EXISTENTES

#### 8.1.1 Cobertura de las redes móviles

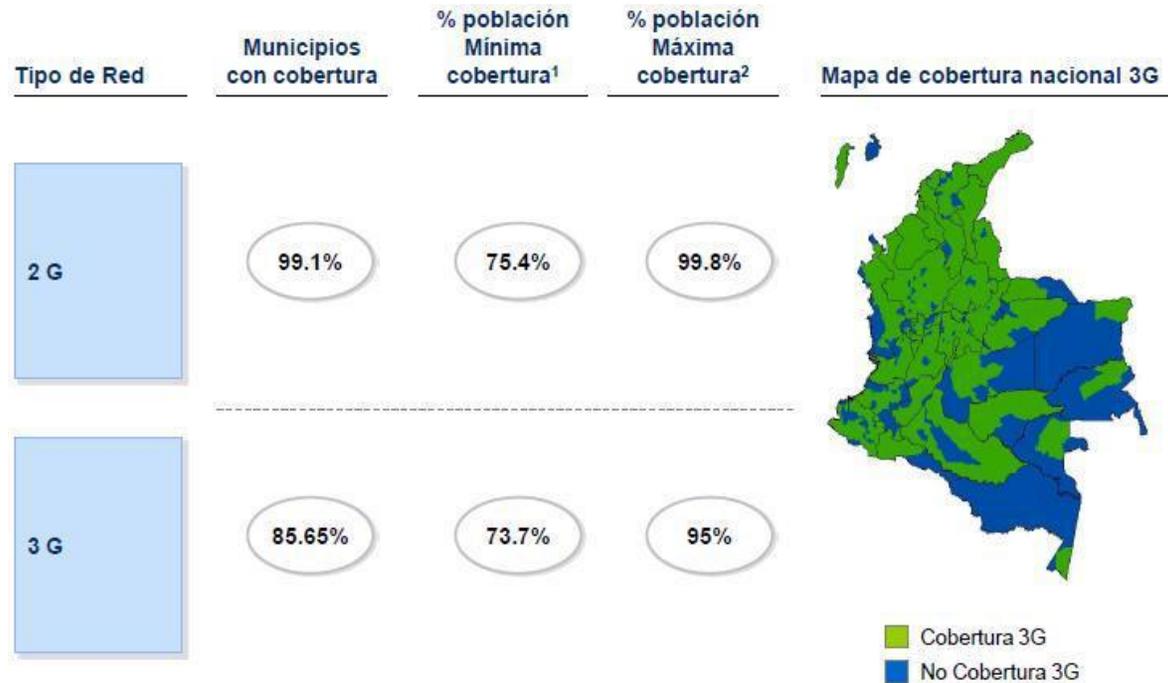
*“La realidad tecnológica en la red de acceso de las tres principales empresas móviles, TIGO, MOVISTAR y CLARO es similar, en el sentido de que se trata de redes con tecnologías 2G (GSM), con una migración hacia tercera generación UMTS, y primeros desarrollos en HSPA+.*

*Quizá la mayor diferencia entre las redes podría radicar en la cobertura. Sin embargo, a pesar de la gran diferencia existente en la participación de mercado de cada una de las tres redes de mayor tamaño, la cobertura superficial de los tres proveedores es bastante amplia. De hecho, la*

cobertura con GSM (2G) es prácticamente completa a lo largo y ancho del el territorio nacional<sup>153</sup>.

En términos prácticos, la implementación de redes de acceso (en adelante RAN, por sus siglas en inglés de Radio Access Network) mixtas con 2G GSM y 3G UMTS tienen base en la utilización de sitios 3G puros, 2G puros, y sitios co-localizados 2G/3G.

La siguiente ilustración resume los aspectos relevantes en cuanto a cobertura, ERE y bandas de operación de las redes móviles en Colombia.



1. Población en cabeceras municipales  
2. Población total  
FUENTE: Análisis de Equipo, MinTIC-2010

**Ilustración 35 Mapa de Cobertura 3G en Colombia (2010)**  
Fuente: Vive Digital (2011)

“Ahora bien, la información de cobertura geográfica al 2012 corresponde a una estimación<sup>154</sup> medida en kilómetros cuadrados, la cual se realizó con fundamento en la información topológica de Colombia, y en la base de datos de los sectores de antenas entregadas por los operadores

<sup>153</sup> •TIGO tiene una red de acceso con despliegue de 2G GSM, 3G UMTS y 3.9G HSPA+ y estima una cobertura del 45% de la población con esta última tecnología en el primer trimestre de 2012. •CLARO es la red de acceso con tecnología 2G GSM y 3G UMTS con mayor cobertura superficial y poblacional del país. Adicionalmente, Comcel lanzó en noviembre 2011 su red con HSPA+ con una cobertura gradual, iniciando en Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Pereira, y posteriormente, llegará a las principales ciudades. •MOVISTAR presenta despliegue de una red de acceso de 2G GSM y 3G UMTS, con una oferta comercial que en algunos sitios podría llegar hasta una velocidad de 1.4 Mbps en la navegación. Así mismo ha indicado que próximamente iniciará el servicio con tecnología HSPA+. •El operador UNE ha iniciado en junio 2012 su oferta de servicios de datos soportados en la tecnología LTE.

<sup>154</sup> Elaborada por Dantzig Consultores Ltda. a partir de reportes de las empresas a MINTIC, 1T 2012.



al MINTIC , en el primer trimestre del año; con base en esa información, es decir la localización del sitio, la orientación de la señal que se tiene en cada sector, y la topología del terreno, se puede estimar esta cobertura. En este caso la cobertura estimada para el primer trimestre del 2012 para CLARO, es de 374 mil Km<sup>2</sup>; para MOVISTAR, 268 mil Km<sup>2</sup>; y para TIGO, 136 mil Km<sup>2</sup>; con una cobertura 3G por empresa estimada de 284 mil Km<sup>2</sup> en el caso de CLARO, 121 mil Km<sup>2</sup> para MOVISTAR y 76 mil Km<sup>2</sup> para TIGO.”<sup>155</sup>

El Grupo Consultor, realizó un análisis de la información suministrada por el MINTIC acerca de los radiobases reportadas por los operadores (Claro, Movistar y Tigo) y encontró que al finalizar el tercer trimestre de 2012, entre los tres operadores se encontraban cubiertos 1.093 municipios con tecnología 2G que equivale al 97,3% de los 1.123 municipios (incluyendo áreas no municipalizadas y Belén de Bajirá) tomados de la base de datos del DANE<sup>156</sup> para el mismo año. De igual manera se encontró que 1.071 municipios contaban con cobertura 3G, equivalente al 95,4% de los 1.123 municipios mencionados en dicha base de datos.

La cobertura de cada operador por cantidad de municipios con respecto a los 1.123 municipios se muestra en la siguiente tabla:

Municipios	TIGO	MOVISTAR	COMCEL
<b>Con GSM</b>	647	785	1018
<b>Con UMTS</b>	630	701	975
<b>Total Municipios</b>	<b>662</b>	<b>800</b>	<b>1021</b>
<b>% Cobertura</b>	<b>58,95%</b>	<b>71,24%</b>	<b>90,92%</b>

Tabla 21 Cobertura de los principales operadores móviles del país 2012-3T  
Fuente: Grupo Consultor

### 8.1.2 Priorización de Llamadas sobre las Redes de Telefonía Fija y Móvil, para las Autoridades SNGRD, durante las Emergencias

Esta funcionalidad es esencial para que los usuarios que conforman el SNGRD se puedan comunicar en el evento de una emergencia; esta priorización será obligatoria para todos los PRST existentes tanto fijos, como móviles. En el documento “Análisis técnico, financiero y jurídico para la propuesta de un marco normativo para el fortalecimiento del SNTE”, se presentan el análisis de las soluciones propuestas por el Grupo Consultor sus costos estimados y la propuesta regulatoria al respecto, que obligue a los PRST del país a aplicar esta priorización de tráfico en casos en los que sea declarada la emergencia.

<sup>155</sup> Análisis de alternativas de diseño para la subasta de espectro radioeléctrico para servicios 4G y posibles escenarios competitivos - Documento Técnico. Comisión de Regulación de Comunicaciones – República de Colombia. Agosto de 2012.

<sup>156</sup> Proyección de población 1985-2020. DANE.



## 8.2 RED DE RADIO EN BANDA HF

### 8.2.1 Situación Actual

Para formular las recomendaciones acerca del funcionamiento de esta red, se tomó como punto de referencia el inventario nacional de equipos de radiocomunicaciones remitido por el MinTIC, que a su vez fue suministrado por la UNGRD.

#### 8.2.1.1 Red de Radio en banda HF de la UNGRD, CDGRD y CMGR

Esta red de radio en banda HF surge como una red privada alterna o de respaldo ante la necesidad de generar comunicaciones centralizadas entre las Instituciones gubernamentales como lo son, la UNGRD y los actuales CDGRD, unidades dependientes de las Gobernaciones y los CMGRD dependientes de las Alcaldías Municipales.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto con potencia de operación de 100W y área de servicio nacional.

Cuenta con equipos HF digitales, en las bandas de frecuencias de 2-30MHz. Equipos fijos MARCA ICOM IC - 78 HF TRANSCEIVER, en USB, con antena tipo dipolo, modelo AH-710, cable de transmisión coaxial en longitud de 30 metros y Conectores PL259.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

La Red de Telecomunicaciones de Emergencias en HF de la UNGRD, opera con las frecuencias radioeléctricas 9.150MHz y 10.810MHz. Estas frecuencias tienen la función de realizar un cubrimiento a nivel nacional, en comunicaciones de larga distancia, teniendo en cuenta la diversidad en las condiciones atmosféricas del territorio colombiano.

En la siguiente tabla se resume el estado operativo de los equipos de radiocomunicaciones HF, según la información recibida por parte del Grupo Consultor.

DESCRIPCIÓN	EN OPERACIÓN	FUERA DE OPERACIÓN	TOTALES
<b>Cantidad de Radio Bases HF</b>	11	21	<b>32</b>
<b>Departamentos Cubiertos o por Cubrir</b>	Amazonas, Santander, San Andrés, Risaralda, Nariño, Huila, Guaviare, Caquetá, Caldas, Atlántico, Bogotá	Bolívar, Vichada, Arauca, Vaupés, Tolima, Sucre, Quindío, Putumayo, Norte de Santander, Magdalena, La Guajira, Córdoba, Chocó, Cesar, Antioquia, Casanare, Cauca, Guainía, Valle, Meta, Vaupés	<b>32</b>

**Tabla 22 Inventario Equipos UNGRD Banda HF**

**Fuente UNGRD Colombiana**

En el Anexo II Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR en Banda HF se encuentran las características de cada uno de los puntos de esta red.

### Descripción de la Red de la UNGRD

La necesidad de Comunicación de la RNTE se ha definido por parte de la UNGRD, como una red punto a punto en estrella, con punto central a la ciudad de Bogotá, como se puede apreciar en el siguiente mapa de la red:



**Ilustración 36 Red de Radio en Banda HF de la UNGRD**  
Fuente: Levantamiento de información del Grupo Consultor

Por las condiciones de propagación de estos radios, esta vía de comunicación es particularmente útil en situaciones de desastre, especialmente en aquellos que hacen colapsar las redes de comunicación convencionales.



### 8.2.1.2 Red de Radio en banda HF de la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia

La Dirección Nacional de Bomberos se intercomunica mediante una red privada en HF a los 32 sectores regionales o departamentales de los Cuerpos de Bomberos para garantizar la permanente comunicación con cada uno de los cuerpos de bomberos a nivel regional.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto con potencia de operación de 100 W y área de servicio nacional.

Cuenta con equipos HF digitales, en las bandas de frecuencias de 2-30MHz. Equipos fijos MARCA ICOM IC - 78 HF TRANSCEIVER, en USB, con antena tipo dipolo, modelo AH-710, cable de transmisión coaxial en longitud de 30 metros y Conectores PL259.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

Dado que el Sistema del Cuerpo de Bomberos Nacional no posee frecuencias propias para el funcionamiento y operación de estos equipos, es necesario solicitarlas ante el MinTIC. En el momento la Dirección Nacional de Bomberos, ya realizó el trámite de solicitud necesario para la adjudicación de las mismas dentro de las normas establecidas para este fin, como son las radiocomunicaciones privadas y no para servicios a terceros.

En la siguiente tabla se detallan por departamentos los equipos de radiocomunicaciones que se encuentran en operación y los que están sin servicio, según la información recibida por parte del Grupo Consultor:

DESCRIPCIÓN	EN OPERACIÓN	FUERA DE OPERACIÓN	TOTALES
<b>Cantidad de Radio Bases HF</b>	10	22	32
<b>Departamentos Cubiertos o por Cubrir</b>	Boyacá, Santander, Huila, Caldas, San Andrés, Valle, Magdalena, Norte de Santander, Nariño, Quindío	Meta, Casanare, Guainía, Vaupés, Vichada, Amazonas, Antioquia, Tolima, Arauca, Sucre, Guaviare, Chocó, Córdoba, Cesar, Caquetá, Bolívar, Atlántico, Cauca, la Guajira, Putumayo, Risaralda, Cundinamarca.	32

**Tabla 23 Inventario Equipos Dirección Nacional De Bomberos De Colombia Banda HF**  
**Fuente Dirección Nacional De Bomberos De Colombia**

En el Anexo II Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR en Banda HF se encuentran las características de cada uno de los puntos de esta red.

### 8.2.1.3 Red de Radio en banda HF de la Defensa Civil Colombiana

La Defensa Civil Colombiana se comunica mediante una red privada en HF con las 32 Seccionales Departamentales de la Defensa Civil Colombiana para una rápida y eficaz atención



de los eventos naturales y/o antrópicos que se presenten y para un monitoreo de prevención diario.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto con potencia de operación de 100 W y área de servicio nacional.

Cuenta con equipos HF digitales, en las bandas de frecuencias de 2-30MHz. Equipos fijos MARCA ICOM IC - 78 HF TRANSCEIVER, en USB, con antena tipo dipolo, modelo AH-710, cable de transmisión coaxial en longitud de 30 metros y Conectores PL259.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

Los equipos de la red de Telecomunicaciones en HF de la Defensa Civil Colombiana, puede operar con las siguientes frecuencias radioeléctricas, asignadas por el MinTIC a esta Entidad.

Ítem	Frecuencia
F1	4.032.0 MHz
F2	4.195.0 MHz
F3	4.631.5 MHz
F4	5.450.0 MHz
F5	5.603.0 MHz
F6	6.223.0 MHz
F7	6.715.0 MHz
F8	7.622.0 MHz En Uso.
F9	7953.5 MHz
F10	8.407.0 MHz
F11	8.697.5 MHz
F12	9.479.5 MHz
F13	12.056.0 MHz
F14	13.565.0 MHz

**Tabla 24 Frecuencias HF de la Defensa Civil Colombiana**  
Fuente Defensa Civil Colombiana

El equipo de la red de Telecomunicaciones en HF de la Defensa Civil Colombiana, instalado en la Oficina de Comunicaciones del Centro Administrativo puede operar con las frecuencias radioeléctricas 9.150MHz y 10.810MHz, asignadas a la UNGRD, dado que se intercomunica habitualmente con la Central de Radiocomunicaciones de la UNGRD para monitoreo diario de rutina.

En la siguiente tabla se detallan por departamentos los equipos de radiocomunicaciones que se encuentran en operación y los que están sin servicio, según la información recibida por parte del Grupo Consultor.



DESCRIPCIÓN	EN OPERACIÓN	NO HAY INFORMACIÓN	TOTALES
<b>Cantidad de Radio Bases HF</b>	29	3	32
<b>Departamentos Cubiertos o por Cubrir</b>	Todos menos Vichada, Vaupés y Guainía de los que no se tiene información.	Vichada, Vaupés y Guainía	32

**Tabla 25 Inventario Equipos Defensa Civil Colombiana Banda HF**  
Fuente Defensa Civil Colombiana

En el Anexo II Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR en Banda HF, se encuentran las características de cada uno de los puntos de esta red.

#### 8.2.1.4 Red de Radio en banda HF de la Cruz Roja Colombiana

La Cruz Roja Colombiana se comunica mediante una red privada en HF a los 32 sectores regionales o departamentales y nacionales de la Cruz Roja Colombiana para el intercambio de información y brindar una rápida y eficaz atención de los eventos naturales y/o antrópicos que se presenten en las regiones.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto con potencia de operación de 100 W y área de servicio nacional.

Cuenta con equipos HF digitales, en las bandas de frecuencias de 2-30MHz. Equipos fijos MARCA ICOM IC - 78 HF TRANSCEIVER, en USB, con antena tipo dipolo, modelo AH-710, cable de transmisión coaxial en longitud de 30 metros y Conectores PL259. Cuenta con equipos móviles instalados en vehículos.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

Los equipos de la red de Telecomunicaciones en HF de la Cruz Roja cuentan 12 frecuencias en 3 redes, entre ellas la 9.180MHz a nivel nacional.

El equipo de la red de Telecomunicaciones en HF de la Cruz Roja, instalado en la Oficina de Comunicaciones del Centro Administrativo Nacional puede operar con las frecuencias radioeléctricas 9.150MHz y 10.810MHz, asignadas a la UNGRD, dado que se intercomunica habitualmente con la Central de Radiocomunicaciones de la UNGRD para monitoreo diario de rutina.

En la siguiente tabla se resume por departamentos los equipos de radiocomunicaciones que se encuentran en operación y los que están sin servicio, según la información por parte del Grupo Consultor.



DESCRIPCIÓN	EN OPERACIÓN	NO HAY INFORMACIÓN	TOTALES
<b>Cantidad de Radio Bases HF</b>	29	3	32
<b>Departamentos Cubiertos o por Cubrir</b>	Todos menos Valle, Huila, Meta de los que no se tiene información del estado operativo.	Valle, Huila, Meta.	32

**Tabla 26 Inventario Equipos Cruz Roja Banda HF**  
Fuente Cruz Roja Colombiana

En el Anexo II Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR en Banda HF se encuentran las características de cada uno de los puntos de esta red.

#### 8.2.1.5 Red de Radio en Banda HF del Ministerio de Salud

Cuenta con equipos HF digitales, en las bandas de frecuencias de 2-30MHz. Equipos fijos MARCA ICOM.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la disponibilidad de equipos de radiocomunicaciones para esta red, según la información recibida por parte del Grupo Consultor.

DESCRIPCIÓN	EN OPERACIÓN	NO HAY INFORMACIÓN	TOTALES
<b>Cantidad de Radio Bases HF</b>	4		4
<b>Departamentos Cubiertos o por Cubrir</b>	Cundinamarca Amazonas, Vaupés y Vichada	El resto del país	2

**Tabla 27 Inventario Equipos MinSalud Banda HF**  
Fuente Cruz Roja Colombiana

En el Anexo II Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de las Entidades Operativas de Socorro, MinSalud y UNGRD, CDGR, CMGR en Banda HF se encuentran las características de cada uno de los puntos de esta red.

#### 8.2.2 Propuesta de Fortalecimiento para la Red de Radio en Banda HF de la UNGRD, CDGRD y CMGR

El Grupo Consultor propone para optimizar el funcionamiento de esta red lo siguiente:

- Garantizar que todas las 32 capitales de departamento cuenten como mínimo con un radio en la banda HF.
- Poner en operación todos los equipos suministrados.



- Adquirir un terminal adicional para la UNGRD Bogotá, para comunicarse con Bomberos. Este equipo puede ser marca ICOM IC - 78 HF TRANSCEIVER, en USB, con antena tipo dipolo, modelo AH-710, cable de transmisión coaxial en longitud de 30 metros y Conectores PL259, estas son las características de los radios que utiliza UNGRD.
- Es necesario para un buen funcionamiento y operación de la red, contar con varios pares de frecuencias radioeléctricas (6 pares como mínimo) entre los 6 y los 13 MHz. Las frecuencias sugeridas que se relacionan a continuación, fueron reservadas a la UNGRD en años anteriores por el MinTIC: 6.397.5, 6.515, 7.595, 7.842, 8.130.7, 8.131, 9.150, 9.920, 10.810, 11.680, 12.220, 13.360, 13.760 MHz.

Con el fin de garantizar que la UNGRD, CDGR, CMGR, Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y Ministerio de Salud se puedan comunicar entre ellas, en el evento de un desastre, es necesario la definición de un canal de frecuencia en la banda HF, por parte del MinTIC, que sea de uso común para todas estas entidades.

## 8.3 RED DE RADIO EN BANDA VHF

### 8.3.1 Situación Actual

#### 8.3.1.1 Red de Radio en banda VHF de la UNGRD, CDGR y CMGR

Las redes de radio en banda de frecuencias VHF de la UNGRD de los CDGR y de los CMGR, tienen como finalidad comunicar los equipos portátiles y fijos de radiocomunicaciones con los CMGR y a su vez estos con los equipos de los CDGR, permitiendo así la conectividad a nivel regional.

La Central de Radiocomunicaciones funciona con cuatro (4) operadores a través de turnos las 24 horas, durante los 365 días al año, incluyendo sábados, domingos y días festivos.

- **Características técnicas**

Son redes punto a punto y punto-multipunto con potencia de operación de 25 W.

Cuenta con equipos análogos, análogos/digitales y digitales, en las bandas de frecuencias de 138-174MHz. Tecnología utilizada para la transmisión de voz en distancias cortas como promedio 50 Km a la vista. Opera con equipos para usuarios fijos y móviles, con diferentes modelos y marcas.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

La Red de la UNGRD opera con las siguientes frecuencias en VHF: Tx=161,675 MHz y Rx=165,225 MHz. Según la información aportada por ellos, la red de la UNGRD y los CMGR y CDGR utiliza un total de 69 canales (138 frecuencias).



## Redes de radiocomunicaciones en VHF Departamentales – Municipales

Las redes de radiocomunicaciones operadas actualmente por los Consejos Municipales y Departamentales para la Gestión del Riesgo, se encuentran bajo la responsabilidad de uso, mantenimiento y gestión de estos entes territoriales.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de equipos repetidores por zona del país que fueron incluidos en las simulaciones de Radiofrecuencia para la red de UNGRD.

ZONA	PUNTOS DE REPETICION
ANDINA	22
ATLANTICA	12
PACIFICA	10
T. NACIONALES	5
ARCHIPIELAGO	2

**Tabla 28 Puntos de Repetición Red de Radio banda VHF UNGRD**  
Fuente: UNGRD

En el Anexo III Inventario de las redes de UNGRD, Cruz Roja, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia en Banda VHF, se encuentra la tabla de excel con la información entregada por la UNGRD, CDGR y CMGR con la conformación de esta red.

### **8.3.1.2 Red de Radio en banda VHF de la Dirección Nacional de Bomberos**

La Dirección Nacional de Bomberos, tiene implementadas redes de radiocomunicaciones en VHF para intercomunicar a los sectores regionales entre sí, y estos últimos con la Dirección Nacional de Bomberos, para el intercambio de información y brindar una rápida y eficaz atención de los eventos naturales y/o antrópicos que se presenten en las diferentes regiones del país.

Varios de los equipos de telecomunicaciones en VHF de la Dirección Nacional de Bomberos se encuentran implementados y operando, otros de ellos se encuentran en proceso de instalación.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto, y Punto – Multipunto con potencia de operación de 25 W.

Cuenta con equipos de radiocomunicaciones inalámbricos digitales en las bandas de frecuencias de 136-174MHz.

La red de radio en banda VHF para el Cuerpo de Bomberos, tiene un cubrimiento departamental y local, sin interconexión hacia Bogotá.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

La información de frecuencias de operación utilizadas no se pudo consolidar y se conoce que actualmente se está en el proceso de solicitud de frecuencias suficientes a la ANE.



En la siguiente tabla se muestra el número de repetidores por zonas del país, los cuales fueron incluidos en la información de conformación de la red de la Dirección Nacional de Bomberos.

ZONA	PUNTOS DE REPETICION
ANDINA	18
ATLANTICA	2
PACIFICA	16
T. NACIONALES	8

**Tabla 29 Puntos de Repetición Red de Radio banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos**  
Fuente: Dirección Nacional de Bomberos

En el Anexo III Inventario de las redes de UNGRD, Cruz Roja, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia en Banda VHF se encuentra la tabla de excel con la información entregada por la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia con la conformación de esta red.

### 8.3.1.3 Red de Radio en banda VHF de la Cruz Roja Colombiana

La Cruz Roja Colombiana ha implementado la red de radio en banda VHF para intercomunicar a los sectores regionales entre sí.

- **Características técnicas**

Red Punto a Punto y Punto – Multipunto con potencia de operación de 25 W.

Las redes de VHF para la Cruz Roja Colombiana tienen un cubrimiento departamental y local, sin interconexión hacia la base principal en Bogotá.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

La red de Cruz Roja Colombiana utiliza un total de 44 canales (88 frecuencias) según la información aportada por ellos.

En la tabla siguiente se puede observar el número de equipos repetidores, distribuidos por zonas, que conforman esta red.

ZONA	PUNTOS DE REPETICION
ANDINA	19
ATLANTICA	8
PACIFICA	6
T. NACIONALES	5
ARCHIPIELAGO	1

**Tabla 30 Puntos de Repetición de la Red Cruz Roja Colombiana**  
Fuente: Cruz Roja colombiana

En el Anexo III Inventario de las redes de UNGRD, Cruz Roja, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia en Banda VHF se encuentra la tabla de excel con la información entregada por la Cruz Roja Colombiana con la conformación de esta red.



### 8.3.1.4 Red de Radio en banda VHF de la Defensa Civil Colombiana

La Defensa Civil Colombiana ha implementado la red de radio en VHF y para intercomunicar a los sectores regionales entre sí.

- **Características técnicas de la red de radio en VHF**

Red Punto a Punto y Punto Multipunto con potencia de operación de 25 W.

- **Frecuencias de operación utilizadas**

Según la información aportada por la Defensa Civil Colombiana su red de radio utiliza 45 canales (90 frecuencias).

Las redes de VHF para Defensa Civil Colombiana, tienen un cubrimiento departamental y local, sin interconexión hacia la base principal en Bogotá. Tienen un nivel de cobertura limitado.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de la constitución de esta red para cada una de las zonas del país.

ZONA	PUNTOS DE REPETICION
ANDINA	19
ATLANTICA	8
PACIFICA	6
T. NACIONALES	3
ARCHIPIELAGO	1

**Tabla 31 Puntos de Repetición de la Red de Radio en banda VHF de Defensa Civil Colombiana**

Fuente: Defensa Civil colombiana

En el Anexo III Inventario de las redes de UNGRD, Cruz Roja, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia en Banda VHF se encuentra la tabla de excel con la información entregada por la Defensa Civil Colombiana con la conformación de esta red.

### 8.3.1.5 Red de Radio en banda VHF del MINISTERIO de Salud MINSALUD.

Para determinar la cobertura de esta Red de Radio en la Banda VHF se recibió información de siete puntos de repetición en el país, cinco de ellos ubicados en el departamento de Antioquia, uno en el departamento de Arauca y uno en Amazonas.

ZONA	PUNTOS DE REPETICION
ANDINA	5
T. NACIONALES	2

**Tabla 32 Puntos de Repetición de la Red de Radio en Banda VHF de MinSALUD**

Fuente: MinSALUD



En el Anexo III Inventario de las redes de UNGRD, Cruz Roja, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos de Colombia en Banda VHF se encuentra la tabla de excel con la información entregada por MINSALUD acerca de la conformación de esta red.

### **8.3.2 Propuesta de Fortalecimiento de la Red de Radio en Banda VHF de la UNGRD, CDGR Y CMGR**

A partir del análisis de las coberturas en radiocomunicaciones VHF de la red de radio en banda VHF de la UNGRD y de los CDGR y los CMGR, desplegada en todo el país y de la consulta de la información de las zonas de riesgo por multi-amenazas que fue presentada en el segundo Capítulo, se formuló la siguiente propuesta de fortalecimiento para la red de radio en banda VHF de la RNTE:

- A la red conformada por los sitios, en los cuales se tienen instalados equipos repetidores, de la red de radio en banda VHF de la UNGRD se le adicionarán los nuevos sitios requeridos para aumentar la cobertura en las cabeceras municipales que actualmente no están cubiertas por esta red y que se encuentren en riesgo de multi-amenaza.
- Se propone además la instalación de equipos receptores (terminales radio base) en cabeceras municipales que por condiciones geográficas así lo requieran, esto como soluciones de extensión de cobertura. La propuesta de ubicación de todos los sitios adicionales se basa siempre en infraestructura existente de redes públicas o privadas inalámbricas del país.

Por lo anterior se define que la red de Acceso de la RNTE fortalecida para VHF estará conformada por los puntos de radiación existentes actualmente en la UNGRD, en los CDGR y en los CMGR, y los adicionales que se agregaron en el diseño para complementar o mejorar la cobertura de esa red.

### **8.3.3 Metodología del Diseño**

El procedimiento descrito a continuación aplica para determinar la cobertura de la red de la UNGRD, de los CDGR, de los CMGR y de todas las redes de las entidades de socorro incluidas en este estudio.

#### **1. Depuración de la información de ubicación de los sitios de las redes existentes y de sus características técnicas:**

La información de sitios utilizada corresponde a la entregada por el MINTIC, la cual fue recolectada y organizada por la UNGRD, las redes de los organismos de socorro: Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana, Dirección Nacional de Bomberos y MinSalud. A partir de la recepción de esta entrada se inició el proceso de estandarización que permitió utilizar dicha información en la herramienta de predicción de Radiofrecuencia. Este proceso para lograr



ubicar los sitios en la cartografía utilizada por la herramienta de predicción, se realizó conforme se describe a continuación:

- La clasificación se realizó escogiendo la información acerca de puntos radiantes, excluyendo la referente a equipos terminales de usuario (equipo base o portátil); esto se hizo a partir de la consulta a las personas de contacto en a UNGRD, CDGR, CMGR, Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana y Cruz Roja Colombiana. Adicionalmente, se recurrió al conocimiento que tiene el equipo Grupo Consultor de la estructura y el funcionamiento de estas redes de emergencia específicas.
- Se organizó la información unificando formatos en todas las especificaciones recibidas (tipos de antena, frecuencias, potencias, coordenadas).
- Se complementó la información de ubicación (dirección o descripción para obtener las coordenadas faltantes) mediante la aplicación de un software de SIG (Sistema de Información Geográfica) y solicitando aclaraciones a los mismos funcionarios de contacto mencionados anteriormente.

## **2. Corrección de la información de coordenadas geográficas:**

Las coordenadas recibidas al ser visualizadas en la herramienta de predicción presentaron dos tipos de inconvenientes:

- El punto no correspondía con la descripción del sitio: Por ejemplo, se hace referencia a una alcaldía y el despliegue mostrado en la herramienta mostraba el punto alejado de la cabecera municipal. Esto se corrige desplazando el punto a la coordenada correspondiente con la descripción.
- El punto ubicado en un cerro está obstruido por el relieve o situado en la falda de la montaña; Se infiere que esta no es la ubicación adecuada porque no se brinda la cobertura óptima. Esto se corrige ubicando el repetidor en la torre que se visualiza utilizando un software de SIG o a partir del conocimiento de campo del Grupo Consultor.

Como resultado de este proceso, se consolidó el Anexo IV Sitios existentes de la Red de Radio en Banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR con los comentarios de verificación de información.

En este anexo, se encuentra la tabla de excel con las coordenadas utilizadas para el despliegue de la cobertura de esta red, se incluye la columna comentarios de la UNGRD , CDGR y CMGR y las entidad de Socorro, los cuales fueron recibidos como parte de la información inicial. Adicionalmente, se incluyó la columna “Comentarios Grupo Consultor”, donde se relacionan los hallazgos en cuanto a estado de operación o una pequeña descripción de las correcciones que se le debieron realizar a la información de ubicación.



### **3. Complemento de las características técnicas de los sitios requeridas para la visualización de cobertura:**

Dado que no se encontró dentro de la información recibida, todas las especificaciones técnicas necesarias para realizar el despliegue de la cobertura, se asumieron las siguientes especificaciones técnicas:

- La potencia de funcionamiento de los equipos instalados en campo es 25 W, aunque el equipo nominalmente tenga capacidad hasta de 50 W.
- El tipo de antena se unificó bajo un modelo de antena omnidireccional con 6 dBi de ganancia, en razón a que en la información recibida incluía sólo características físicas.
- Para los puntos de los cuales no se recibe información de altura de antena, se asume una altura de 30 metros, que es la usada con más frecuencia en ese tipo de redes según la experiencia del equipo consultor.
- Después de revisada toda la información acerca de estado funcional del equipo y los contactos telefónicos realizados, se evidencia que algunos sitios de repetición incluidos en la información recibida inicialmente, pueden por diversas circunstancias estar apagados en diferentes espacios de tiempo. Se asumió que todos los puntos recibidos como radiantes se encuentran al aire en las diferentes redes ya que este sería el estado de funcionamiento adecuado de cada una de ellas.

Como resultado de este proceso, en el Anexo V Configuración de los Sitios de la Red de Radio en Banda VHF Existente de la UNGRD, CDGR, CMGR, Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana y Cruz Roja Colombiana, se encuentran las especificaciones técnicas de cada uno de los sitios, utilizadas para el despliegue de la cobertura de esta red utilizando la herramienta de predicción de radiofrecuencia Mentum Planet.

### **4. Delimitación de áreas de simulación:**

Para determinar la cobertura en radiofrecuencia de la RNTE a través de la herramienta de predicción se dividió el país en cinco zonas así:

- Zona Atlántica: Atlántico, Guajira, Bolívar, Magdalena, Cesar, Sucre, Córdoba.
- Zona Pacífica: Cauca, Nariño, Chocó, Valle del Cauca.
- Zona Andina: Antioquia, Norte de Santander, Boyacá, Quindío, Caldas, Risaralda, Cundinamarca, Santander, Huila, Tolima.
- Zona Territorios Nacionales: Amazonas, Guaviare, Arauca, Meta, Caquetá, Putumayo, Casanare, Vaupés, Guainía, Vichada.
- Zona Archipiélago: Isla de San Andrés, Providencia.

### **5. Definición de parámetros de radiofrecuencia:**



En esta fase se definieron todos los parámetros requeridos por la herramienta de predicción Mentum Planet y los parámetros de Radiofrecuencia necesarios para la interpretación de las simulaciones realizadas mediante su uso. Estos parámetros y los criterios empleados para su definición se encuentran en el aparte 8.3.4.

## **6. Simulación de la cobertura existente:**

Utilizando la herramienta Mentum Planet se desplegó la cobertura existente para cada una de las redes de UNGRD, CDGR y CMGR y las entidades de socorro.

En el Anexo VI Mapas de cobertura de la Red de Radio Existente en banda VHF, se encuentra desplegada la cobertura en banda VHF para las áreas de simulación definidas anteriormente, en el orden que se muestra a continuación:

- i. UNGRD.
- ii. Cruz Roja Colombiana.
- iii. Defensa Civil Colombiana.
- iv. Dirección Nacional de Bomberos.
- v. Ministerio de Salud.

## **7. Análisis de la cobertura existente y diseño de los sitios adicionales requeridos:**

A partir de este punto, la metodología descrita sólo aplica al procedimiento utilizado para el fortalecimiento de la RNTE en el rango de frecuencias VHF. Se entenderá que la cobertura actual o existente se refiere sólo a la de la red de radio en banda VHF de la UNGRD, CDGR y CMGR.

A partir del despliegue de cobertura de la red existente de la UNGRD, CDGR y CMGR, se determinaron los huecos de cobertura (ausencia de ella) en algunas zonas del país. Esta información fue cruzada con la Matriz de Multi-Amenazas para identificar las cabeceras municipales que serían incluidas en el objetivo de cobertura de la RNTE en banda VHF.

Se definió contractualmente que para la implementación de los sitios nuevos se use infraestructura existente, por esto para todos los sitios diseñados se analizan las coordenadas de torres existentes y se seleccionaron las más adecuadas según el objetivo de cobertura.

## **8. Verificación de las zonas con amenaza volcánica:**

Considerando que la amenaza volcánica fue definida como la más crítica y aprovechando que es de la que más información de grado de afectación se tiene disponible, se verificó que ninguno de los repetidores sugeridos para implementación en los sitios adicionales diseñados se encontrara ubicado en zonas con rango medio o alto de amenaza volcánica.



### 8.3.4 Parámetros del Diseño

Los parámetros globales requeridos son los siguientes:

- **Modelo de propagación:** el cual depende de la banda de frecuencia de operación, frecuencia de operación, especificaciones técnicas del equipamiento de radiación en repetidores y bases (potencia, altura, pérdidas estimadas).
- **Especificaciones técnicas de los equipos terminales** (móviles, portátiles)
- **Cartografía** aprobada por el MINTIC
- **Clutter<sup>157</sup>:** información de clutter y las pérdidas asociadas a cada tipo de clutter.

Los parámetros específicos utilizados fueron los siguientes:

- **Frecuencia de Simulación:** 140 MHz
- **Modelo de Propagación:** CRC - Communications Research Centre Predict®. Modelo que ha sido probado en las frecuencias utilizadas por la RNTE en VHF y su funcionamiento es idóneo. En el Anexo VII Documentación Técnica del Modelo de Propagación se encuentra la documentación técnica correspondiente, el cual incluye las aproximaciones a la forma como la herramienta Mentum Planet® utiliza este modelo para realizar los cálculos de pérdida de propagación y como este modelo determinístico incorpora las leyes físicas del comportamiento de las señales de radiofrecuencia. Esta documentación es de propiedad del fabricante de la herramienta y viene como parte de ayuda para el uso de la misma.

#### Repetidor

- Potencia de equipo: 25 W.
- Pérdidas en cable: (coaxial 1/2"): 1 dB
- Otras pérdidas: 4 dB
- Altura de antena: 30 m

#### Terminales:

- Potencia Portátil: 5 W
- Altura Portátil: 2 m
- Sensibilidad: -114 dBm

---

<sup>157</sup> Clasificación del uso del terreno (Construcciones altas o bajas, aeropuertos, parques, cultivos).

- **Pérdidas de clutter:** Estas pérdidas son valores típicos basados en las mejores prácticas y experiencia del equipo consultor, se observan en la tabla adjunta.

Tipo de Clutter	Altura de clutter(m)	Separación de clutter (m)	Altura de receptor(m)	Pérdidas por absorción de clutter (dB)	Tipo de tierra
Mar	0	20	2	0	Agua salada
Agua Interior	0	20	2	0	Agua fresca
Tierra Húmeda	0	20	2	0	Tierra seca
Estéril	0	20	2	0	Tierra seca
Cultivos	3	20	2	1	Bosque
Pastizales	1	20	2	1	Suelo húmedo
Cultivos más densos	12	20	2	8	Bosque
Bosques	15	20	2	8	Bosque
Fincas	7	20	2	5	Residencia
Construcciones baja altura	8	20	2	8	Residencial
Construcciones bajas más juntas	10	20	2	10	Urbano denso
Construcciones media altura	25	20	2	12	Urbano denso
Construcciones media altura más juntas	35	20	2	15	Urbano denso
Construcciones altas y juntas (Centro)	45	20	2	20	Urbano muy denso
Bloque de edificios	15	20	2	16	Urbano denso
Zona Industrial	9	20	2	9	Industrial
Aeropuerto	0	20	2	0	Tierra seca
Zona despejada	0	20	2	0	Tierra seca

Tabla 33 Definición de Clutter

Fuente: Mentum Planet

- **Presupuesto de Enlace (Link Budget):**

Define las máximas pérdidas de propagación tanto en el camino desde el equipo transmisor (repetidor) hacia el equipo receptor (portátil o móvil) llamado downlink como en el camino desde el receptor hasta el transmisor llamado uplink. Los valores de pérdidas tanto por penetración en vehículos como en construcciones están definidos por valores típicos manejados por el Grupo Consultor. Así mismo los valores de log normal fade margin que garantizan cobertura en el límite en un 90% son valores típicos definidos por la experiencia del Grupo Consultor.



Parámetros camino ascendente (Uplink)	Enlace ascendente	Enlace descendente	Parámetros enlace descendente
Potencia de Transmisión de la Estación Móvil (dBm)	37	44	Potencia de Transmisión de la Estación Base (dBm)
Potencia de Transmisión de la Estación Móvil (Watts)	5w	25w	Potencia Transmisión de la Estación Base (Watts)
Pérdidas en el cable de la Estación Móvil (dB)	0	0	Pérdidas en el cable Estación Móvil (dB)
Ganancia de antena de la Estación Móvil (dBd)	0	0	Ganancia de antena Estación Móvil (dBd)
Ganancia de antena de recepción de la Estación Base (dBi)	6	6	Ganancia de antena de Transmisión Estación Base (dBi)
Ganancia por diversidad espacial (dB)			
Altura de antena Estación Base( m)	30		
Tipo de cable Estación Base	1/2"		
Pérdidas por cada 100m(dB)	0,9		
Pérdidas en el cable Estación Base ( dB)	0,27		Pérdidas en el cable Estación Base( dB)
Total pérdidas en cable y conectores ( dB)	3,5		Total pérdidas en cable y conectores ( dB)
EIRP Estación Base (dBi)	46,5		
Sensibilidad de la Recepción de la Estación Base (dBm)	-114	-114	sensibilidad Recepción Estación Móvil (dBm)
Pérdidas en el ambiente			Pérdidas en el ambiente
Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal rural (dB)	2	2	Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal rural (dB)
Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en exteriores (dB)	12	12	Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en exteriores(dB)
Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en vehículos(dB)	14	14	Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en vehículos (dB)
Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en construcciones(dB)	16	16	Margen de desvanecimiento con distribución logarítmica normal en construcciones(dB)
Pérdidas debidas al cuerpo (dB)	0	0	Pérdidas debidas al cuerpo (dB)
Pérdidas por penetración en vehiculos ( dB)	8	8	Pérdidas por penetración en vehículos (dB)
Pérdidas por penetración en construcciones (dB)	16	16	Pérdidas por penetración en construcciones (dB)
Máximas pérdidas de propagación permitidas en camino ascendente	152,5	159,5	Máximas pérdidas de propagación permitidas en el camino descendente

**Tabla 34 Link Budget**

**Fuente: Planning of line-of-sight radio relay systems**

A partir de este Link Budget se pueden interpretar las simulaciones gráficas del nivel de señal de RF de acuerdo al siguiente código de colores:



Nivel de Señal	Color	Zona de cobertura
-105 dBm	Azul	Cobertura en exteriores, zonas despejadas.
-95 dBm	Verde	Cobertura en calle (receptor rodeado de edificaciones)
-85 dBm	Amarillo	Cobertura dentro de vehículos
-75 dBm	Rojo	Cobertura en interiores.

**Tabla 35 Nivel de Señal de RF**

Fuente: Grupo Consultor

### 8.3.5 Diseño

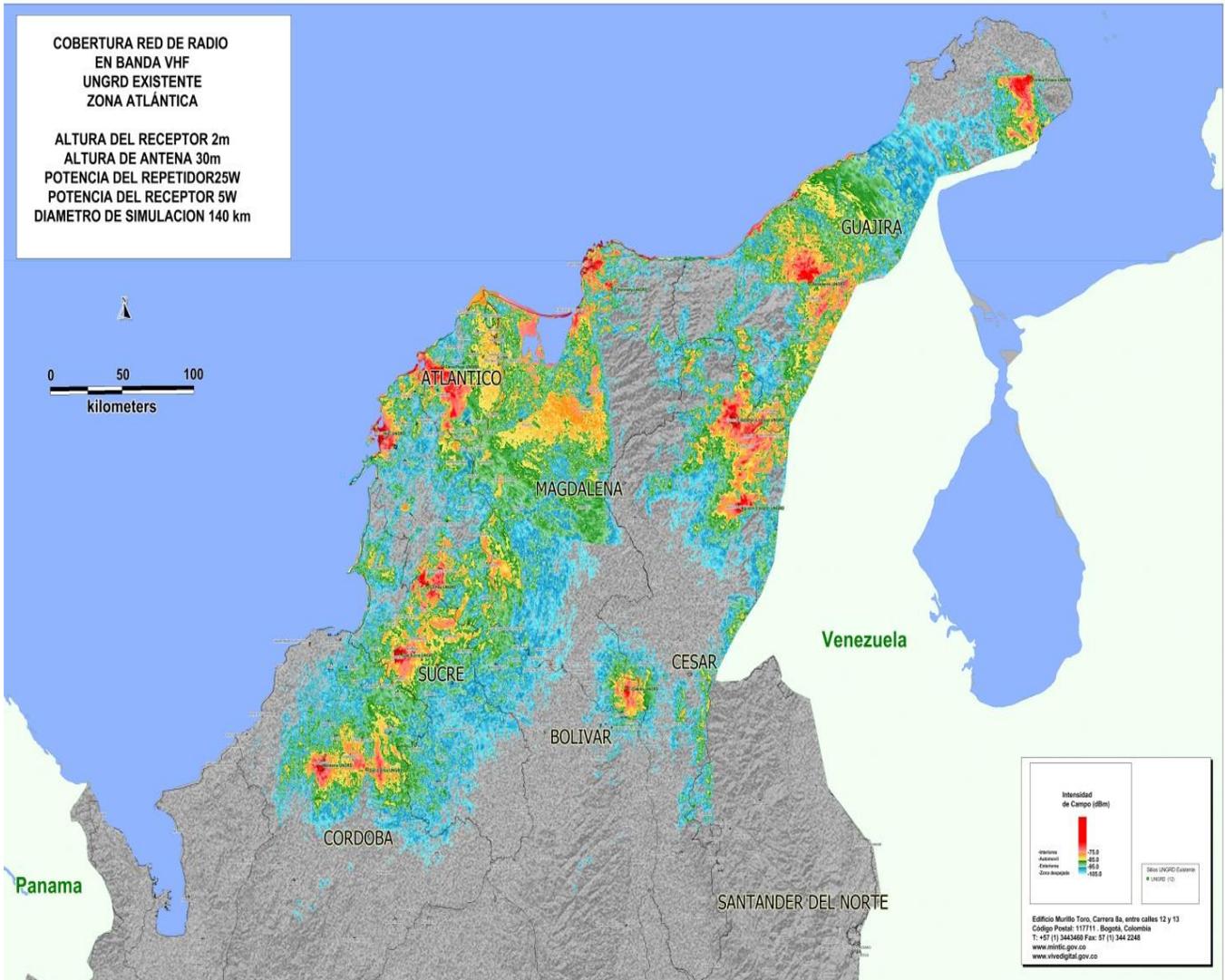
#### 8.3.5.1 Simulación de cobertura en RF de la Red VHF con la Herramienta Menthum Planet

Para hacer el diseño del fortalecimiento de la red de la UNGRD, de los CDGR y de los CMGR se utilizó la herramienta de predicción de RF Menthum Planet, que usando un modelo de propagación determinístico y con cartografía actualizada del país permite visualizar simulaciones de propagación confiables del comportamiento real de la red existente y de los puntos adicionalmente diseñados. Estos resultados deben ser interpretados correctamente teniendo en cuenta el balance del enlace (link Budget) el cual permite determinar las máximas pérdidas permitidas tanto en el sentido descendente (downlink, desde el repetidor hacia el terminal de usuario) como en el sentido ascendente (uplink, desde el terminal de usuario hacia el repetidor) y si es necesario atenuar físicamente el camino que presenta las mejores condiciones. De esta forma, con el enlace balanceado, donde las simulaciones muestren cobertura, esta aplicará para ambos sentidos de la comunicación. Es decir, un terminal de usuario se comunicará con el repetidor y este a su vez se podrá comunicar con este. En la mayoría de los casos el móvil presenta menor potencia y sensibilidad, por esto el enlace ascendente es el menos favorable en el sistema.

La precisión de los resultados de la herramienta depende de la calidad de Parámetros de Diseño, los cuales ya fueron presentados.

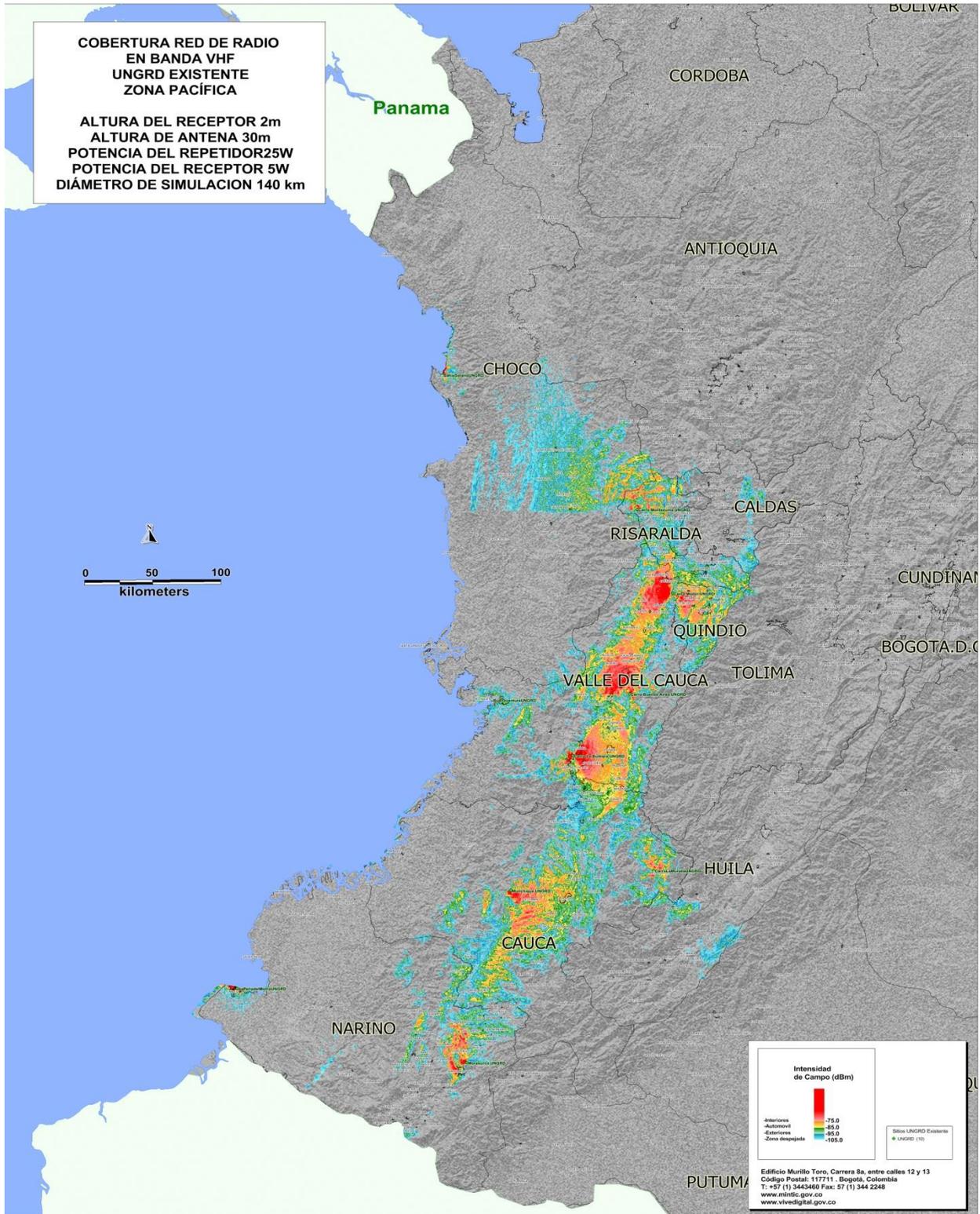
#### 8.3.5.2 Simulaciones de Cobertura Existente de la Red de Radio en Banda VHF

La cobertura de la red existente de la UNGRD, y de los CDGR y los CMGR se puede observar por zonas en las Ilustraciones que se muestran a continuación. Así mismo estas simulaciones se pueden observar en el Anexo VI Mapas de cobertura de la Red de Radio Existente en banda VHF, Numeral i. UNGRD.



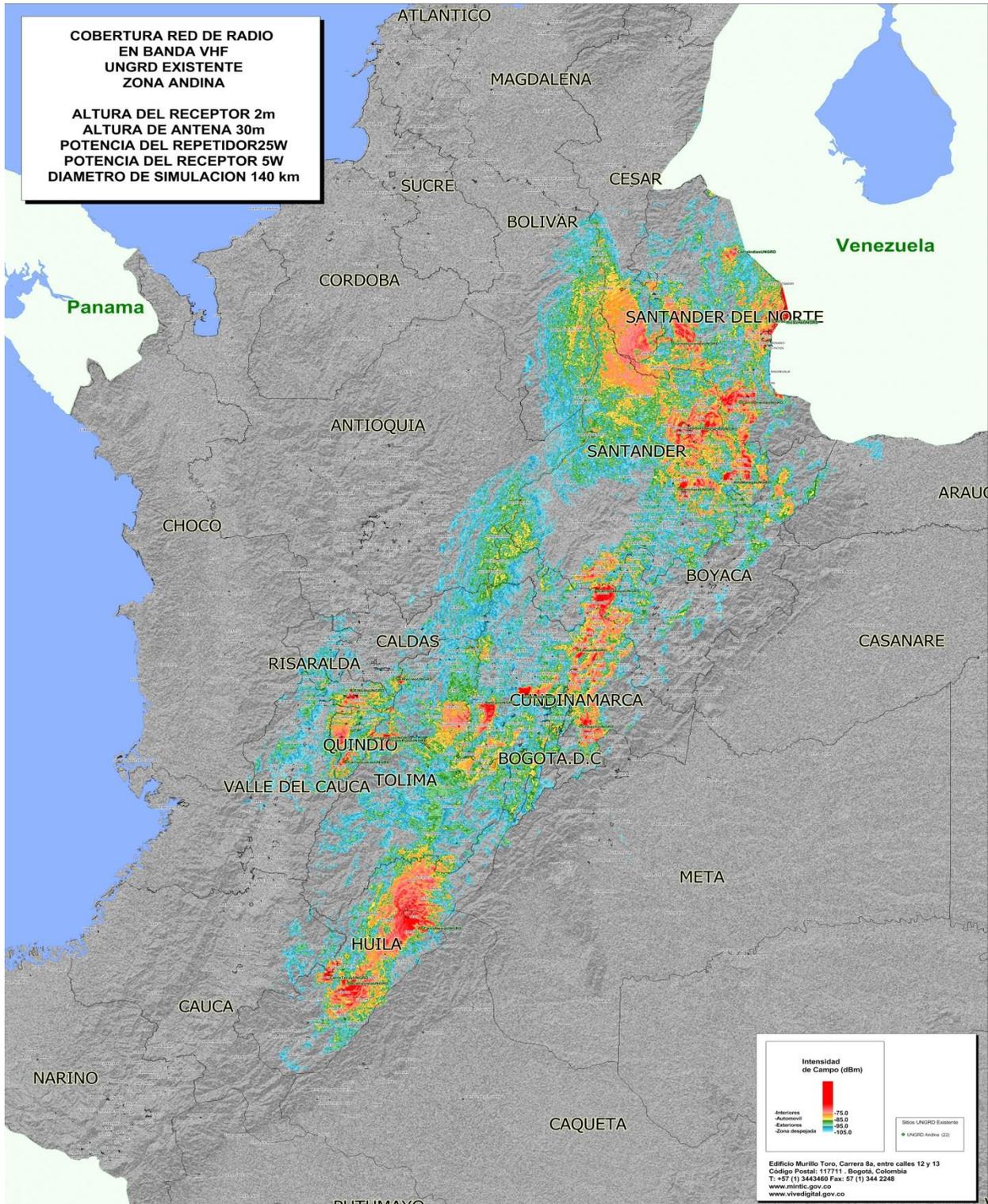
**Ilustración 37 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Atlántica**

Fuente: Grupo Consultor

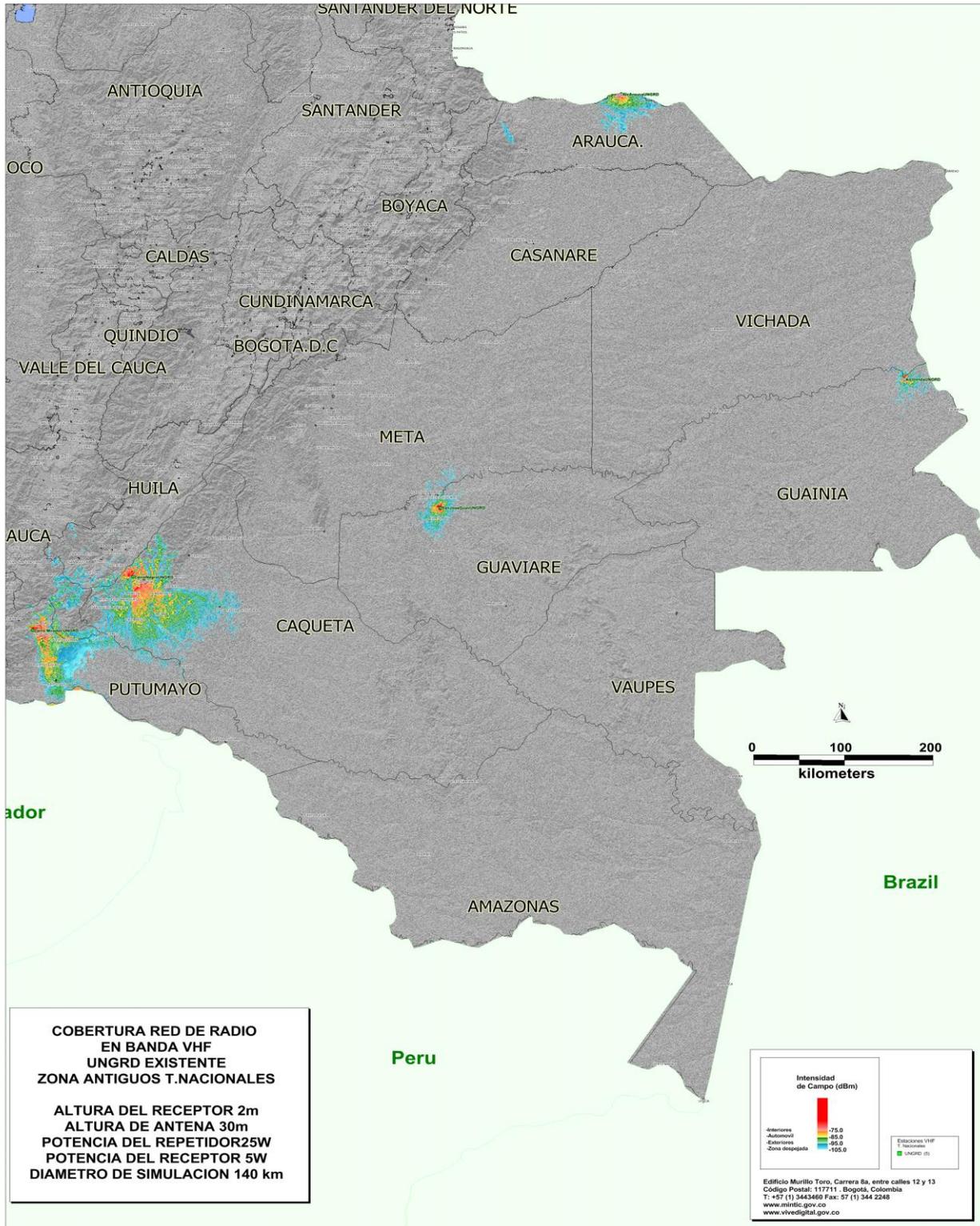


**Ilustración 38 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Pacífica**

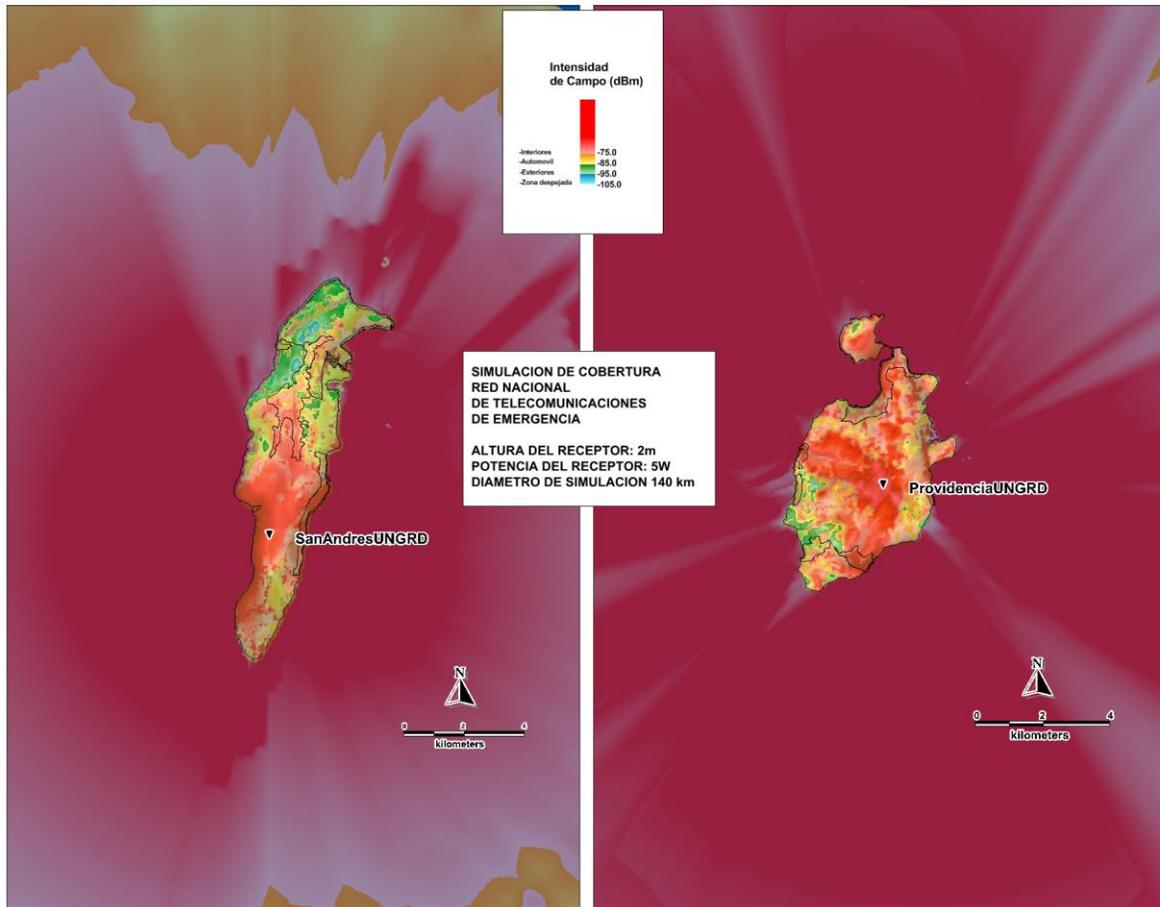
Fuente: Grupo Consultor



**Ilustración 39 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Andina**  
Fuente: Grupo Consultor



**Ilustración 40 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF Zona Territorios Nacionales**  
Fuente: Grupo Consultor



**Ilustración 41 Cobertura Existente de la Red UNGRD en banda VHF San Andrés y Providencia**  
Fuente: Grupo Consultor

El análisis de estas simulaciones arroja que en todas las zonas existen regiones con deficiencias de cobertura, es decir donde la señal de VHF no es suficiente para establecer una comunicación. Para lograr una cobertura mayor, que cumpla con el objetivo definido en el apartado correspondiente, el Grupo Consultor, haciendo uso de la herramienta Mentum Planet, ubicó estratégicamente nuevos sitios de radiación.

En la zona del archipiélago de San Andrés no fue necesario diseñar sitios nuevos porque la cobertura es buena tanto en la isla de San Andrés como en Providencia.

### 8.3.5.3 Simulaciones de Cobertura de la Red de Radio en banda VHF fortalecida

La RNTE fortalecida se basa en la red existente de la UNGRD, CDGR y CMGR, por esto se hace un análisis de la cobertura actual antes de realizar el diseño del fortalecimiento.



La cobertura en la Zona Atlántica y en la Zona Andina es relativamente buena, por lo que los sitios adicionales requeridos son pocos.

En la Zona Pacífica, la cobertura es pobre por lo que se requirió diseñar un mayor número de sitios para garantizar cobertura en todas las cabeceras municipales con algún tipo de amenaza natural.

En la Zona de Territorios Nacionales, la cobertura existente es muy pobre y teniendo en cuenta las amenazas naturales y la vulnerabilidad de la gran mayoría de las cabeceras municipales, estas requieren cobertura por lo cual esta zona necesitó el mayor número de sitios adicionales.

Para todos los sitios nuevos seleccionados se definieron las características técnicas necesarias y de acuerdo a los requerimientos de la RNTE se recomiendan los equipos repetidores, antenas y líneas de transmisión que cumplen con las siguientes especificaciones:

- Equipos repetidores Análogo/Digital con facilidad IP.
- Equipos repetidores con sensibilidad no menor a -114 dBm.
- Antenas omnidireccionales con ganancia no menor a 6 dBi.
- Líneas de transmisión con pérdidas totales no mayores a 3.5 dB.

En el Anexo VIII Sitios RNTE en VHF fortalecida con coordenadas y especificaciones técnicas, se encuentra el listado de los sitios que se diseñaron como integrantes de la RNTE en VHF fortalecida. Se incluyen los sitios existentes de la red UNGRD y los sitios adicionales que fueron diseñados. Para cada uno de ellos se incluyen las especificaciones técnicas sugeridas para la implementación y con las cuales se realizó el diseño.

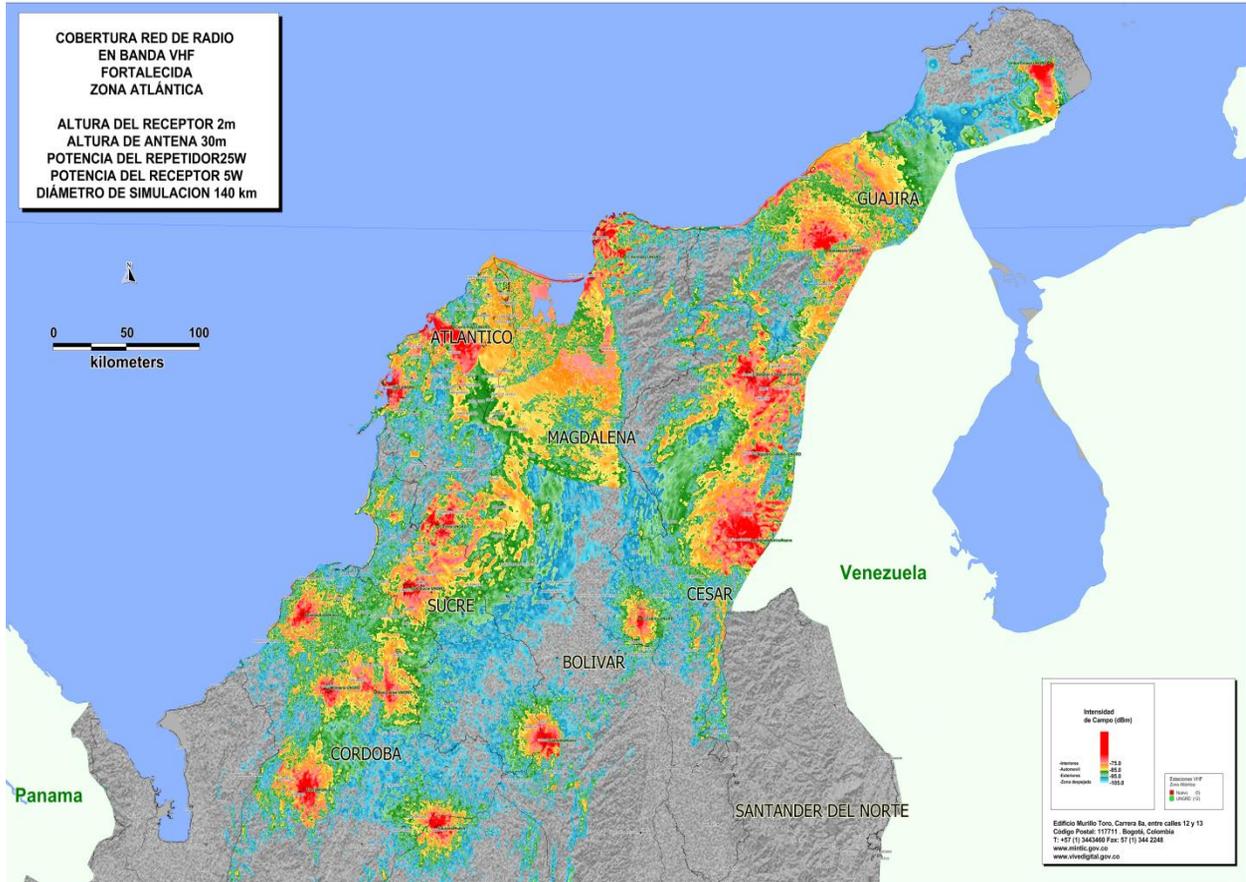
El resultado del diseño en cuanto a número de sitios es el siguiente:

	Zona Andina	Zona Pacífica	Zona Atlántica	Zona T. Nacionales	Zona archipiélago	Total
<b>Nuevos</b>	19	12	5	60	0	96
<b>UNGRD Existentes</b>	22	10	12	5	2	51
<b>Total</b>	41	22	17	65	2	147

Tabla 36 Cantidad de sitios de repetidores de radio en banda VHF  
Fuente Grupo Consultor

La cobertura de la Red de radio en banda VHF fortalecida UNGRD, CDGR y CMGR, se puede observar por zonas, en las siguientes ilustraciones:

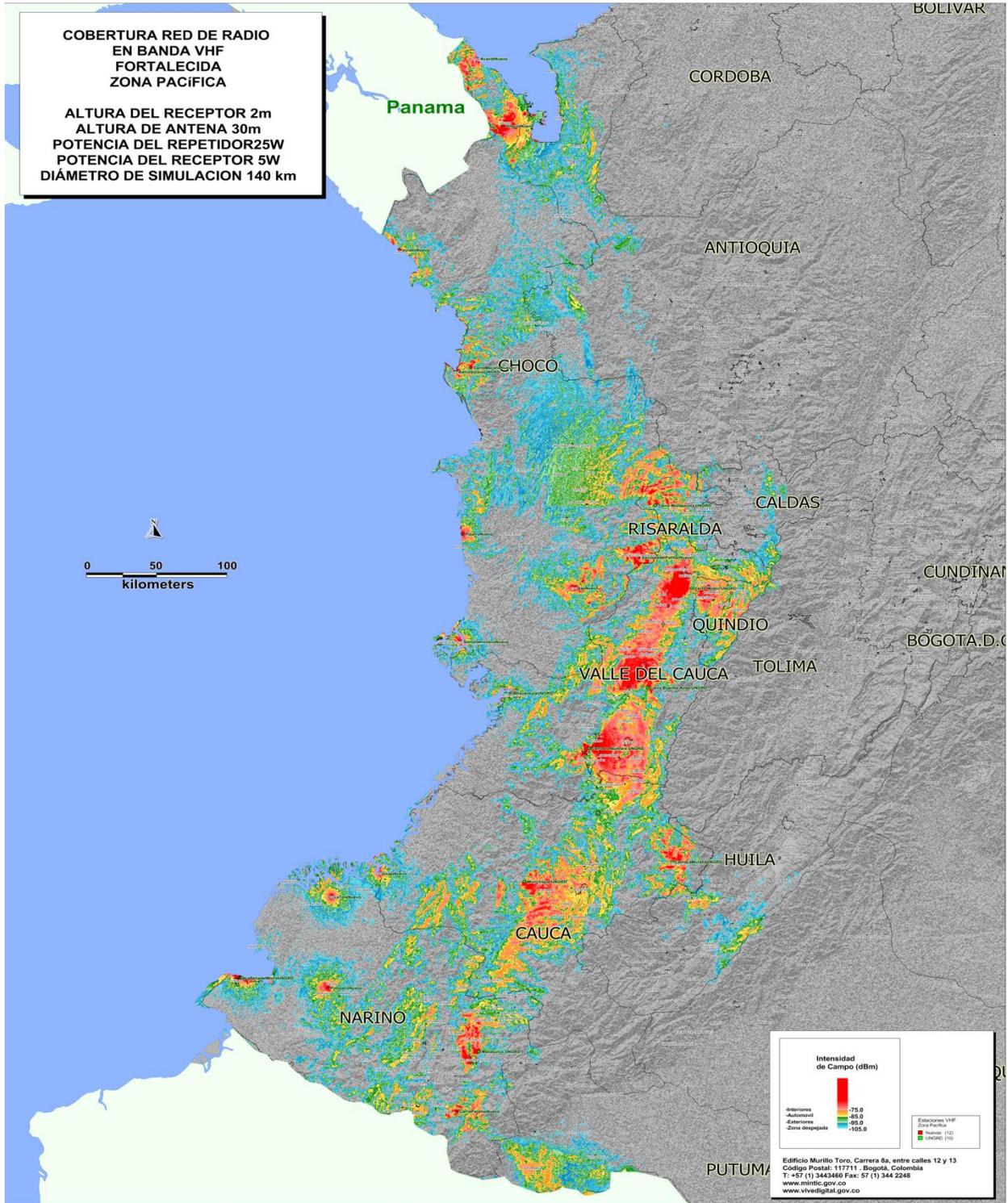
**Zona Atlántica**



**Ilustración 42 Cobertura RNTZ Zona Atlántica en Banda VHF fortalecida**  
Fuente: Grupo Consultor



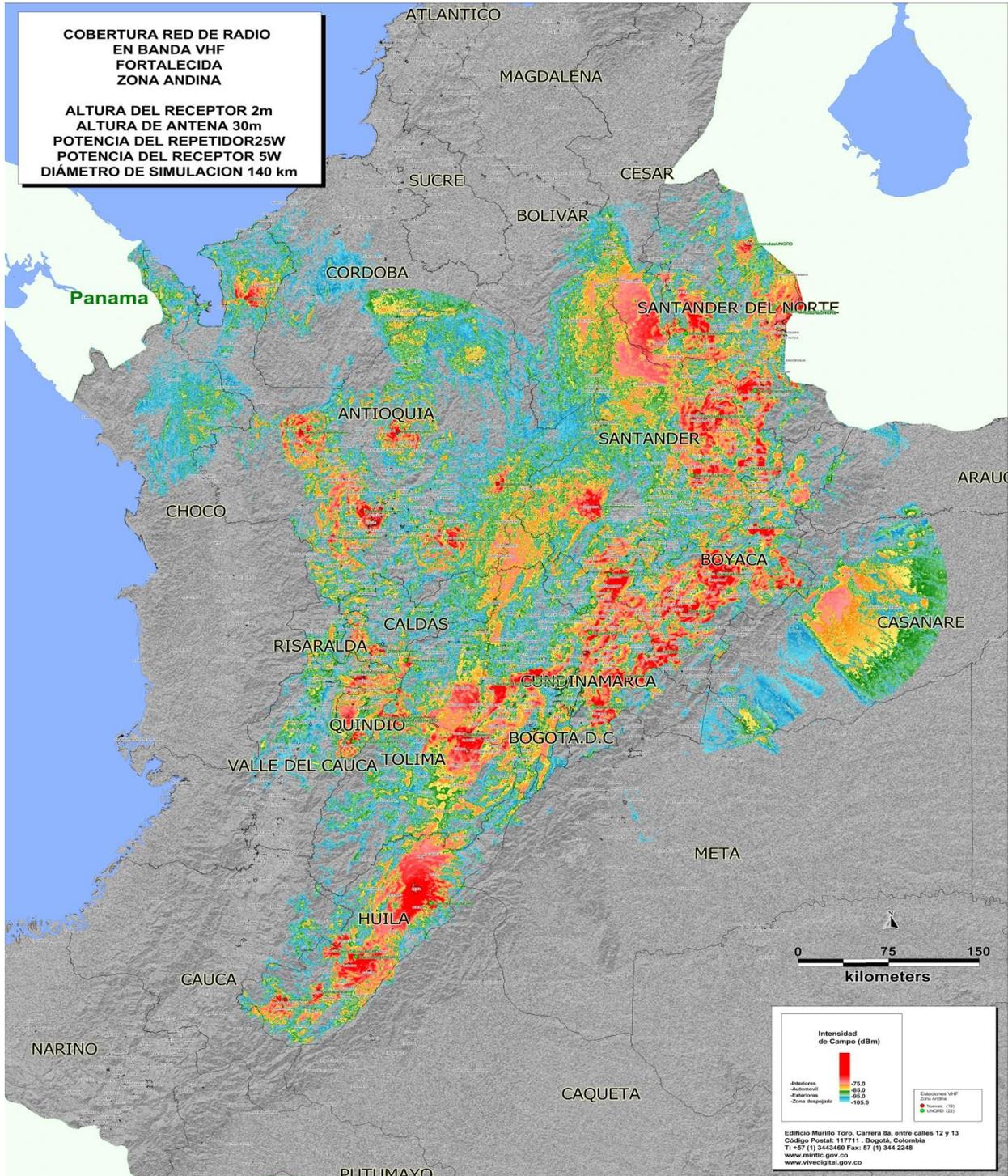
**Zona Pacífica**



**Ilustración 43 Cobertura RNTZ Zona Pacífica en Banda VHF Fortalecida**  
Fuente: Grupo Consultor



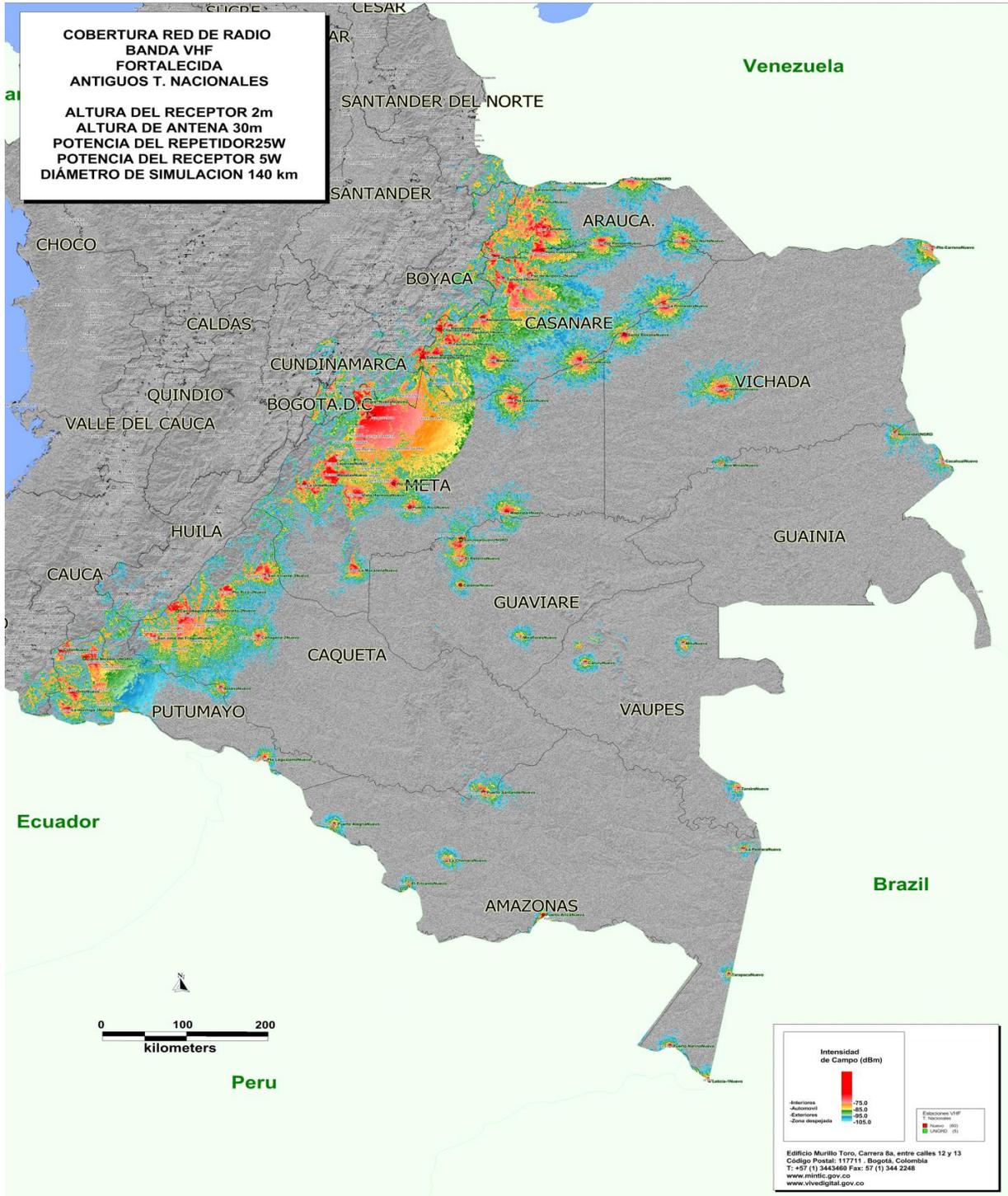
**Zona Andina**



**Ilustración 44 Cobertura RNTZ Zona Andina en Banda VHF fortalecida**

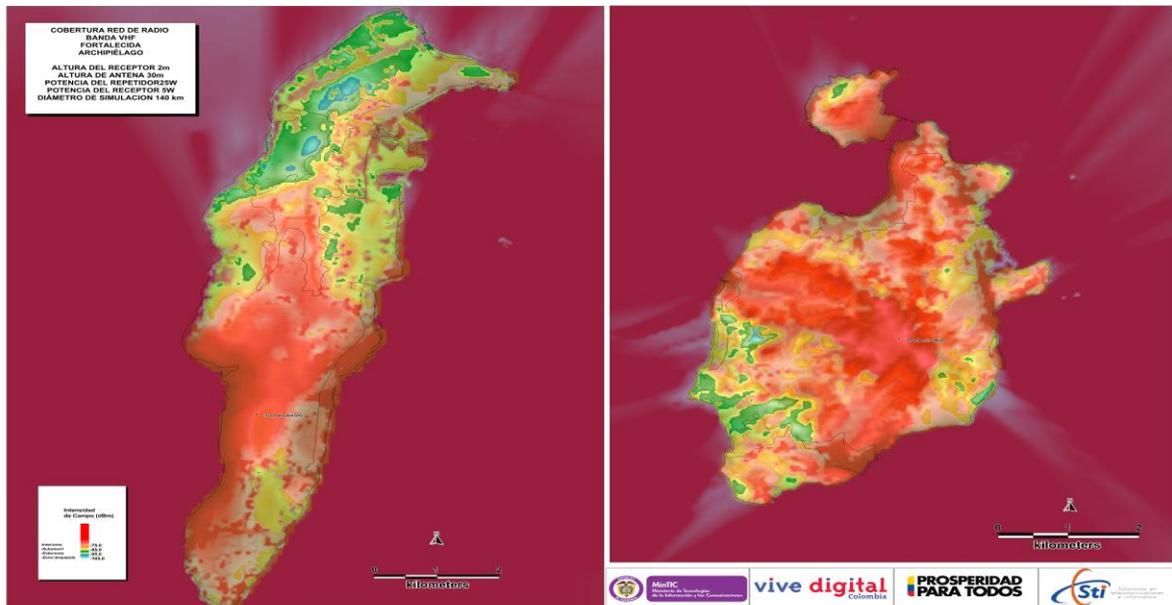
Fuente: Grupo Consultor

**Zona Territorios Nacionales**



**Ilustración 45 Cobertura RNTZ Zona Territorios Nacionales en Banda VHF fortalecida**  
Fuente: Grupo Consultor

## San Andrés y Providencia



**Ilustración 46 Cobertura RNTe San Andrés y Providencia en Banda VHF Fortalecida**  
Fuente: Grupo Consultor

En el Anexo IX Mapas de cobertura de la Red de Radio en banda VHF Fortalecida, Numeral i. Zonas del país, se pueden observar las simulaciones de propagación para la Red de radio en banda VHF fortalecida, se encuentran en formato PDF para cada una de las zonas definidas. Se pueden diferenciar los sitios existentes de la UNGRD, CDGR, CMGR y los sitios adicionales diseñados. Se agrega la información de los vectores de cabeceras municipales para facilitar el análisis.

En el Anexo IX Mapas de cobertura de la Red de Radio en banda VHF Fortalecida, Numeral ii. Departamentos con Amenaza Volcánica, se pueden observar las simulaciones de propagación para los departamentos de Caldas, Huila, Tolima, Cauca, Nariño y Cundinamarca. Se destacan las cabeceras municipales que presentan algún tipo de amenaza volcánica.

Las simulaciones también se encuentran en el formato de la herramienta MapInfo (\*.tab, \*.grd) que puede brindar la posibilidad de un estudio más detallado.

### **8.3.5.4 Soluciones de extensión de cobertura**

Se incluyeron en el diseño, soluciones de extensión de cobertura, esto es, el Grupo Consultor sugiere la instalación de equipos radio base (receptores de 25W) en algunas cabeceras municipales del país, ya que en las simulaciones de cobertura se evidenció que los niveles de señal no son adecuados. Con estos equipos radio base que manejan potencias mayores y permiten la instalación de antenas exteriores a alturas apropiadas se puede mejorar la cobertura. Las antenas exteriores de estos equipos deben ir apuntadas hacia el equipo



repetidor que le pueda brindar el mejor nivel de señal; este estudio se debe completar directamente en campo.

Las conclusiones de este análisis se muestran en el Anexo X Soluciones de Extensión de Cobertura. Este anexo incluye el listado de las cabeceras municipales por zonas, para las cuales se recomienda la instalación de un equipo radio base y el nombre del sitio repetidor al cual debería ir apuntada la antena, en razón a que brinda la mejor posibilidad de cobertura.

En la siguiente tabla se muestra el número total de soluciones de extensión de cobertura sugeridas por zonas del país.

ZONA	Equipos Radio Base
ANDINA	50
ATLANTICA	25
PACIFICA	22
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>

**Tabla 37 Equipos Radio Base para Extensión de Cobertura**  
Fuente: Equipo Consultor

### 8.3.5.5 Recomendación de usos de frecuencias para la Red de Radio en banda VHF

#### **Criterios Básicos**

Se sugiere tener en cuenta los siguientes criterios como Recomendación del Uso de Frecuencias para la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en el rango de frecuencias radioeléctricas VHF.

1. Rango de frecuencias radioeléctricas: 136 – 174Mhz
2. Separación entre frecuencias de Tx y Rx: 5Mhz
3. Se define un canal como un par de frecuencias necesarias para radiocomunicación.
4. Separación o espaciamento entre canales: 12.5Khz.
5. Asignación de tres (3) canales de reserva a nivel nacional para la operación de la RNTE en casos de emergencias y/o catástrofes y para utilización exclusiva de todas las entidades del SNGRD autorizadas.
6. Asignación de tres (3) canales de frecuencias para operación aeronáutica de las entidades del SNGRD que lo requieran.
7. Asignación de tres (3) canales de frecuencias para operación marítima de las entidades del SNGRD que lo requieran.



### Asignación de canales por sitio

Se sugiere una asignación de canales específicos para cada uno de los 147 sitios de la RNTE, resultantes del diseño del fortalecimiento de la red de radio en banda VHF. En esta recomendación se tuvieron en cuenta las condiciones de Radiofrecuencia de cada sitio y se asume que las características de instalación de cada punto de repetición o de cada equipo radio base, sigue las recomendaciones del diseño realizado por el Grupo Consultor.

Para los canales definidos no se asigna una frecuencia en MHz específica, ya que la información acerca de frecuencias utilizadas actualmente por la UNGRD, los CDGR y los CMGR, Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana y Cruz Roja Colombiana no fue completa. Se recomienda hacer un levantamiento veraz de esta información y luego hacer una distribución de las frecuencias disponibles siguiendo la recomendación indicada en este numeral.

La selección de los canales se realizó de forma que se pueda garantizar que no se presenten interferencias entre los sitios diseñados dentro de la red. La tabla con la asignación de canales recomendada, se presenta en el Anexo VIII Sitios RNTE en VHF fortalecida y recomendación de frecuencias.

#### 8.3.6 Diseño Eléctrico para la Red de Radio en banda VHF Fortalecida

Para el caso de los sitios adicionales donde se tienen proyectados la instalación de repetidores en banda VHF, se tiene contemplada la instalación de un rectificador/cargador con autonomía de 8 horas. Adicionalmente, una UPS de 1KVA con una autonomía de 45 minutos, tiempo estimado para que se pueda restablecer el servicio de fluido eléctrico. Se recomienda conservar la misma condición técnica que tienen los sitios en la red actual, repotenciando cada unidad o en su defecto haciendo los cambios requeridos, con el fin de garantizar el óptimo desempeño y la continuidad en el servicio.

En la siguiente tabla se especifican las características eléctricas del equipo recomendado:

ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA (AC) PROTOTIPO DE EQUIPOS Y SU POTENCIA (WTS AC)	
SITIOS	Repetidores VHF
POTENCIA	1000 a 1500 Wts
EQUIPO ELECTRICO DE RESPALDO	UPS 1 KVA Rectificador/Cargador
AUTONOMIA ESTIMADA	UPS: 45 minutos Rectificador/Cargador: 8H
MOTOGENERADOR	Requerido
<b>Nota: Para los Repetidores VHF se recomienda considerar las mismas condiciones técnicas de la red actual</b>	

Tabla 38 UPS para Repetidores en banda VHF

Fuente: Grupo Consultor

Esta misma información se presenta en el Anexo XI Diseño Eléctrico de la RNTE.

### 8.3.7 Interconexión e Interoperabilidad de las Redes VHF y HF

Teniendo en cuenta la organización y el funcionamiento de la UNGRD, CDGR y CMGR, y los resultados del diseño de la red de radio en banda VHF se proponen la interconexión e interoperabilidad de estas redes como se describe a continuación.

#### 8.3.7.1 Interconexión Vía IP

La evolución de los radios VHF convencionales, análogos, de dos vías a tecnología digital, estándar ETSI DMR (Digital Mobile Radio), ha traído consigo el desarrollo de plataformas que permiten el trabajo simultáneo de los actuales radios análogos con los nuevos repetidores análogo/digitales (A/D en adelante). Estos repetidores pueden recibir señales tanto en modo analógico como digital sobre un mismo canal.

La propuesta del Grupo Consultor consiste en introducir gradualmente los repetidores A/D: Primero los 96 nuevos sitios de repetición propuestos y en fases posteriores los existentes. Esta es una forma costo-eficiente de introducir la tecnología de radio de dos vías de próxima generación y proteger la inversión existente.

Adicionalmente como se ilustra a continuación los nuevos repetidores A/D cuentan con una interfaz de red y se pueden conectar a una red LAN o a Internet por medio de un cable Ethernet. La conexión IP permite comunicar áreas de cobertura separadas con lo cual se pueden integrar las redes municipales CMGR, en lo que se denomina área de cobertura extendida, e integrase a la red departamental.

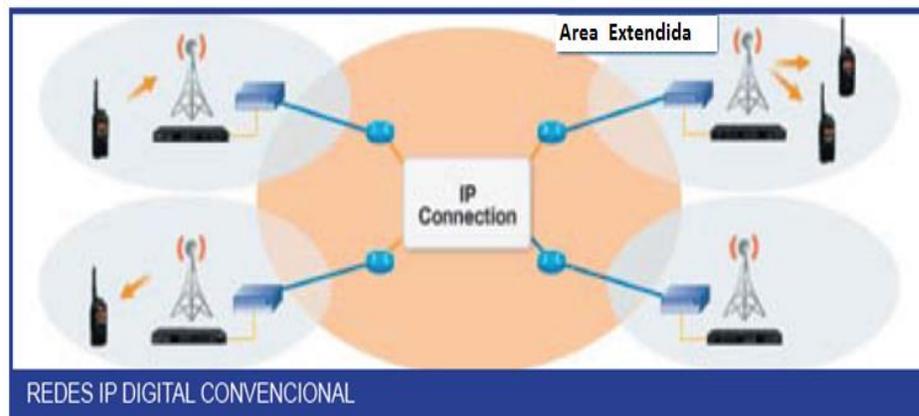


Ilustración 47 Conexión IP a redes de Radio

Fuente: ICOM

Así mismo, esta solución permitiría conectar los radios de banda VHF de nivel Departamental (CDGR) con los de nivel nacional en Bogotá, en caso de ser requerido.



Esta solución IP permitiría implementar adicionalmente una gestión centralizada o distribuida de la Redes de Radio en Banda VHF.

Una solución IP es mucho más económica que la implementada por Departamentos como el Valle del Cauca o Santander que utilizan repetidores VHF como enlaces back to back, entre los sitios de repetición de ámbito municipal. Sin embargo, dado que ante un evento de emergencia, las conexiones IP también pueden verse afectadas, el Grupo Consultor recomienda en la siguiente fase de este proyecto contratar los estudios en campo que permitan garantizar los enlaces VHF back to back en los otros departamentos que hoy no lo tienen implementado de forma que se tenga esta opción como respaldo a la solución IP planteada.

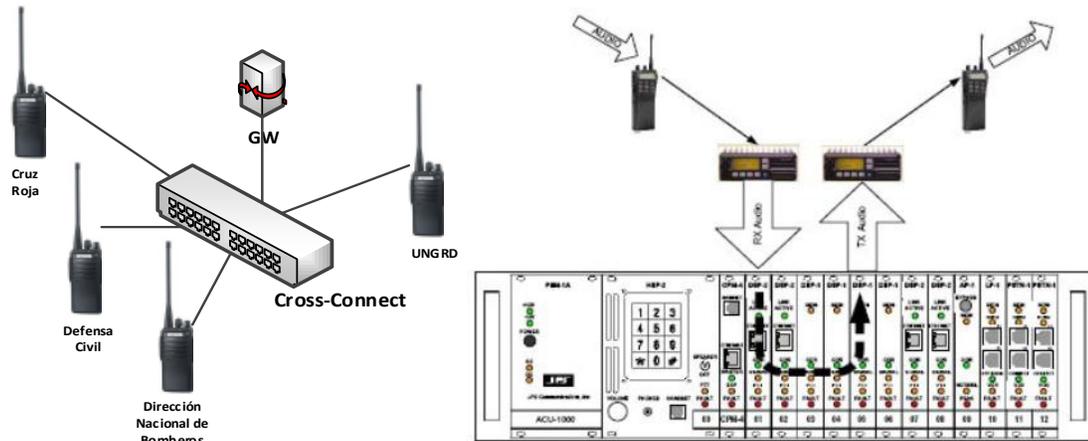
### 8.3.7.2 Interoperabilidad entre redes

Hemos encontrado que hoy la UNGRD, los CDGR, los CMGR y las entidades de socorro se comunican entre ellas tanto en HF como en VHF, compartiendo la información de las frecuencias utilizadas por cada entidad en los sitios que tienen cobertura común. (En algunos casos la interoperabilidad es de facto porque comparten la misma frecuencia).

Esta opción práctica es muy válida para comunicaciones en momentos de NO emergencia dado que implica el cambio de canal en el elemento radio que se está utilizando (HF/ VHF) lo que implica No escuchar las normales comunicaciones que ocurren sobre la frecuencia propia.

La alternativa propuesta a esta situación se puede implementar utilizando un switch o cross-connect de canales en cada sede de los CDGR para interconectar las diferentes redes. El cross-connect permite conmutar los audios de acuerdo con una programación preestablecida o manualmente cuando un operador requiere hacer una comunicación diferente.

El funcionamiento de esta solución se muestra en la **Ilustración 48**. El equipo cross-connect habilita la intercomunicación con otras redes a partir del número de módulos que se le instalen. Un módulo recibiría el radio VHF de la red que se desea interconectar y en los otros módulos irían radios HF, VHF, Teléfonos Fijos o Terminales Móviles según la necesidad.



**Ilustración 48 Interconexión del Cross Connect de Canales**

Fuente: Grupo Consultor

### 8.3.8 Recomendaciones para las Redes de Radio en Banda VHF

- 1) Para mejorar la base de datos de equipos existentes de la red de radio en Banda HF y VHF se recomienda que se haga una inspección de todos los sitios que conforman la red existente. La inspección de sitios debe incluir como mínimo la captura de coordenadas, descripción de la torre o estructura existente, fotografías, inventario de equipos, energía, estado de la infraestructura, espacio físico disponible, medios de acceso y de comunicación.
- 2) La base de datos de equipos existentes de las redes en las dos bandas, HF y VHF debe ser alimentada con todas las modificaciones que se hagan en campo tanto en configuraciones como en especificaciones de instalación.
- 3) Los puntos radiantes referenciados en el inventario entregado por la UNGRD que aparecen registrados con estado funcional apagado deben ser instalados y puestos en funcionamiento siguiendo las especificaciones técnicas descritas en el Anexo V Configuración de los Sitios de la Red de Radio en Banda VHF Existente de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR.
- 4) En el inventario de equipos entregado por la UNGRD puede que no se hayan incluido todos los puntos existentes, por lo que se debe tener en cuenta que cualquier sitio adicional o faltante modifica la cobertura total de la zona, esto implica considerar en el futuro la simulación con todos los datos reales.
- 5) La cobertura en las zonas de amenaza volcánica se brinda desde repetidores ubicados fuera de las zonas de alta y media amenaza, pero en la red existente se encuentran tres puntos localizados dentro de esta zona, estos son El Recreo UNGRD, Cielo Roto UNGRD y



- Campanario UNGRD. Se recomienda la evaluación del riesgo al que pueden estar expuestos estos sitios para definir una posible reubicación.
- 6) La información de configuración de cada uno de los sitios existentes que se recibió no fue completa, por lo que fue necesario asumir varios parámetros. Por lo tanto se recomienda que las simulaciones de propagación de RF sean analizadas bajo el criterio de las aproximaciones que debieron emplearse.
  - 7) Para la implementación de los equipos radio base en las cabeceras municipales que fueron sugeridos, se recomienda hacer la visita a la población y realizar las mediciones de señal necesarias, antes de comenzar la instalación.
  - 8) Debe elaborarse un diseño final basado en los datos obtenidos en las inspecciones de sitios. El éxito de la implementación de la red depende en gran medida de dicho diseño.
  - 9) Para el uso eficiente de los resultados de la simulación de cobertura o del diseño de la red se recomienda emplear herramientas de software típicas en sistemas de información geográfica.
  - 10) Realizar la migración de los repetidores análogos hacia la tecnología análoga/digital y así lograr la interconexión vía IP con otras tecnologías de capacidad mayores para datos y otros servicios.
  - 11) La Defensa Civil Colombiana debe adelantar las gestiones pertinentes para que el MinTIC atribuya un rango de frecuencias radioeléctricas requeridas en la banda de frecuencias entre los 136 – 174 MHz.
  - 12) La Defensa Civil Colombiana y la Cruz Roja deben generar un mayor esfuerzo en cuanto a interconectar o enlazar los equipos repetidores, para el efecto de crear comunicación intradepartamental y de ser requerida hacia Bogotá y desde Bogotá hacia las regiones.
  - 13) La Red de radio en banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos y la Red de radio en banda VHF de la Defensa Civil Colombiana deben solicitar directamente al MinTIC la adjudicación de las frecuencias radioeléctricas para la operación de los equipos asignados.
  - 14) Es de importancia relevante que la Agencia Nacional del Espectro genere un plan de frecuencias para las redes de las Entidades que hacen parte del SNGRD, y en especial para el fortalecimiento propuesto de la red actual en VHF de la UNGRD, incluyendo los CDGRD y CMGRD.

## **8.4 PROPUESTA DE PUSH TO TALK OVER CELLULAR (PoC)**

### **8.4.1.1 Descripción servicio PoC (PTT sobre Celular)**

**PTT (Push To Talk)**, también conocido como Pulsar para Transmitir, es un método de conversación sobre comunicaciones half dúplex incluyendo “la radio de dos vías” que utiliza un botón para cambiar del modo de voz de recepción al modo de transmisión. Por ejemplo, un



capitán de bomberos suele hablar en una frecuencia de radio a todas las unidades bajo su supervisión. Todos pueden escuchar la transmisión del otro y se turnan para hablar, con palabras de procedimientos tales como "cambio" y "fuera".

Push to Talk sobre Celular (PoC) es una opción de servicio de las redes celulares que permiten a los suscriptores usar su teléfono como un "radio de dos vías" con alcance ilimitado.

Una ventaja significativa de PoC/PTT frente a una llamada celular, es que permite que una sola persona llame a un grupo con sólo pulsar un botón; los usuarios no necesitan hacer varias llamadas para coordinar con un grupo previamente configurado (conferencia).

Las llamadas celulares PTT igualmente proveen comunicaciones half dúplex - mientras que una persona habla, el otro (s) escucha (n). Esto combina las ventajas operativas del PTT con la resistencia a las interferencias y otras virtudes de las redes móviles como su gran cubrimiento.

Las redes de telefonía móvil tradicional utilizan comunicaciones full dúplex que permiten a los usuarios llamar a otras personas a un móvil o a una línea fija y ser capaz de hablar y escuchar simultáneamente a la otra parte. Dichas comunicaciones requieren de una conexión que inicia con la marcación de un número de teléfono y la otra parte responde a la llamada. La conexión permanece activa hasta que cualquiera de las partes termina la llamada o la conexión se interrumpe debido a la pérdida de señal o a un corte de red.

Por lo tanto, el protocolo de comunicación celular no permite transmisiones cortas e inmediatas típicas de las redes de emergencia. Mientras que las llamadas celulares requieren el largo proceso de marcación, red de conmutación, enrutamiento, establecimiento de llamada y la espera de que la otra parte conteste (tiempo de establecimiento mayor a 1 segundo); el "radio de dos vías" tiene un protocolo mucho más rápido debido a la inmediatez de la comunicación PTT usada generalmente para comunicaciones críticas y/o de emergencia. (Tiempo menor a 1 segundo).

Las versiones recientes de PoC (OMA v2) se basan en redes conmutadas de paquetes (2G, 3G, 4G) y utilizan los protocolos SIP y RTP (Real Time Protocol). Cuando se utiliza con las redes GSM y WCDMA, el servicio PTT comúnmente no utiliza los minutos de tiempo de aire regulares, que están disponibles para las llamadas de voz, ya que utiliza las conexiones de datos existentes (GPRS, EDGE, HSPA, etc.). El servicio PoC v2 añade la funcionalidad de transmisiones half dúplex a la red móvil enviando la información sin necesidad de una conexión existente.

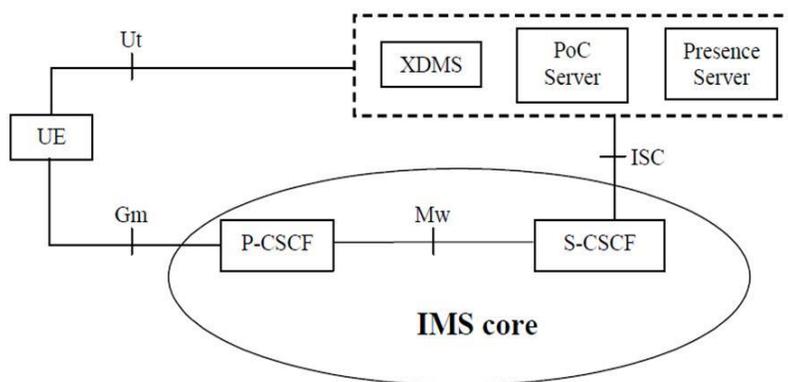
Además de los teléfonos móviles, el servicio Push-to-Talk se puede complementar con aplicaciones sobre computadores fijos que actúan como clientes de PTT conectados al operador móvil a través de enlaces a Internet seguros. Una consola de despacho es un PC especializado, diseñado para carga pesada de despacho, es decir, la coordinación de muchos temas típicamente cuando se gestionan grandes flotas de usuarios desde un centro de control.

El último avance en las comunicaciones PTT es la aparición de aplicaciones para teléfonos inteligentes tipo Android, IOS (Apple), BlackBerry y Windows Mobile.

#### 8.4.1.2 Descripción técnica de la solución PoC OMA V2 sobre UMTS/IMS para la RNTE

La solución consta básicamente de Servidores PoC, bases de datos y de terminales especiales. Los servidores son los encargados de realizar todas las funciones de gestión de llamadas, los cuales se interconectan al centro de conmutación de paquetes de datos de la red UMTS via el core IMS. Los terminales móviles deberán cumplir con un grado de protección IP según el estándar internacional IEC60529, protegidos de acuerdo al ambiente de trabajo de la emergencia (agua, polvo, fuego, etc).

##### a. Servidores



PoC service elements in the IMS architecture  
Fuente: 3GPP TR 23.979 V 6.2.2

**Ilustración 49 Descripción de los Elementos de PoC – Servidores**  
Fuente 3GPP TR 23.979 V.6.2.2

A continuación se describen los elementos integrantes de la solución PoC en línea punteada.

- PoC Server (Servidor de PoC):

Proporciona funciones de procesamiento de llamadas para el envío de servicios (llamadas privadas, llamadas de grupo), incluye la función de duplicación de paquetes, que es requerido para llamadas de grupo. Desde la perspectiva IMS, la funcionalidad PoC es vista como un servidor más de la capa de aplicaciones.

- XDMDS (XML Data Managed Server):

El servidor de administración de documentos XML (XDMDS) es utilizado por los usuarios de PoC para administrar grupos, listas de contactos y de acceso que se necesitan para el servicio. En la arquitectura IMS, la interfaz Ut proporciona estas funcionalidades, por lo tanto, las comunicaciones entre los XDMDS y el UE utiliza la interfaz Ut.



- Presence Server:

El servidor de Presencia proporciona información acerca de la disponibilidad de los usuarios.

- UE (User Equipment):

Terminal de usuario donde se instala (software) el cliente PoC.

- IMS: IP multimedia Subsystem.
- ISC (IMS Service Control Interface). Interface de control del servicio en IMS:

El servicio PoC es visto por el IMS como un servidor de aplicaciones por lo tanto la comunicación con el Core IMS se realiza utilizando la interfaz ISC.

- S-CSCF: Serving Call Session Control Function:

Es el nodo central del plano de señalización. Es un servidor SIP que también realiza funciones de control de sesión.

- P-CSCF: Proxy Call Session Control Function:

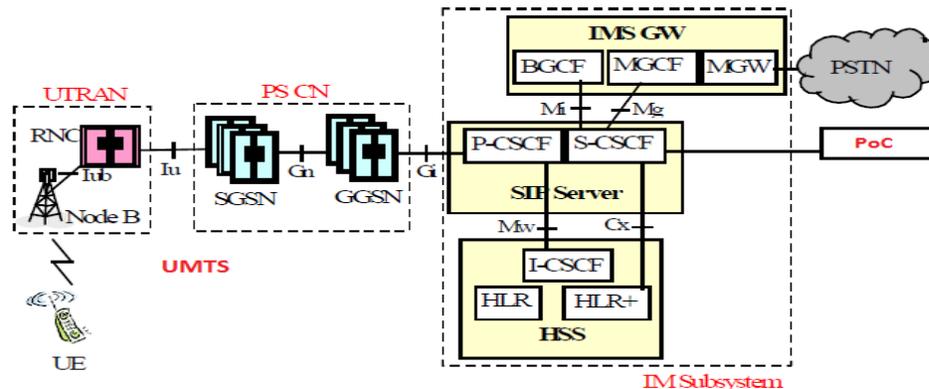
Es un proxy SIP (Session Internet Protocol) que es el primer punto de contacto de un terminal de usuario.

- Ut: Interfaz, punto de referencia entre un terminal de usuario (UE) y un servidor de aplicaciones.
- Gm: Interfaz punto de referencia entre un terminal de usuario (UE) y el P-CSCF.
- Mw: Interfaz punto de referencia usado para intercambiar mensajes entre CSCFs.

## **b. Base de datos PTT**

La base de datos proporciona el repositorio para los suscriptores, incluyendo las direcciones de contacto SIP (actualizada durante el Registro SIP), perfiles de abonado, restricciones, contraseñas, libreta de direcciones, listas de amigos y listas de grupos. La base de datos PTT es el punto de aprovisionamiento para los servicios de despacho.

La siguiente ilustración muestra la aplicación PoC utilizando SIP sobre una red UMTS/IMS:



**Ilustración 50 Descripción de los elementos de PoC – UMTS**  
Fuente 3GPP TR 23.979 V.6.2.2 UMTS

En la ilustración anterior se muestran los componentes principales de la arquitectura UMTS. El Acceso Radio UMTS Network (UTRAN), el CN PS y el CN IMS.

El SGSN (Serving Gateway Support Node) y el GGSN (GPRS Gateway Support Node) constituyen el núcleo de la red de paquetes (PS). Cada SGSN está conectado a un número Controladores de radio (RNC) de forma que actúe como nodo de servicio para todos los móviles que se encuentran bajo la cobertura de estos RNC. La GGSN es el punto de interconexión de la red de datos por paquetes (PDN) y otras redes externas públicas (RTMC Red de Telefonía Móvil Celular).

El IMS consta del CSCF (Call State Control Function), el Media Gateway Control de Función (MGCF) y Media Gateway (MGW). La CSCF puede realizar un número de funciones dependiendo de si se funciona como un proxy (P-CSCF), Servidor (S-CSCF) o de interrogación (I-CSCF). El PCSCF es el primer punto de contacto para el IMS UE, el SCSCF realmente maneja los estados de sesión en la red, el I-CSCF es principalmente el punto de contacto dentro de un operador para todas las conexiones IMS destinados a un abonado de la red, o un abonado en roaming. La MGCF controla el MGW utilizado en las conexiones a redes externas.

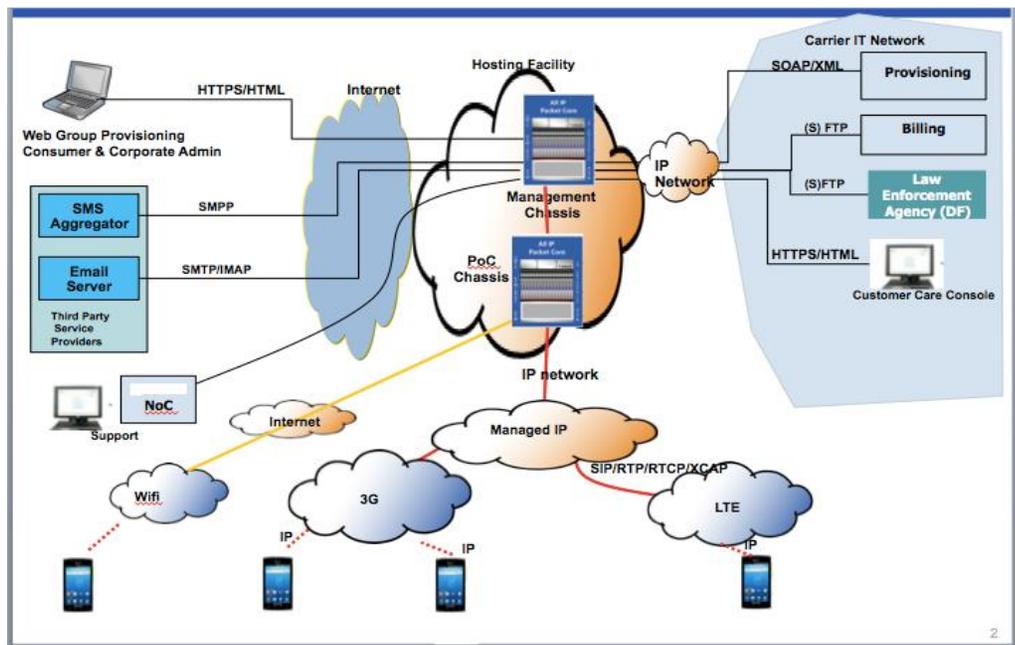
Dado que la solución PoC planteada permitirá emular las llamadas PTT de emergencia de la RNTE que hoy se cursan sobre las Redes de Radio en Banda HF y VHF, la característica principal a cumplir por esta aplicación corresponde a garantizar tiempos de establecimiento tan rápidos como los ofrecidos por estas redes PTT que están por debajo de 1 segundo. En la siguiente tabla, se muestran los tiempos de establecimiento acorde con el planteamiento del 3GPP para la V2 basada en IMS.

Retardo UMTS/IMS con SIP		
Acción	Retardo	Descripcion
El Cliente PoC produce una invitacion SIP	50 mseg	
El Cliente PoC transmite mensaje de invitacion SIP al Servidor PoC	Retardo Radio + 100 mseg	Retardo Radio =( tamaño mensaje SIP * Relación de compresión) / Velocidad de bits del radio enlace
El core IMS envía un "SIP 100" confirmando Rx del mensaje SIP	Retardo Radio "SIP 100"	Retardo Radio "SIP 100" =( tamaño mensaje SIP * Relación de compresión) / Velocidad de bits del radio enlace.
El Servidor PoC transmite el mensaje "SIP 200 OK" al Cliente PoC	100 mseg + Retardo Radio	Retardo Radio "SIP 200 OK" =( tamaño mensaje SIP * Relación de compresión) / Velocidad de bits del radio enlace.
El Servidor PoC transmite un mensaje de confirmación de "Burst Talk" al Cliente PoC	Retardo Radio "Burst Talk"	Retardo Radio =( tamaño mensaje Burst Talk) / Velocidad de bits del radio enlace.
<b>Total retardo señalización SIP</b>	<b>&lt; 600 mseg</b>	

Fuente: 3GPP TR 23.979 V6.2.0

**Tabla 39 Retardo de PoC**  
Fuente: 3GPP

La siguiente ilustración muestra que la arquitectura típica de la solución PoC a la que le están apostando los fabricantes, está acorde con la propuesta y adicionalmente están incorporando la opción de cursar las llamadas PoC sobre redes WLAN (WiFi) y sobre las redes LTE.



**Ilustración 51 Arquitectura típica de una red PoC**  
Fuente: Kodiak Networks

Mientras que se cumplen con los desarrollos que permitan que las redes LTE cursen llamadas de voz ( VoLTE), el servicio de voz PoC se tratará con la técnica prevista para las etapas

iniciales de despliegue de LTE denominada CSFB (Circuit Switch Fall Back) redirigiendo la llamada a las redes 3G o 2G.

La solución PPDR propuesta por el 3GPP sobre LTE espera obtener para el servicio de voz (VoLTE) latencias por debajo de los 600 mseg, gracias a los menores tiempos de establecimiento de esta red.

Finalmente consideramos importante resaltar que adicional a las ventajas funcionales asociadas a la utilización del acceso radio de las redes celulares, los adelantos incorporados específicamente por la solución PoC OMA V2 permiten servicios adicionales que representan un valor agregado para los usuarios PPDR, que no están implementados sobre los tradicionales sistemas de radio de dos vías (HF/VHF). Entre ellos:

- El Servidor de Presencia permite compartir la disponibilidad, el interés y/u otra información de estado (i.e. localidad, estado de humor o imagen personal) entre usuarios y/o con otros servicios.



**Ilustración 52 Funcionalidad PPT en la Terminal**  
Fuente: Kodiak Networks

- Permite definir la información de presencia que es compartida y con quien.
- Integrado con XDMS y lista de contactos, donde el estado de presencia está indicado mediante iconos muy fáciles de entender.
- Aumenta la experiencia del usuario final, que sabe antes de llamar a su contacto si está disponible y dispuesto a hablar.



**Ilustración 53 Funcionalidad de grupos en la Terminal**  
Fuente: Kodiak Networks

- Aprovechando la información de estado se pueden crear grupos de acuerdo a las necesidades de comunicación de un evento específico.
- Integración posible de la comunicación entre las diferentes entidades en caso de emergencia o desastre. UNGRD, Cuerpo de Bomberos Voluntarios, Cruz Roja y Defensa Civil Colombiana pueden estar coordinados usando un grupo común, permitiendo complementar la Interoperabilidad entre ellas.
- Envío de mensajes cortos (SMS) podría ser una opción de comunicación en aquellos eventos de emergencia donde sea peligroso utilizar la voz.
- Gestión de usuarios y grupos a través del portal de Internet o del teléfono/PC Dispatcher

Aprovechando el uso de terminales inteligentes (tipo Smartphones) estos pueden utilizar para otras actividades: Lectura de códigos de barras, RFID, fotos, videos. Con la ventaja de que toda esta información se puede enviar vía la red 3G.

Los PRST móviles deberán garantizar esta comunicación incluso con teléfonos móviles que no pertenezcan a sus propias redes.

#### **8.4.1.3 Propuesta de proveer terminales PPDR para usuarios del SNGRD**

Los terminales fijos, móviles y portátiles de las redes HF y VHF aplicadas a las redes de emergencia cumplen por defecto con los requisitos mínimos de protección recomendados para estas redes.

El diseño inicial de la propuesta PoC sobre las redes celulares existentes, tal como lo hemos mencionado, está más orientado a una solución comercial que a una solución de emergencia y hace uso de los terminales normales de este sector.

Por lo anterior para que la solución PoC, en lo que respecta a los terminales, cumpla con los requisitos de uso en aplicaciones de emergencia debe exigirse que los terminales celulares a



utilizar cumplan con el grado de Protección (IP- International Protección) adecuado y este deberá ser definido por cada una de las entidades acordes con el estándar IEC 60529. En el caso de Bomberos se recomienda seguir las recomendaciones ATEX-Zones para terminales Intrínsecamente seguros (anti explosión) requeridos en situaciones con atmosferas potencialmente explosivas.

Estos terminales deberán ser dual SIM para contar con respaldo o redundancia en la red de acceso, de forma que si en determinado lugar no se encuentra cobertura de la operadora celular principal se pueda usar la infraestructura de cualquier otro operador que si tenga señal en la zona.

Adicionalmente deberán contar con opción WiFi para permitir una redundancia adicional a traves de redes WLAN existentes las cual permitiran cursar las llamadas PoC en el evento que no se cuente con señal de ninguno.

#### **8.4.1.4 Interconexión con las Redes de Radio en Banda HF y VHF**

Tel como se mencionó en la sección 8.3.7.2, se debe contar con un switch o un cross-connect de audios con un amplio rango de interfaces que permitan interoperar con las redes RTMC. Esta solución permite entonces, de forma integral unir el audio de un terminal PoC a las Redes de Radio en Banda HF y VHF existentes, de forma que, un usuario PoC pueda llamar a un grupo de usuarios de las redes de radio existentes y así mismo recibir llamadas de estas redes.



## 9 DISEÑO DE LA NUEVA RNTE - LTE

### 9.1 DEFINICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE LA RED LTE EN LA BANDA DE 700 MHz

En este numeral se desarrollará una metodología para determinar los requerimientos de espectro que se necesitan para soportar los servicios de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia en una red de banda ancha móvil bajo el estándar LTE y operando en la banda de 700 MHz del Dividendo Digital.

#### 9.1.1 Ambientes de Operación de la Red de Emergencia

Con el propósito de determinar el ancho de banda requerido por la red de emergencia es necesario describir los diferentes ambientes en que esta funciona, en razón de determinar finalmente los requerimientos de ancho de banda de cada uno de esos ambientes, los cuales son típicamente diferentes. Las redes de emergencia operan en los siguientes ambientes<sup>158</sup>:

- Operación día a día.
- Operaciones en eventos públicos planeados (conciertos, manifestaciones, eventos deportivos, etc.).
- Eventos no planeados: Grandes emergencias.
- Las operaciones en eventos de Desastres.

Día a día son las operaciones rutinarias que se realizan a través de las redes tales como envío de reportes administrativos, geo-localización de unidades móviles, atención de algunos eventos como resultado de llamadas de ciudadanos que alertan a los funcionarios de la red. Es el estado estacionario de la red.

Los eventos no planeados como las grandes emergencias y desastres se obtienen utilizando factores que multiplican la operación día a día. En la matriz de aplicaciones estos se tipifican como factores de multiplicación en emergencia.

#### 9.1.2 Aplicaciones Utilizadas en la RNTE

El Grupo Consultor ha seleccionado un conjunto de aplicaciones tomando como modelo de referencia lo especificado por el Informe UIT-R M.2033<sup>159</sup>, las cuales relacionamos en la tabla siguiente, donde se indica el nombre de la aplicación, su característica, un ejemplo de ellas y el grado de importancia medido en alto (A), medio (M) y bajo (B) para tres escenarios posibles:

<sup>158</sup> User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). ECC, 2013.

<sup>159</sup> Informe UIT-R M.2033 Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro. 2003



Operación día a día, Operación en emergencias y Operación en recuperación de desastres, representados como PP (1), PP (2), y DR respectivamente:

			PP (1)	PP (2)	DR
<b>Voz</b>	Persona a persona	Llamada y direccionamiento selectivos	A	A	A
	Uno a varios	Comunicación de despacho y de grupo	A	A	A
	Comunicación directa sin repetidor / operación de modo directo	Grupos de portátiles a portátiles (móviles a móviles) muy próximos sin infraestructura	A	A	A
	Pulsar para hablar	Pulsar para hablar	A	A	A
	Acceso instantáneo al trayecto vocal	Pulsar para hablar y acceso prioritario selectivo	A	A	A
	Seguridad	Cifrado/codificación de voz	M	M	M
	<b>Facsímil</b>	Persona a persona	Mensajería breve de estado	B	B
Uno a varios (radiodifusión)		Alerta de despacho inicial (dirección, estado del incidente)	B	B	A
<b>Mensajería</b>	Persona a persona	Estado, mensajes breves, correo electrónico breve	A	A	A
	Uno a varios (radiodifusión)	Alerta de despacho inicial (dirección, estado del incidente)	A	A	A
	E-mail con archivos adjuntos	Mensajería rutinaria de correo electrónico	M	M	B
<b>Seguridad</b>	Acceso prioritario / instantáneo	Botón de alarma de hombre caído	A	A	A
<b>Telemetría</b>	Estado de localización	Información de latitud y longitud del GPS	A	M	A
	Estado de localización y datos de sensores	Estado de vehículos	A	A	A
	Datos de sensores	Telemetría/estado del vehículo	A	A	M
		EKG (electrocardiograma) en campo	A	A	M
<b>Interacción con base de datos</b>	Consulta de registros basados en formularios	Acceso a los registros de personas desaparecidas	A	A	M
	Informe de incidencias basado en formularios	Archivo de los informes en campo	A	A	A
<b>Interacción con base de datos</b>	Consulta de formularios y registros	Acceso a expedientes médicos	A	A	A
		Listas de personas identificadas/desaparecidas	A	A	A
		Sistemas de información geográfica (GIS)	A	A	A
<b>Transferencia de archivos de texto</b>	Transferencia de datos	Archivos de informes desde/hacia el lugar del incidente	M	M	M
<b>Transferencia de imágenes</b>	Descarga/envío de imágenes físicas comprimidas	Biometría (huellas dactilares)	A	A	M
		Foto de identificación	A	A	M
		Planos de los edificios	A	A	A
<b>Video</b>	Descarga/envío de	Secuencias de vídeo	M	L	L



		PP (1)	PP (2)	DR	
	vídeo comprimido	Supervisión de pacientes	M	M	M
		Secuencia de vídeo del incidente en curso	A	A	M
	Secuencias de vídeo, conexión de vídeo en directo	Comunicación de vídeo desde cámaras inalámbricas utilizadas por bomberos en el interior de edificios	A	A	A
		Imágenes o vídeo para ayudar al soporte médico remoto	A	A	A
		Vigilancia de la escena del incidente a cargo de dispositivos robots fijos o controlados remotamente	A	A	M
		Evaluación de escenarios de incendios/inundaciones desde plataformas aerotransportadas	M	A	M
<b>Interactividad</b>	Determinación de la ubicación	Sistema bidireccional	A	A	M
		Datos de localización interactiva	A	A	A
<b>Acceso bases de datos</b>	Acceso Intranet/Internet	Acceso a planos arquitectónicos de edificios, ubicación de materiales peligrosos	A	A	A
	Navegación por la Web	Consulta de números telefónicos en el directorio de la organización de PPDR	M	M	B
<b>Control de robots</b>	Control remoto de dispositivos robots	Robots de imágenes/vídeo	A	A	M
<b>Obtención de Imágenes</b>	Imágenes de alta resolución	Recuperación de imágenes médicas en tiempo real	M	M	M
		Descarga de imágenes de exploración satelital de la Tierra	B	B	M

**Tabla 40 Aplicaciones de la RNTE**

Fuente: UIT

### 9.1.3 Cálculo de Requerimientos Espectrales para la Red de Banda Ancha de la RNTE

Para realizar el cálculo de requerimientos espectrales que requiere la red de banda ancha de la RNTE, se sigue la metodología adoptada por la ECC (Electronic Communications Committee), haciendo uso de la “Matrix of applications” producida y aprobada por el grupo LEWP/RCEG (Radio Communications Expert Group of the Law Enforcement Working Party of the Council of the European Union) con el soporte técnico de la ETSI, en junio de 2011<sup>160</sup>. El alcance de la matriz incluye aplicaciones de banda ancha móvil de datos para la RNTE que pueden ser utilizadas individualmente o en diferentes combinaciones de acuerdo a las demandas de la situación operacional que se esté atendiendo.

<sup>160</sup> User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). ECC, 2013.



La lista de aplicaciones que se encuentra consolidada en la “Matrix” es el resultado de estudios previos para redes de emergencia en Alemania, Francia, Finlandia, Reino Unido, Bélgica, Países Bajos y ETSI<sup>161</sup>. El cálculo del espectro necesario para la red de banda ancha de la RNTE, haciendo uso de la matriz, tiene en cuenta uno o dos incidentes importantes ocurridos simultáneamente, con un video de alta calidad y una serie de vídeos de baja calidad para un incidente particular, así como comunicaciones que cubren una pequeña escala de incidentes que ocurren en cualquier lugar dentro de la celda.

El método consta de los siguientes pasos:

- Estimar el tipo de aplicaciones y servicios que serán soportados por la red de banda ancha de la RNTE. El Grupo Consultor teniendo en cuenta las aplicaciones que originalmente tiene la Matriz desarrollada por LEWC/RCEG eliminó aquellas aplicaciones que son de uso típico en las redes de seguridad ciudadana, en especial aquellas que hacen referencia a verificación de matrículas de vehículos, consulta de base de datos de criminales de alta peligrosidad. Para evaluar el impacto en el ancho de banda de los servicios de voz, hemos desarrollado un cálculo en otra matriz, impacto que se le adicionará a los requerimientos de datos, en un futuro muy cercano cuando esté disponible la Voz sobre las redes LTE.
- Estimar el número de usuarios de una celda utilizando una aplicación en un área urbana en una gran ciudad y el número de transacciones por usuario de esa aplicación, tanto en condiciones de hora pico de ocupación, que es más alta que la carga por hora durante una semana normal y durante una emergencia o incidente en los que los socorristas atienden un incidente de gran escala.

Para este efecto, la matriz original consultó a comités de expertos de usuarios finales representados por LEWC y de expertos técnicos de la ETSI, usando la experiencia de esos usuarios para realizar un modelo genérico en condiciones de carga. El Grupo Consultor estimó una proporción con respecto a los usuarios de las entidades que hacen parte del SNGRD y que atenderían la emergencia en el área urbana de una gran ciudad. La cantidad máxima de usuarios que se estableció en condiciones pico fue de 100 usuarios por celda y 200 usuarios por celda en caso de emergencia.

Como el uso de las aplicaciones pueden ser asimétricas entre el enlace ascendente y el enlace descendente (por ejemplo, varios usuarios envían vídeo sobre un incidente a una sala de control, pero el vídeo sólo se envía de vuelta a un supervisor en el campo), el número de usuarios que hacen uso de la aplicación y la carga en el enlace ascendente y el enlace descendente se estiman por separado.

---

<sup>161</sup> User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). ECC, 2013.



- Estimar el factor en caso de emergencia por el que el uso de la aplicación será multiplicado en razón a que el uso de la aplicación se puede incrementar o por el contrario disminuir (por ejemplo, en aplicaciones utilizadas en operaciones de rutina). De igual manera, este factor fue determinado en la matriz original teniendo en cuenta la experiencia de los usuarios y se mantiene el valor por el Grupo Consultor. Algunas aplicaciones de misión menos críticas pueden ser descalificadas por el sistema, y algunas simplemente se usarán menos por los usuarios, en cuanto su atención estará centrada en otras tareas. Los valores considerados son: mayores que 1 = “muy alto” en misión crítica (multiplicador); 1 = “alto” en misión crítica (sin reducción); 0,5 = reducción del 50% de “medio” en misión crítica; 0,1 = reducción del 90% para los servicios "bajo" en misión crítica.
- Estimar el número de grupos de una celda utilizando una aplicación en un área urbana en una gran ciudad tanto en condiciones normales de hora pico de ocupación y durante una emergencia o incidente para el enlace descendente.

La finalidad de estimar grupos es realizar cálculos alternativos en los casos en que la tecnología permite direccionar un servicio o aplicación a varios grupos separados en lugar de hacerlo a cada miembro del grupo individualmente. Para el caso de la RNTE se dejan la misma cantidad de grupos establecidos en la matriz original basados en la experiencia del grupo de expertos.

- Estimar el tamaño de una transacción de datos para cada aplicación en el enlace ascendente y en el enlace descendente. El Grupo Consultor considera que los valores para cada aplicación estimados en la Matriz original son adecuados para el caso de la RNTE, por lo tanto no fueron modificados.

Para transacciones discretas se estima el requerimiento de datos (número de bytes de información requerida o la cantidad de datos enviados). Para transacciones de streaming se estima la tasa de bits (Kbps) de la transacción y la cantidad de minutos por hora que cada usuario tendría para hacer uso de la aplicación (longitud de la transacción).

Una transmisión dirigida a un grupo puede tener una sobrecarga de datos mayor en comparación con una transmisión dirigida individualmente, por ejemplo causada por los bits de corrección de errores adicionales que se requieran, si la retransmisión selectiva individual no es posible, por lo tanto se debe utilizar un factor adicional para estimar el aumento de la carga causada en la transmisión dirigida a un grupo. No todos los servicios dirigidos a grupos incurrir en una sobrecarga adicional, por ejemplo la transmisión de video en tiempo real se envía con una cantidad de bits de corrección de errores, pero el codec receptor corrige en parte la pérdida de datos en lugar de solicitar una retransmisión que sería equivalente a que la transmisión se dirigiera individualmente o al grupo, por lo tanto, no hay ninguna sobrecarga para grupos con este servicio. Por ejemplo: '2' indica que el doble de capacidad de enlace descendente se utiliza con respecto a lo que se utiliza para



una transacción individual (por ejemplo, para obtener la robustez, la transmisión se repite una vez después de su transmisión inicial).

- Estimar si la aplicación se toma como centrada en el incidente o como una aplicación background dispersa a lo largo de la celda. El Grupo Consultor considera que la distribución de los usuarios para cada aplicación estimada en la Matriz original son adecuados para el caso de la RNTE, por lo tanto no se modifica.

Esto se utiliza para determinar si bajo condiciones de incidente / emergencia, la aplicación se está utilizando en el incidente, o es utilizada por usuarios 'background' que están distribuidos uniformemente en la celda. Por lo tanto, permite asignar diferentes eficiencias de espectro a uno o dos incidentes, además de otros eventos en el promedio de la celda, así:

- "i": usuarios ubicados en el incidente;
- "s": usuarios distribuidos en la celda;
- "x": los datos deben excluirse de los cálculos de volumen de espectro y de datos, por ejemplo, aplicaciones realizadas por otros medios locales (despliegue de redes inalámbricas tipo WiFi).

Aquellos que estén en la escena del incidente utilizarán una eficiencia de espectro en función de su distancia desde el centro de la celda. Aquellos que se encuentran a lo largo de la celda, para efectos del estudio, se les puede asignar una eficiencia espectral promedio.

Algunas aplicaciones están generalmente distribuidas de manera uniforme y son promediadas durante el proceso, pero se puede garantizar que se tenga un único usuario en el borde de la celda en algún momento durante la hora pico - tales como vehículos que se mueven entre las celdas.

1. Los pasos anteriores son los datos de entrada que requiere la matriz para poder realizar los cálculos acerca de los requerimientos de espectro. En la siguiente tabla se muestra los datos de entrada ingresados en la matriz configurada para la RNTE:



Tipo de Aplicaciones + Servicios	Entrada de número de usuarios						Grupos		Entrada de datos UL				Entrada de datos DL			Entrada de ubicación usuarios	
	Transacciones en hora pico por usuario	Factor de multiplicación en emergencia	Usuarios Uplink por celda (pico) para esta aplicación	Usuarios Uplink por celda (emergencia)	Usuarios Downlink por celda (pico) para esta aplicación	Usuarios Downlink por celda (emergencia)	Grupos por celda en lugar de usuarios (pico)	Grupos por celda en lugar de usuarios (emergencia)	Datos Uplink por transacción (bytes)	Tasa de bits Uplink por transacción (kbps)	Longitud de la transacción (minutos por hora)	Datos Downlink por transacción (bytes)	Tasa de bits Downlink por transacción (kbps)	Longitud de la transacción (minutos por hora)	Factor de carga por grupo	Distribución de usuarios: i: incidente, s: a lo largo de la celda, x: ignorar	Usuario individual en el límite de la celda: u: si se presenta
<b><u>DATOS DE LOCALIZACIÓN</u></b>																	
Datos del Sistema de Localización Automática al centro de control (CCC) (localización personas + vehículos)	48	1	50	100				80								s	
Datos del Sistema de Localización Automática devueltos	12	2			10	1,5					1000			2,00	i		
<b><u>MULTI MEDIA</u></b>																	
Video desde / hacia el CCC + intervención	1	1	1	1	2	2	2		768	60		768	60	1,00	s	u	
Videos desde / hacia el CCC + intervención, adicionales de baja calidad	1	1	1	1	4	4			64	60		64	60	1,00	s	u	
Video para observación fija	1	0,5	1	1					384	20				1,00	s		
Videos para observación fija adicionales de baja calidad	1	0,5	4	4					64	20				1,00	s		
Video de la ubicación (zona del desastre o evento) hacia y desde la sala de control - de alta calidad	1	1	0	1		1			768	60		768	60	1,00	i		
Video de la ubicación (zona del desastre o evento) hacia y desde la sala de control - de baja calidad	1	1	0	4					64	60				1,00	i		
Video de la ubicación (zona del desastre o evento) para uso local	1	1	0	20		10	1		192	60		192	60	1,00	x		
Operaciones de Video conferencia	1	0,5	1	1	1	4			256	10		256	10	1,00	i		
Transmisión de secuencia de video	1	1	2	0	4	0	1	200000			2000000			2,00	i		
Difusión de fotos	2	1			50	200	2	2				50000		2,00	s		



	Entrada de número de usuarios						Grupos		Entrada de datos UL				Entrada de datos DL			Entrada de ubicación usuarios	
Fotos a un grupo seleccionado	2	1			50	200	10	10				50000			2,00	s	
<b><u>APLICACIONES DE OFICINA</u></b>																	
Sincronización de terminales móviles	2	0,2	50	50	50	200			5000			5000				s	
Espacio de trabajo móvil + internet público incluido	5	0,2	50	50	50	100			100000			100000				s	
<b><u>DESCARGA DE INFORMACIÓN OPERACIONAL</u></b>																	
Descarga de información del incidente (texto + imágenes) desde el centro de control a las unidades en campo	2	1			50	30	10	20				50000			2,00	i	
Descargar mapas con información incluida a las unidades de campo	1	2			50	200	10	20				50000			2,00	s	
Información del centro de comando y control incluido administración de tareas + informes	1	4			50	100	10	20				50000			2,00	i	
<b><u>CARGA DE INFORMACIÓN OPERACIONAL</u></b>																	
Carga de información del incidente (texto + imágenes) al centro de control	1	4	50	20					50000						2,00	i	
Información de estado + ubicación	5	1	50	100					100						2,00	s	
Reenvío de documentos escaneados	0,1	30	10	0					100000						2,00	i	
Informes, incluye imágenes, etc.	1	0,1	100	20					100000	0					2,00	s	
Subir mapas + esquemas con información incluida	1	4	10	4					50000						2,00	i	
Enviar monitorización de pacientes (ECC) instantánea al hospital	1	12	5	10					50000						2,00	i	
Enviar monitorización de pacientes (ECC) en tiempo real al hospital	1	1	5	10						15	15				2,00	s	
Monitoreo de la condición de seguridad del trabajador (detección de caída, nivel de estrés, monóxido de carbono, etc.)	120	1	10	20					1000						2,00	i	



	Entrada de número de usuarios						Grupos		Entrada de datos UL			Entrada de datos DL			Entrada de ubicación usuarios	
<b><u>CONSULTA DE BASES DE DATOS EN LÍNEA</u></b>																
Búsqueda en la base de datos operacional	2	0,1	10	20	100	200			1000		50000			2,00	i	
Servicios de bases de datos médicas remotas	2	2	10	10	10	100			1000		50000			2,00	i	
Comprobar un número de matrícula en línea	5	0,1	10	20	100	200			100		2000			2,00	s	
Verificación de biométrico (por ejemplo, huella dactilar)	1	0,1	10	20	100	200			20000		2000			2,00	i	
Sistema de Recuperación de Accidentes (solicitar información en el sitio)	1	0,5	10	4	10	50			200		50000			2,00	i	
Sistema de Recuperación de Accidentes (Actualización de la base de datos de vehículos)	0,1	0			10	50					50000			2,00	i	
<b><u>VARIOS</u></b>																
Actualización de software en línea					0	0								2,00		
Actualización de mapas GIS (Sistema de Información Geográfica)					0	0								2,00		
Telemetría automática incluidos mecanismos teledirigidos + información desde sensores (estáticos)	60	1	10	10					100		100			2,00	s	
Punto de acceso en casos de desastre o área de eventos (por ejemplo, en el centro de comunicación móvil)														2,00	x	
Aplicaciones Front office - back office	3	0,1	100	0	100	200			10000		10000			2,00	s	
Alarmas / paging	1	1	100	20	100	100	15	15	100		1000			2,00	s	
Sistema de gestión del tráfico: Información sobre las situaciones de carretera a las unidades	4	2			50	200	10	20			10000			2,00	s	
Conectividad de las fuerza extranjeras asignadas al centro de comando y control local														2,00	x	

Tabla 41 Matriz configurada para la RNTE

Fuente: ECC – Grupo Consultor

En el Anexo XII Cálculo de requerimientos de ancho de banda para RNTE LTE se presenta el formato digital completo de la matriz configurada para la RNTE.

- Calcular la velocidad agregada en la red por aplicación. La carga de datos fue calculada por la Matriz para el enlace ascendente y descendente en condiciones normal de hora de mayor ocupación y en condiciones de emergencia. El número de usuarios para cada aplicación es multiplicado por las transacciones por hora y por el tamaño de la transacción o (tasa de bits\*duración) para el enlace ascendente y el enlace descendente, en condiciones de hora pico.

En condiciones de emergencia, se realizan los mismos cálculos pero se tiene en cuenta el factor en caso de emergencia que ya fue determinado para casos de emergencia, con el fin de contemplar el incremento o la reducción del uso de la aplicación en el momento que se presente el incidente.

Estimar la eficiencia espectral de la tecnología LTE en los escenarios. La estimación de la eficiencia espectral permite asignar diferentes eficiencias de espectro en bps/Hz que serán introducidas para el enlace ascendente y descendente en promedio a lo largo de la celda, en uno y dos incidentes. La "eficiencia de espectro para un solo usuario en aplicaciones distribuidas de forma desigual" permite entregar la eficiencia de espectro para un solo usuario de la aplicación. Esto sólo se utiliza a las aplicaciones de vídeo en tiempo real. En la siguiente tabla se presenta la eficiencia espectral que se utiliza para realizar los cálculos de requerimientos de la RNTE:

<b>Entradas de eficiencia espectral</b>	UL	DL	
Eficiencia espectral promedio sobre la celda	1,00	1,50	bps/Hz
Eficiencia espectral en el 1er incidente	1,00	1,50	bps/Hz
Eficiencia espectral en el 2do incidente	0,10	0,15	bps/Hz
Eficiencia espectral de llamadas de grupo para usuarios a lo largo de la celda		1,50	bps/Hz
Eficiencia espectral de llamadas de grupo en el 1er incidente		1,50	bps/Hz
Eficiencia espectral de llamadas de grupo en el 2do incidente		0,15	bps/Hz
Eficiencia espectral para un solo usuario en aplicaciones distribuidas de forma desigual	0,10	0,15	bps/Hz
Capacidad de espectro UL para usuarios de video en tiempo real	1000	kHz	
Capacidad de espectro UL para usuarios de video en tiempo real	2000	kHz	

**Tabla 42 Eficiencia Espectral usada en la RNTE**

Fuente: ECC – Grupo Consultor

- Calcular el espectro necesario en cada escenario de las entradas anteriores. La Matriz realiza el cálculo de los requerimientos de espectro de acuerdo a las entradas anteriores.

### 9.1.3.1 Determinación del ancho de banda requerido por la RNTE

- **Criterios de diseño**

El escenario que estimó el Grupo Consultor supone un conjunto de condiciones en el peor caso, para la hora pico de mayor ocupación o una situación de emergencia en una gran ciudad del



país como Bogotá. El número de usuarios de cada aplicación y las aplicaciones fueron modificados por el Grupo Consultor como entradas a la matriz genérica LEWP, para que coincida con el escenario de una emergencia en el país. La carga de datos background no se varió con respecto a la matriz LEWP genérica asumiendo que hay una carga adicional en la celda, independiente del incidente o situación de emergencia.

El análisis de los requerimientos de Voz se realizó en una matriz modificada por el Grupo Consultor para poder ajustar las condiciones necesarias para prestar este servicio en la RNTE y estimar las demandas de espectro requeridos en el momento futuro en el que la tecnología LTE brinde el soporte necesario para esta aplicación. Esta matriz se adjunta en el Anexo XIII Cálculos Voz RNTE.

Se consideraron usuarios para el enlace ascendente y el enlace descendente de manera separada, en razón a que las personas que están realizando llamadas (tráfico uplink) no necesariamente se están comunicando con los usuarios del enlace descendente, sino que sus solicitudes pueden ser atendidos por ejemplo por los Centros de Atención de Emergencias o los Centros de Despacho. De igual manera aunque se estima que hay 50 usuarios haciendo uso del servicio en la hora pico y 100 usuarios en una emergencia, el momento de mayor tráfico en la aplicación permitirá 21 llamadas de voz simultáneas en la hora pico y 36 llamadas de voz en eventos de emergencia.

- **Eficiencia de espectro aplicada**

Se utilizaron valores de eficiencia de espectro para una ubicación “promedio” en la celda y una ubicación en el límite o borde de la celda. Teniendo en cuenta las consideraciones del 3GPP: TS 36.912 y de la ITU-R M.2198 que incluyen reportes del rendimiento de la tecnología LTE, se utilizó una eficiencia espectral promedio de 1,5 bps/Hz alcanzable en una red PPDR en el enlace descendente, y 1,0 bps/Hz en el enlace ascendente. En el borde de las celdas se asumen dos valores pesimistas de eficiencia espectral para proporcionar un análisis de sensibilidad: una eficiencia espectral de 0.1 bps/Hz en el enlace ascendente y 0,15 bps/Hz enlace descendente. Los valores anteriores se aplicaron en los casos individuales y de grupo en el enlace descendente.

### **9.1.3.2 Resultados de la velocidad agregada de la RNTE**

La siguiente tabla muestra la velocidad agregada en kbps de las aplicaciones de datos en el escenario de una situación de emergencia en una gran ciudad del país como Bogotá:



	Velocidad Agregada, kbps		
	Uplink	Downlink	Downlink optimizado con llamada de grupo (suma de datos individuales y multicast)
<b>Condiciones de hora pico de ocupación</b>	1.412	1.993	<b>1.952</b>
<b>Condiciones de emergencia:</b>			
Carga Background durante el incidente	993	1.986	<b>1.838</b>
Carga por incidente	1.075	956	<b>932</b>
<b>Carga Total con un incidente</b>	<b>2.068</b>	<b>2.942</b>	<b>2.770</b>
<b>Carga Total con dos incidentes</b>	<b>3.143</b>	<b>3.899</b>	<b>3.702</b>

**Tabla 43 Velocidad Agregada de las Aplicaciones de Datos de la RNTE**  
Fuente: Grupo Consultor

En el momento futuro en que la aplicación de Voz curse por la red LTE, la velocidad agregada se muestra en la siguiente tabla, donde la capacidad adicional requerida por los servicios de Voz (carga), se suman a la carga Total de los servicios de datos:

	Velocidad Agregada, kbps		
	Uplink	Downlink	Downlink optimizado con llamada de grupo (suma de datos individuales y multicast)
<b>Condiciones de hora pico de ocupación</b>	1.622	2.203	<b>2.002</b>
<b>Condiciones de emergencia:</b>			
<b>Carga Total con un incidente</b>	<b>2.428</b>	<b>3.302</b>	<b>2.840</b>
<b>Carga Total con dos incidentes</b>	<b>3.863</b>	<b>4.169</b>	<b>3.842</b>

**Tabla 44 Velocidad Agregada de las Aplicaciones de Voz y Datos de la RNTE**  
Fuente Grupo Consultor

### 9.1.3.3 Resultados del espectro demandado

Los resultados de los cálculos de espectro para el enlace ascendente y el enlace descendente calculados por la Matriz para un escenario de emergencia, basados en la experiencia del grupo de expertos de LEWP-ETSI y modificado por el Grupo Consultor para aplicarlo a un incidente en el país con valores de eficiencia espectral pesimistas (caso más crítico), se muestran en la siguiente tabla:

	Requerimientos de espectro, MHz		
	Uplink	Downlink Individual	Downlink optimizado en grupos
Eficiencia de espectro en el límite de la celda	0.1 bps/Hz	0.15 bps/Hz	0.15 bps/Hz
Eficiencia de espectro promedio	1 bps/Hz	1.5 bps/Hz	1.5 bps/Hz
Hora de ocupación pico	2,22	1,33	1,30
1 incidente en la posición promedio	2,88	3,83	3,7
1 incidente en el borde de la celda	5,87	6,45	6,19
2 incidentes en la posición promedio	3,95	4,47	4,34
2 incidentes: 1 en el borde de la celda y 1 en la posición promedio	6,9	7,1	6,8

**Tabla 45 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos de la RNTE**  
Fuente: Grupo Consultor

Cuando se incluyen los servicios de Voz, los requerimientos de espectro son los siguientes:

	Requerimientos de espectro, MHz		
	Uplink	Downlink Individual	Downlink optimizado en grupos
Eficiencia de espectro en el límite de la celda	0.1 bps/Hz	0.15 bps/Hz	0.15 bps/Hz
Eficiencia de espectro promedio	1 bps/Hz	1.5 bps/Hz	1.5 bps/Hz
Hora de ocupación pico	2,43	1,47	1,33
1 incidente en la posición promedio	3,60	4,31	3,79
1 incidente en el borde de la celda	9,47	8,85	6,66
2 incidentes en la posición promedio	5,03	5,19	4,48
2 incidentes: 1 en el borde de la celda y 1 en la posición promedio	10,86	9,98	7,36

**Tabla 46 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos de la RNTE**  
Fuente: Grupo Consultor

### 9.1.3.4 Análisis de resultados

- **Velocidad agregada**

De la anterior tabla, se puede deducir lo siguiente, en condiciones normales es decir, en el día a día donde se realizan operaciones rutinarias, el pico demandado de velocidad en el downlink es de aproximadamente 2 Mbps y de 1,5 Mbps en el uplink. Es importante destacar que este resultado se ha evaluado para el peor caso, es decir, para aquellas ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, donde la actividad administrativa y de eventos rutinarios es alta y por supuesto donde se consume mayores recursos de la RNTE. Desafortunadamente los diseños se tienen que hacer para el peor caso a pesar de que esta velocidad no será consumida en una localidad como Nobsa en Boyacá, donde el número de usuarios de la RNTE en las condiciones de día a día es muy bajo.



Cuando a la condición de pico del día a día, le adicionamos la velocidad demandada por los recursos de voz, la velocidad de downlink tan solo llega a 2,2 Mbps y la de uplink a 1,6 Mbps. Cuando se hacen llamadas de grupo el downlink se optimiza y la velocidad consumida llega a ser solamente de 2 Mbps. Más adelante indicaremos en el diseño que las celdas que utilizaremos para cubrir una localidad tanto en tráfico como en cobertura, son celdas de tres sectores que en el borde de cobertura tendrán una velocidad pico de bajada de hasta 126 Mbps y una de 43,2 Mbps de subida por lo que la velocidad que un consumo máximo de 2 Mbps UL / 1,6 Mbps DL de la RNTE son una fracción muy pequeña de la capacidad total de la celda.

En condiciones de emergencia, la velocidad de subida y de bajada demandada cuando ocurre un incidente o cuando ocurren dos incidentes incluye una carga de background que también estaba intrínsecamente incluida en las condiciones de hora pico de ocupación que no es más que operaciones rutinarias, tales como geo localización de móviles, envío de reportes administrativos, sincronización y actualización de dispositivos móviles, etc. En el caso de un solo incidente que incluye llamadas de voz, la velocidad de bajada es de 3,3 Mbps (cerca de 2,8 Mbps cuando se optimizan con llamadas de grupo) y la de subida de 2,4 Mbps aproximadamente. En el caso extremo de dos incidentes en la misma celda, la velocidad de bajada optimizada es de 3,8 Mbps y la de subida 3,8 Mbps.

- **Demanda de espectro para el enlace ascendente**

La demanda de espectro depende de factores como: la tecnología (eficiencia espectral), el uso de servicios con llamada de grupo, la planeación de la red y el incidente analizado. Grandes emergencias en el límite de la red crean mayores demandas de espectro, en razón a que en ese sitio se tiene la menor eficiencia espectral.

La demanda del enlace ascendente en horas pico de ocupación se considera que está distribuida uniformemente a través de la celda y es relativamente insensible a la eficiencia espectral en el borde de la celda<sup>162</sup>. Igualmente esto sucede cuando se presentan incidentes en posiciones promedio de la celda; Sin embargo, en el borde de la celda la demanda de espectro requerida en el enlace ascendente es muy sensible a la eficiencia espectral.

Para las aplicaciones de datos con un incidente que se presenta en el borde de la celda se requiere 5,87 MHz comparado con 2,88 MHz que se necesitan si el incidente ocurre en una posición promedio. De igual manera, cuando hay dos incidentes que ocurren en la posición promedio, los requerimientos de espectro son 3,95 MHz y cuando uno de ellos ocurre en el borde de la celda, la demanda de espectro alcanza el valor de 6,9 MHz. Nótese que la operación día a día que es en la que más tiempo permanecerá la RNTE, en la hora pico de ocupación esta consume tan solo 2,2 MHz.

---

<sup>162</sup> User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). ECC, 2013.



En el futuro, cuando la tecnología LTE preste los servicios de Voz, las demandas de espectro para un incidente que ocurre en una posición promedio de la celda, a demanda de espectro será de 3,6 MHz en tanto que si el incidente ocurre en el borde de la celda es de 9,47 MHz. Si se presentan dos incidentes en una posición promedio de la misma celda, los requerimientos de espectro son de 5,03 MHz; sin embargo si uno de ellos se presenta en el borde de la celda, el espectro requerido pasa a 10,86 MHz.

- **Demanda de espectro para el enlace descendente**

La demanda del enlace descendente es igualmente sensible a la eficiencia espectral en el borde de la celda cuando se presentan incidentes en esa posición. Sin embargo el uso y la tecnología asociada a las llamadas de grupo tienen una fuerte influencia<sup>163</sup>.

En un incidente en condiciones de hora de ocupación pico, los requerimientos de demanda para las aplicaciones de datos son tan solo de 1,3 MHz. Sin embargo, con llamadas individuales solamente para las aplicaciones de datos, en condiciones de emergencia cuando un incidente se presenta en la posición promedio, las demandas de espectro son de 3,83 MHz mientras que si el incidente ocurre en el borde de la celda es de 6,45 MHz. Los requerimientos de espectro para dos incidentes en la posición promedio son de 4,47 MHz y para dos incidentes, uno de los cuales es en el borde de la celda se demandan 7,1 MHz.

En el momento futuro, las aplicaciones de voz y de datos, demandarán para incidentes con llamadas individuales solamente, 4,31 MHz si el incidente ocurre en una posición promedio de la celda, 8,85 MHz si ocurre en el borde de la celda. Si dos incidentes ocurren en la misma celda en una posición promedio, se demandan 5,19 MHz y si uno de ellos ocurre en el borde de la celda, se necesitan 9,98 MHz.

El uso optimizado de llamadas de grupo reduce la demanda de espectro con respecto a las llamadas individuales. La reducción para las aplicaciones de datos permite pasar de 3,83 MHz a 3,7 MHz cuando ocurre un incidente en la posición promedio y de 4,47 MHz a 4,34 MHz cuando ocurren dos incidentes en la posición promedio, en llamadas individuales y llamadas de grupo respectivamente.

La reducción para las aplicaciones de voz y datos en el futuro, permite pasar de 4,31 MHz a 3,79 MHz cuando ocurre un incidente en la posición promedio y de 5,19 MHz a 4,48 MHz cuando ocurren dos incidentes en la posición promedio, en llamadas individuales y llamadas de grupo respectivamente.

---

<sup>163</sup> User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). ECC, 2013.

### 9.1.3.5 Resumen de resultados

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los resultados de requerimientos de espectro para aplicaciones de datos en el escenario en el cual que se presenten uno o dos incidentes dentro de la celda para el enlace ascendente y para el enlace descendente y para llamadas individuales o mixtas (individuales y llamadas de grupo) para el enlace descendente, teniendo en cuenta la posición del incidente.

Espectro Uplink, MHz		
	Máximo	Promedio
<b>1 incidente</b>	5,87	2,88
<b>2 incidentes</b>	6,9	3,95

**Tabla 47 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos en el Enlace Ascendente**  
Fuente: Grupo Consultor

Espectro Downlink, MHz			
		Máximo	Promedio
<b>1 incidente</b>	Individual solamente	6,45	3,83
	Grupo + Individual	6,19	3,7
<b>2 incidentes</b>	Individual solamente	7,1	4,47
	Grupo + Individual	6,8	4,34

**Tabla 48 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Datos en el Enlace Descendente**  
Fuente: Grupo Consultor

En el futuro cercano cuando las aplicaciones de voz y las de datos sean prestadas sobre la red LTE, los requerimientos de espectro para el enlace ascendente y el enlace descendente (llamadas individuales y llamadas de grupo) se resumen a continuación:

Espectro Uplink, MHz		
	Máximo	Promedio
<b>1 incidente</b>	9,47	3,6
<b>2 incidentes</b>	10,86	5,03

**Tabla 49 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos en el Enlace Ascendente**  
Fuente: Grupo Consultor

Espectro Downlink, MHz			
		Máximo	Promedio
<b>1 incidente</b>	Individual solamente	8,85	4,31
	Grupo + Individual	6,66	3,79
<b>2 incidentes</b>	Individual solamente	9,98	5,19
	Grupo + Individual	7,36	4,48

**Tabla 50 Requerimientos de Espectro de las Aplicaciones de Voz y Datos en el Enlace Descendente**  
Fuente: Grupo Consultor



### 9.1.3.6 Consideraciones de los requerimientos de espectro

La determinación del ancho de banda de ciudades grandes, como Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla, se han exagerado para efectos de establecer el peor caso que en una emergencia estén operando dentro de la celda 100 socorristas generando tráfico uplink y 200 recibiendo tráfico downlink.

Esta suposición es bastante extrema en razón a la dificultad de que en ciudades como las nuestras haya 100 socorristas con los sistemas de comunicaciones que generan y reciben tráfico como se ha establecido en el análisis. Por ello, debemos asumir que es una condición extrema y que podría ser importante en un futuro.

La condición día a día es la predominante en la red en razón a que a pesar de que en Colombia hay zonas de alta vulnerabilidad diariamente no están ocurriendo eventos de emergencia, por ejemplo, los eventos de inundaciones se dan en temporadas lluviosas en el año, que son franjas de tiempo que corresponden sólo a una fracción del año.

De la misma manera, los incendios forestales se dan en épocas de sequía, en los periodos de tiempo donde hay continuamente una sequía en una zona, la probabilidad de incendios forestales es muy alta, sin embargo esas semanas también son una fracción de las 52 semanas que tiene un año. Los eventos de deslizamiento de tierra, movimientos sísmicos y volcánicos ocurren en Colombia pero su frecuencia de ocurrencia no es muy grande.

La condición día a día es la condición promedio de la red, los eventos cuando ocurren disparan picos de utilización de recursos de red por intervalos de tiempo pequeños y con frecuencias relativamente pequeñas. El espectro se ha determinado asumiendo que ocurre un incidente en la posición promedio de la celda o que dos eventos ocurren en la misma celda, uno en la posición promedio y otro en el borde de la celda.

En razón a que los desastres tienen una probabilidad de ocurrencia de poca frecuencia<sup>164</sup> y a la tendencia aleatoria de estos mismos, se sigue una distribución probabilística de Gumbel<sup>165</sup> que permite predecir que la probabilidad de ocurrencia de un evento en la posición promedio de la celda es mayor que la probabilidad de ocurrencia de un evento en el borde de la celda y es mucho menos probable que ocurran dos eventos en una misma celda.

Desde el año 2008 hasta el 2012 se han reportado 9.845 incidentes en la base de datos de la UNGRD<sup>166</sup>, que es equivalente a 2.000 incidentes por año aproximadamente. El 83% de esos incidentes reportados corresponden a inundaciones, deslizamientos y vendavales que son eventos con afectación local y son los que mayor frecuencia presentan. Las ciudades con

---

<sup>164</sup>Disaster myopia. Guttentag y Herring. 1984

<sup>165</sup><http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-7/METODO-DE-GUMBEL.pdf>

<sup>166</sup><http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias.aspx>.



mayor frecuencia de eventos de emergencia durante ese periodo de tiempo fueron Bogotá, Pereira, Barranquilla, Medellín e Ibagué, que presentaron un promedio de 24 incidentes al año.

Al analizar los reportes de las emergencias, se encontró también que aunque existieron varios eventos el mismo día, en la misma localidad, éstos se presentaron en sitios diferentes de las ciudades por lo que los eventos que coincidan dentro de una misma zona no se dieron. Esto tiene una implicación importante en la probabilidad de ocurrencia de dos eventos de emergencia en el área de cobertura de una celda: La estadística indica que estos eventos no se han presentado pero no deben ser de probabilidad cero sino de una probabilidad muy baja, por ejemplo en el caso de un terremoto<sup>167</sup>, la probabilidad de ocurrencia de dos eventos o más dentro de una celda es muy alta, sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de un terremoto no es muy alta (por ejemplo en Popayán han ocurrido terremotos en 1736, 1826, 1885 y 1983).

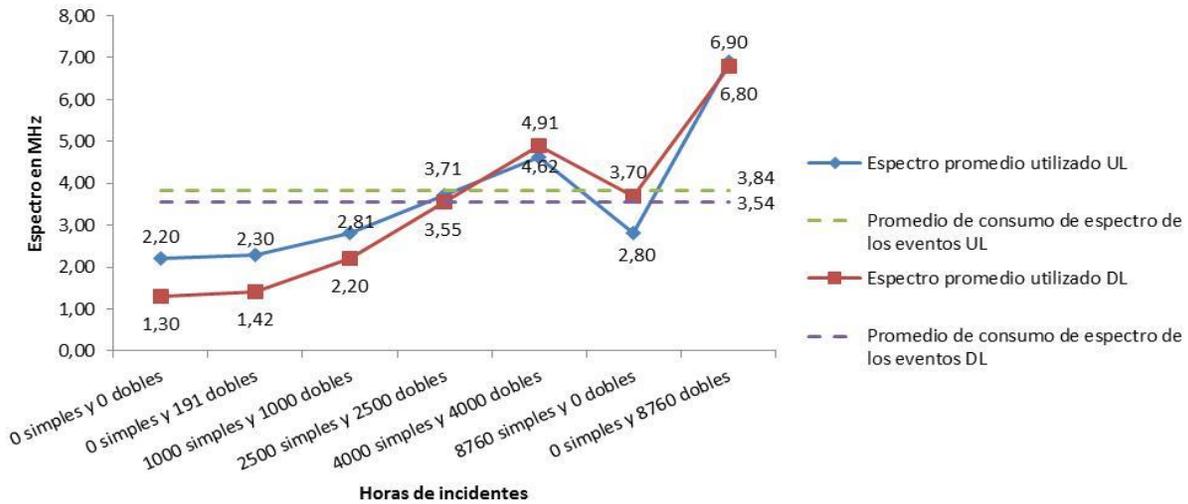
A manera de ejemplo, para medir el impacto en el ancho de banda, asumamos el siguiente caso hipotético: Que en la ciudad de Bogotá se presentaron 2.000 horas de incidentes en un año y que de esos incidentes, 1.000 horas se presentaron en la posición promedio de la celda y las restantes 1.000 horas se presentaron incidentes dobles, uno en el borde de la celda y el otro en la posición promedio de la celda. En las primeras mil horas de los eventos simples, la red consumió 2,8 MHz en el enlace ascendente y 3,8 MHz en el enlace descendente y en las 1.000 de eventos dobles, la red consumió 6,9 MHz en el uplink y 7,1 MHz en el downlink.

Durante las 6.760 horas restantes del año la red estuvo consumiendo 2,2 MHz en el uplink y 1,33 MHz en el downlink. Para sacar el promedio de ocupación del enlace ascendente de la red durante el año basta sumar los productos de (2,8 MHz) x 1.000 horas más (6,9 MHz) x 1.000 horas más (2,2 MHz) x 6.760 horas dividido entre las 8.760 horas que tiene un año. Dicho promedio indica que durante el año, el enlace ascendente tuvo una ocupación promedio de 2,81 MHz y de forma equivalente el enlace descendente fue de 2,27 MHz.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del uso de los recursos de red representados en ancho de banda, en este ejemplo en el sentido ascendente o uplink donde se puede apreciar que solamente dos ejemplos de los eventos sobrepasan el valor promedio de 3,8 MHz. Se puede observar que el evento que consume 6,9 MHz de espectro en el sentido ascendente es un evento extremo donde se considera que durante todo el año la red de emergencia soporta 8760 horas en eventos dobles, es decir con dos eventos ocurriendo en la misma celda, uno en el promedio de la celda y el otro en el borde de la celda. Esta cifra podría interpretarse como 2.190 eventos dobles de tiempo, de duración en emergencia de 4 horas.

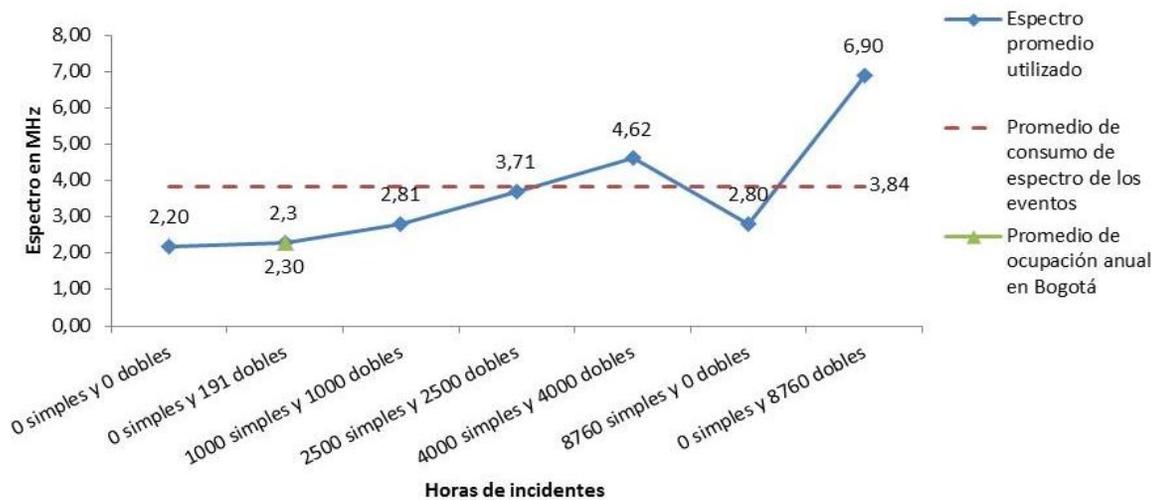
---

<sup>167</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos\\_en\\_Colombia](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Colombia).



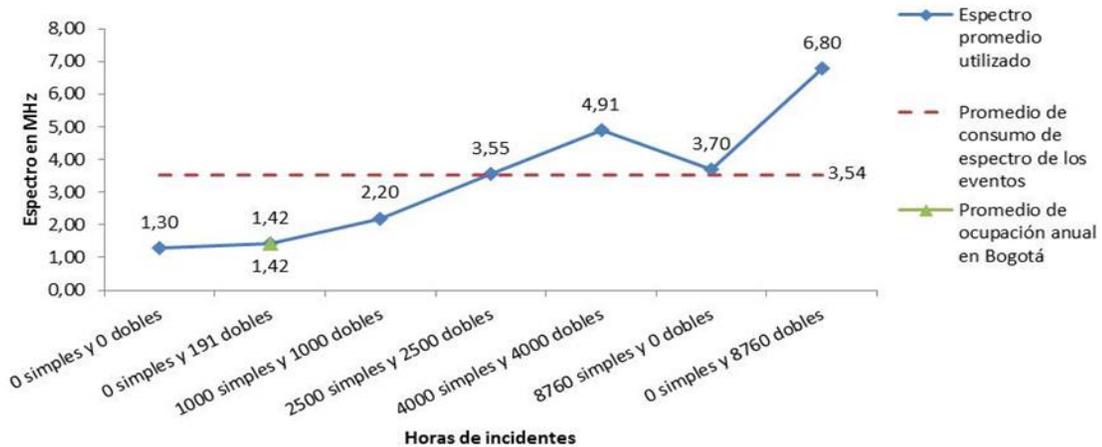
**Gráfica 3 Espectro Promedio Utilizado en MHz**  
Fuente: Grupo Consultor

En el caso real de Colombia, según la estadística de la UNGRD<sup>168</sup>, entre el periodo comprendido entre el año 2008 al 2012, Bogotá presentó 191 incidentes, que equivale a 38,2 incidentes al año aproximadamente. Asumiendo que estos incidentes sean dobles y de una duración de 5 horas, los recursos requeridos en la red para el enlace ascendente son de tan solo 2,3 MHz y para el enlace descendente son de 1,42 MHz, como se puede ver en las siguientes gráficas:



**Gráfica 4 Espectro Promedio Utilizado en el Enlace Ascendente en MHz, Incluyendo Caso para Bogotá**  
Fuente: Grupo Consultor

<sup>168</sup> <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias.aspx>.



**Gráfica 5 Espectro Promedio Utilizado en el Enlace Descendente en MHz, Incluyendo Caso para Bogotá**  
Fuente: Grupo Consultor

El Grupo Consultor considera que a medida que en Colombia, la red de emergencia tenga más usuarios que desarrollen el potencial de los aplicativos que esta red es capaz de soportar, la intensidad de los servicios irán aumentando en el tiempo, por lo que los requerimientos espectro de la RNTE a mediano plazo, muy seguramente podrían estar alrededor de los 5 MHz en el enlace ascendente y 5 MHz en el enlace descendente.

Por lo anterior, considerando que el espectro y el equipamiento de la RNTE se van a compartir por un operador comercial, este bloque debería ser de 15 MHz para el enlace ascendente y 15 MHz para el enlace descendente, en los cuales están incluidos los requerimientos de espectro de la RNTE.

## 9.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

El Grupo Consultor realizó la planeación de la red de radio (RNP: Radio Network Planning) para estimar la cantidad de sitios que se requieren implementar en la RNTE, de tal manera que se cumplan las expectativas de cobertura, capacidad, perfiles de usuario y servicios usando el ancho de banda resultante del numeral anterior. Las herramientas utilizadas son dos:

- Software Mentum Planet LTE: Para mostrar la cobertura de la señal en mapas (Plots) para las ciudades seleccionadas o tipificadas.
- Herramienta de cálculo del presupuesto de enlace (Link Budget), de propiedad del Grupo Consultor, para el cálculo de radio celdas de la totalidad de cabeceras municipales del país.

A continuación se presentan los pasos para el diseño de la red LTE:



**1) Definición de parámetros:**

- a. Modo de operación.
- b. Banda de frecuencia.
- c. Ancho de banda.

**2) Selección de los parámetros morfológicos del entorno y sus características:**

- a. Topografía del terreno.
- b. Velocidad UL en el borde de la celda.
- c. Porcentaje de cobertura de las cabeceras municipales.
- d. Especificación del área que será cubierta para cada entorno morfológico.

**3) Selección de los parámetros de los equipos:**

- a. Características del terminal.
- b. Características de la infraestructura.
- c. Características de las antenas.

**4) Simulación y dimensionamiento:** Se corrió la simulación para determinar la cantidad de sitios necesarios en el acceso de los eNodeB.

**5) Core e Interconexión:** Para el core de paquetes evolucionado EPC se estimará la cantidad de equipos que se requieren para atender los eNodeB tanto en el manejo del tráfico (SGW) como en el plano de control (MME), de acuerdo a la cantidad de estaciones resultantes de la simulación explicada anteriormente, como del tráfico agregado que se debe manejar.

Por último se definirá el tamaño y características tanto de la red de transporte, que une las estaciones base con el EPC, como el core IP que integra todos los elementos del EPC mismo.

De igual forma se dimensionarán las interconexiones necesarias del core de la red con las demás redes existentes de acuerdo al anexo técnico del pliego de condiciones.

**6) Diseños Eléctricos:** En forma paralela se realizan los diseños y se levantan los requerimientos eléctricos para cada uno de los sitios de la RNTE, tanto de acceso, para el backbone, como para el core de la red.

**7) Diseños de redundancias en equipos y redes:** El diseño incluirá la planeación de redundancias en redes y en equipos. En redes se planearán celdas móviles con accesos satelitales que puedan ser desplazados fácilmente a sitios de desastres y estaciones



satelitales móviles. El diseño incluirá redundancia de equipos, procesadores, etc. donde el Grupo Consultor estime y justifique necesario.

- 8) Resultados:** En cuanto a la parte de RF, para las ciudades seleccionadas y las que resulten tipificadas, se entregarán los mapas indicando el nivel de la señal garantizada (RSRP) junto con el objetivo de calidad (RSRQ) y los throughputs que se alcanzan tanto en uplink como en downlink. Para el resto del país, se entregarán cálculos de enlace donde se muestra que se garantiza la calidad de los servicios ofrecidos.

El resultado final para la red de acceso será la cantidad de sitios donde se deben instalar eNodeB de 3 sectores. Para el core serán las cantidades de equipos necesarios para atender la red LTE de emergencias.

El resultado de la red de transporte mostrará los anchos de banda necesarios, las interfaces necesarias y las características de estas redes.

Se detallarán la cantidad de equipos necesarios para la implementación de la red.

Estos resultados permitirán al Grupo Consultor estimar el costo de la RNTE con base en los datos obtenidos por los fabricantes de equipos y en el sector de redes móviles.

### 9.3 PARÁMETROS DEL DISEÑO

Los parámetros que se tendrán en cuenta para el diseño de la RNTE LTE fueron definidos de acuerdo a la experiencia del Grupo Consultor y a las consultas realizadas a los diferentes proveedores y se presentan a continuación:

- Parámetros Generales:
  - a) Modo de operación: FDD Modo Dúplex por división de Frecuencia, en razón a que Colombia seleccionó la canalización APT (Asia Pacífico) en FDD.
  - b) Banda de frecuencia: según lo acordado en el MINTIC la banda seleccionada para hacer el diseño de LTE es 700 MHz.
  - c) Ancho de banda: De acuerdo a las necesidades de los servicios explicados anteriormente, se requiere para la RNTE 15 MHz.

<b>Modo de operación</b>	<b>FDD</b>
<b>Banda de frecuencia</b>	700 MHz
<b>Ancho de banda</b>	15 MHz
<b>Pérdidas por el cuerpo humano</b>	2 dB
<b>Velocidad de vehículos</b>	60 Km/h
<b>Velocidad de las personas</b>	3 Km/h

Tabla 51 Parámetros Generales para el Diseño de la RNTE LTE

Fuente: Grupo Consultor



- Parámetros morfológicos y características:

Los parámetros morfológicos del entorno y sus características que se tienen en cuenta son:

- a) Topografía del terreno: Se trabajan cuatro entornos morfológicos: Denso Urbano, Urbano, Suburbano Indoor y Rural.
- b) Velocidad UL en el borde de la celda: 5,7 Mbps. Hemos seleccionado esta velocidad, en razón a que en el borde de la celda, la velocidad en el uplink cuando hay un incidente en el promedio del radio de la celda y otro en el borde de la celda es de 3,863 Mbps. En razón a que cuando se selecciona la velocidad de 5,7 Mbps, los resultados de la simulación con el software Mentum Planet (que es una herramienta más precisa) y los de la herramienta Link Budget coincidían bastante bien en el número de celdas de las cabeceras municipales. Adicionalmente, esa velocidad permite que incluso cuando haya una emergencia haya un margen adicional para tráfico comercial.
- c) Porcentaje de cobertura de las cabeceras municipales: Para el diseño de la RNTE LTE se estima un porcentaje de cobertura del 95%, en razón a que pretender una cobertura del 100% requiere un número muy grande de celdas. Los PRST móviles diseñan su red con el objetivo del 95% y una vez montada realizan pruebas de campo para detectar si hay puntos de sombra, los cuales rellenan si es comercialmente viable con pequeñas celdas, tales como pico celdas y en el caso de LTE femtoceldas o celdas de WiFi para el desborde de tráfico.
- d) Especificación del área que será cubierta para cada entorno morfológico. El área de las localidades se tomó de la información que suministra la Federación Colombiana de Municipios y del IGAC<sup>169</sup>. En los casos en los que se tenía inconsistencia en la información o que no se tenía algún dato, el Grupo Consultor realizó una estimación utilizando la herramienta Google Earth Pro.

- Parámetros de la infraestructura de la RNTE LTE

Los parámetros de los equipos para el diseño de la RNTE son:

- a) Características del terminal móvil de usuario: Se tomaron la potencia de transmisión, ganancia de antena, pérdidas internas y umbral de recepción de los fabricantes de terminales. Para las redes de PPDR se estiman terminales con un umbral de recepción de 33dBm<sup>170</sup>, que están siendo probados por diferentes fabricantes en la banda de 700 MHz para la región 2 de la ITU<sup>171</sup>.

---

<sup>169</sup> <http://www.fcm.org.co/index.php?id=162>. Fuente: Federación Colombiana de Municipios.

<sup>170</sup> <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36837.htm>. Fuente 3GPP

<sup>171</sup> <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36837.htm>. Fuente 3GPP

<b>Potencia de transmisión</b>	<b>33 dBm</b>
<b>Ganancia de antena</b>	0 dB
<b>Umbral de recepción</b>	-98 dBm
<b>Figura de ruido</b>	8 dB
<b>Altura del terminal</b>	1.5 m

**Tabla 52 Características del Terminal Móvil de Usuario de la RNTE LTE**

Fuente: Grupo Consultor en Acuerdo con los Fabricantes de terminales Consultados

- b) Características de los eNodeB: El Grupo Consultor estudió varios fabricantes y tomó datos promedio de la potencia de transmisión, pérdidas por cables, conectores, duplexores, etc., y umbrales de recepción.

<b>Potencia de transmisión</b>	<b>40 W</b>
<b>Ganancia de antena</b>	16 dBi
<b>Umbral de recepción</b>	-106.5 dBm
<b>Figura de ruido</b>	2.5 dB

**Tabla 53 Características de los eNodeB de la RNTE LTE**

Fuente: Grupo Consultor en Acuerdo con los Proveedores Consultados

- c) Características de las antenas ubicadas en los eNodeB: Se consultaron varios fabricantes y se tomó la ganancia de una antena sectorizada típica de 16 dBi.

## 9.4 DISEÑO DE LA RED

### 9.4.1 Nivel de Acceso

#### 9.4.1.1 Simulaciones por ciudades

El diseño de la RNTE se dividió de la siguiente manera:

Se seleccionaron las cabeceras municipales con más de 35.000 habitantes que representan el 75% de la población del país y que presentan algún tipo de amenaza natural (110 ciudades) en razón a que tienen mayor riesgo al realizar el cruce entre amenaza y vulnerabilidad.

El diseño de estas 110 ciudades se realizó partiendo del cálculo de un radio de cobertura típico. Se ubicaron inicialmente celdas dentro de zonas de la localidad con una tipificación de clutter similar, se corre una simulación de las mismas en la herramienta Menthum Planet y mediante un proceso iterativo se adicionan las celdas necesarias o se reubican las que se habían considerado. Como resultado de lo anterior, se entregarán simulaciones para cada una de ellas de RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality) y throughput en downlink. Estos tres despliegues permiten tener una visión adecuada de cómo sería el comportamiento de la red real y cumple con los requerimientos técnicos para los servicios propuestos. En estas simulaciones quedaron incluidas todas las capitales de departamento, exceptuando las que se mencionarán en las simulaciones por departamento a



continuación. Los resultados de estas simulaciones se entregan en el Anexo XIV Mapas de cobertura de la RNTE LTE, numeral i. 110 Ciudades.

#### **9.4.1.2 Simulaciones por departamentos**

Para los departamentos de Caldas, Huila, Tolima, Cauca, Cundinamarca y Nariño que presentan cabeceras municipales con probabilidad de amenaza volcánica Alta, Media o Baja, se entregará a simulación a nivel departamental permitiendo verificar la cobertura en estas zonas, en razón a que esta es la amenaza natural considerada más crítica. Los resultados de estas simulaciones se entregan en el Anexo XIV Mapas de cobertura de la RNTE LTE, numeral ii. Departamentos Seleccionadas por Amenaza Volcánica.

Las cabeceras municipales contempladas en estos departamentos son: Ambalema, Ancuya, Anzoategui, Belalcázar, Beltrán, Cajamarca, Chachagüí, Chinchiná, Coconuco, Coello, Consaca, Cumbal, El Tambo, Espinal, Flandes, Girardot, Guamo, Herveo, Honda, Ibagué, La Florida, Líbano, Mariquita, Nariño, Paispamba, Popayán, Ricaurte, Saldaña, San Juan De Pasto, San Luis, Sandona, Santa Isabel, Suarez, Timbio, Valle De San Juan, Venadillo, Villahermosa, Yacuanquer.

Con el fin de incluir todas las capitales en las simulaciones, para los departamentos: Vichada, Vaupés, Guainía, Putumayo y Amazonas, cuyas capitales presentan una población inferior a los 35.000 habitantes (que no hacen parte del grupo de simulaciones por ciudades), se realizaron simulaciones a nivel departamental. Los resultados de estas simulaciones se entregan en el Anexo XIV Mapas de cobertura de la RNTE LTE, numeral iii. Departamentos Seleccionados en los Antiguos Territorios Nacionales.

Para el archipiélago de San Andrés y Providencia, se entregarán las simulaciones de cobertura como un departamento aparte. El diseño se realizó teniendo en cuenta la condición especial de estas dos islas por lo que se garantiza la cobertura en el área total.

#### **9.4.1.3 Diseño del resto de cabeceras municipales**

Para las 993 cabeceras municipales restantes de las 1.103 analizadas en el diseño de la RNTE LTE, se utilizará la herramienta de software especializado Link Budget, propietaria del Grupo Consultor, para que con base en los parámetros de los equipos, antenas y terminales, junto con parámetros de clutter que simulan la cartografía, se pueda definir la cantidad de sitios que deberán implementarse para la nueva red LTE para la RNTE. En razón a que el resultado del diseño arrojó que para cada una de estas cabeceras municipales, la necesidad de implementación era de un sólo eNodeB, se llegó al acuerdo con el MinTIC que no se hace necesaria la simulación en la herramienta Menum Planet debido a que no cambia significativamente la simulación y que se garantiza la cobertura en el área de la cabecera municipal.



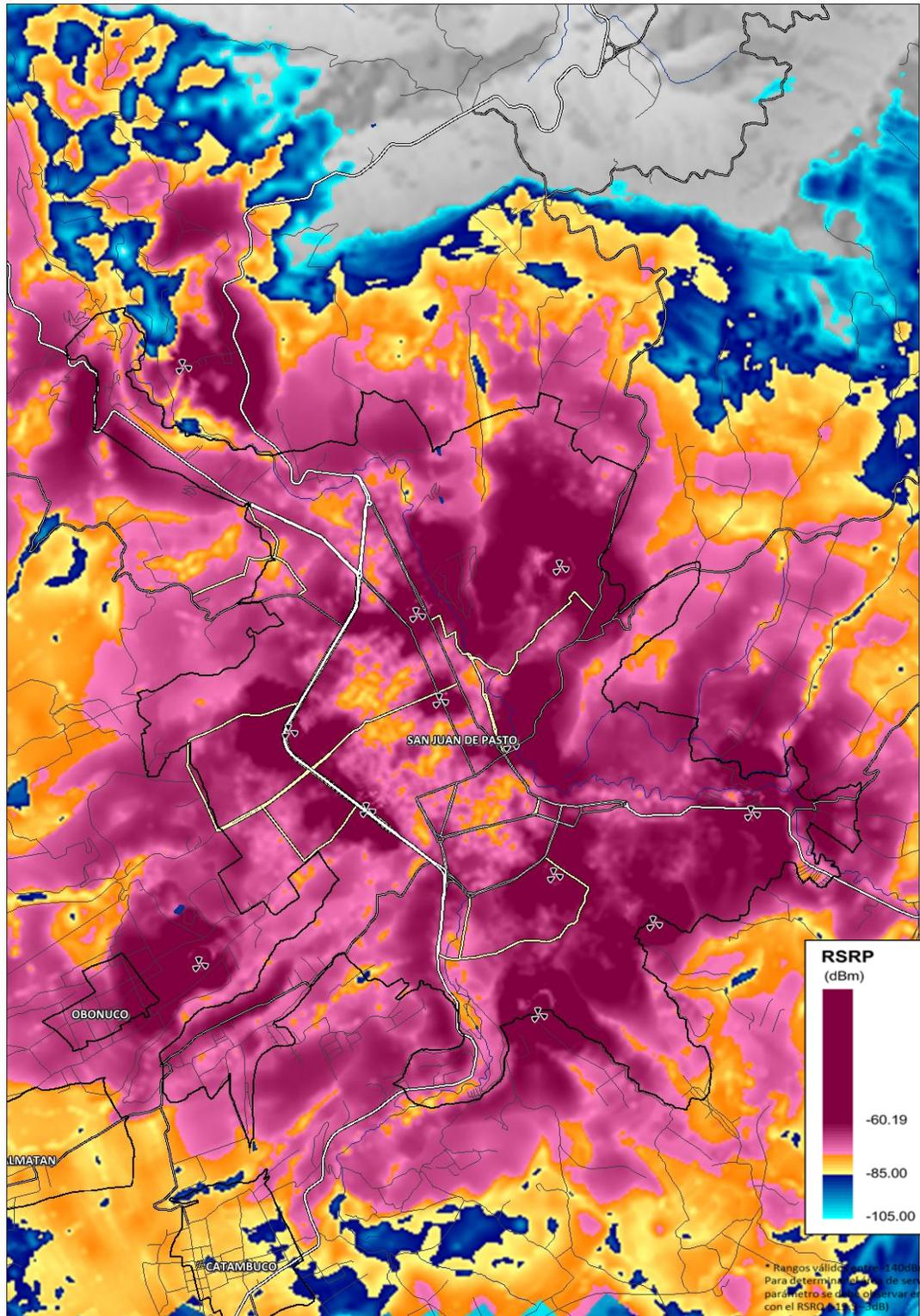
En el Anexo XV Coordinadas para los sitios de la RNTE LTE nueva que no fueron incluidos en las simulaciones, se entrega dicha información.

Los resultados obtenidos con la herramienta Link Budget y de las simulaciones con Mentum Planet se entregan en el Anexo XVI Análisis de los municipios y cálculos de los eNodeB requeridos para la RNTE LTE.

En total, se definieron 110 ciudades como las más vulnerables, de las cuales se entregan tres simulaciones por cada una de ellas (RSRP, RSRQ y Throughput en downlink).

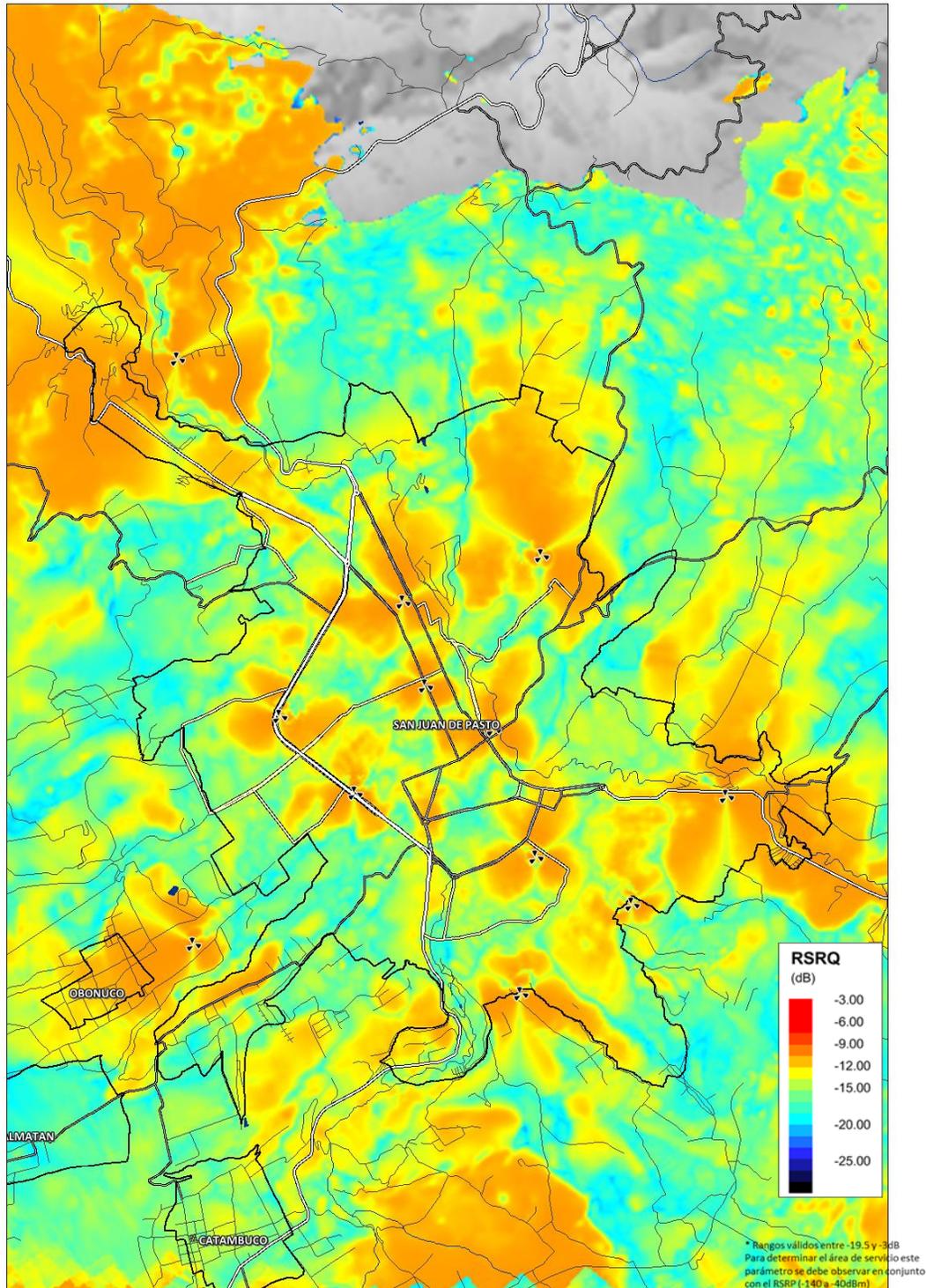
A continuación se presentan los ejemplos de las tres simulaciones para los siguientes casos:

- Simulaciones de la ciudad con mayor número de Multi-Amenazas, Pasto.
- Simulaciones para un Departamento con alto grado de Amenaza Volcánica, Cauca.
- Simulaciones para una ciudad capital de Antiguos Territorios Nacionales con un alto riesgo de Inundación, Mitú.



**Ilustración 54 Simulación RSRP de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza)**

Fuente: Grupo Consultor



**Ilustración 55 Simulación RSRQ de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza)**

Fuente: Grupo Consultor

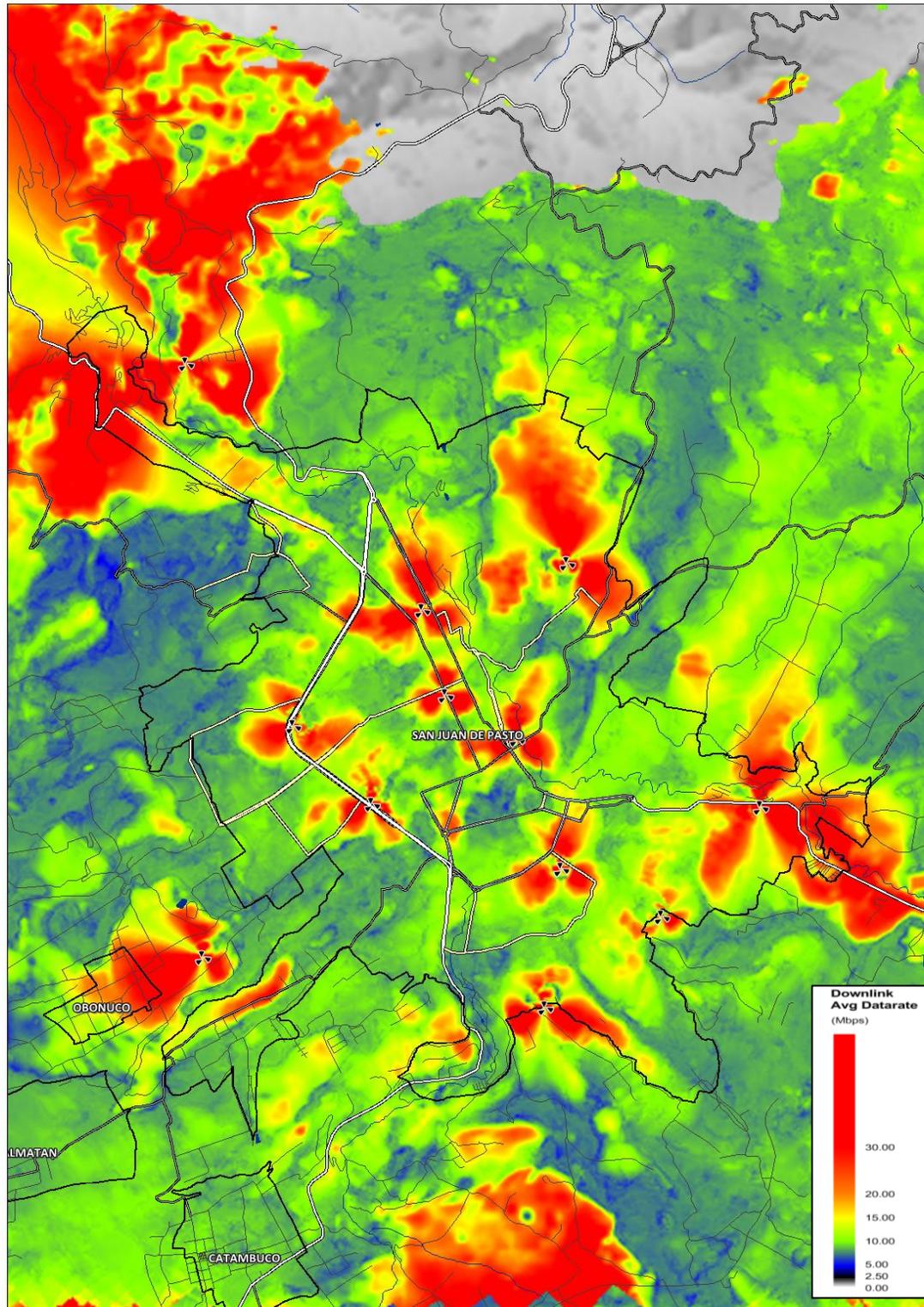


Ilustración 56 Throughput en Downlink de Pasto (Ciudad con Mayor Riesgo Por Multi-amenaza)  
Fuente: Grupo Consultor

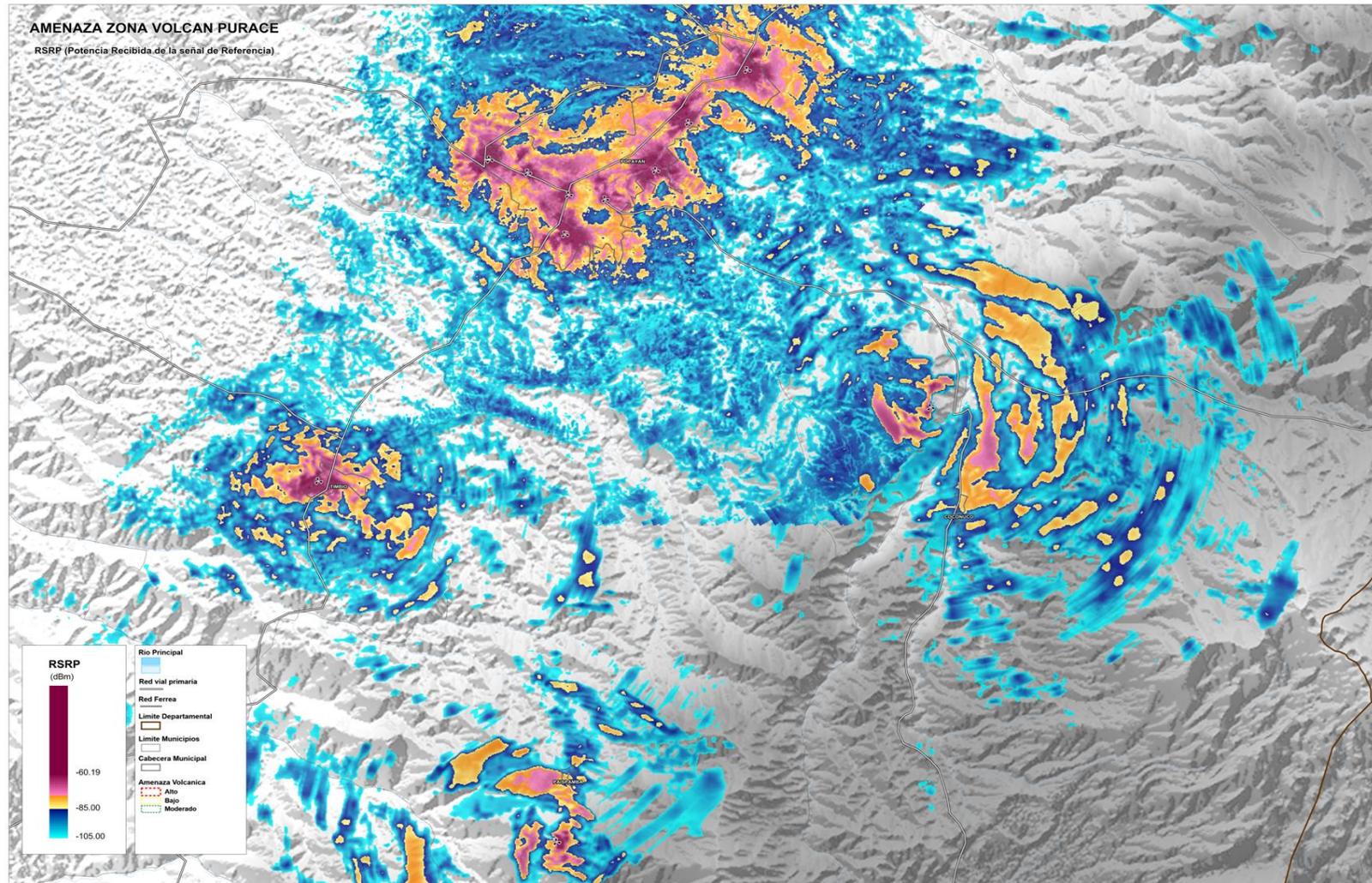


Ilustración 57 Simulación RSRP de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica)

Fuente: Grupo Consultor

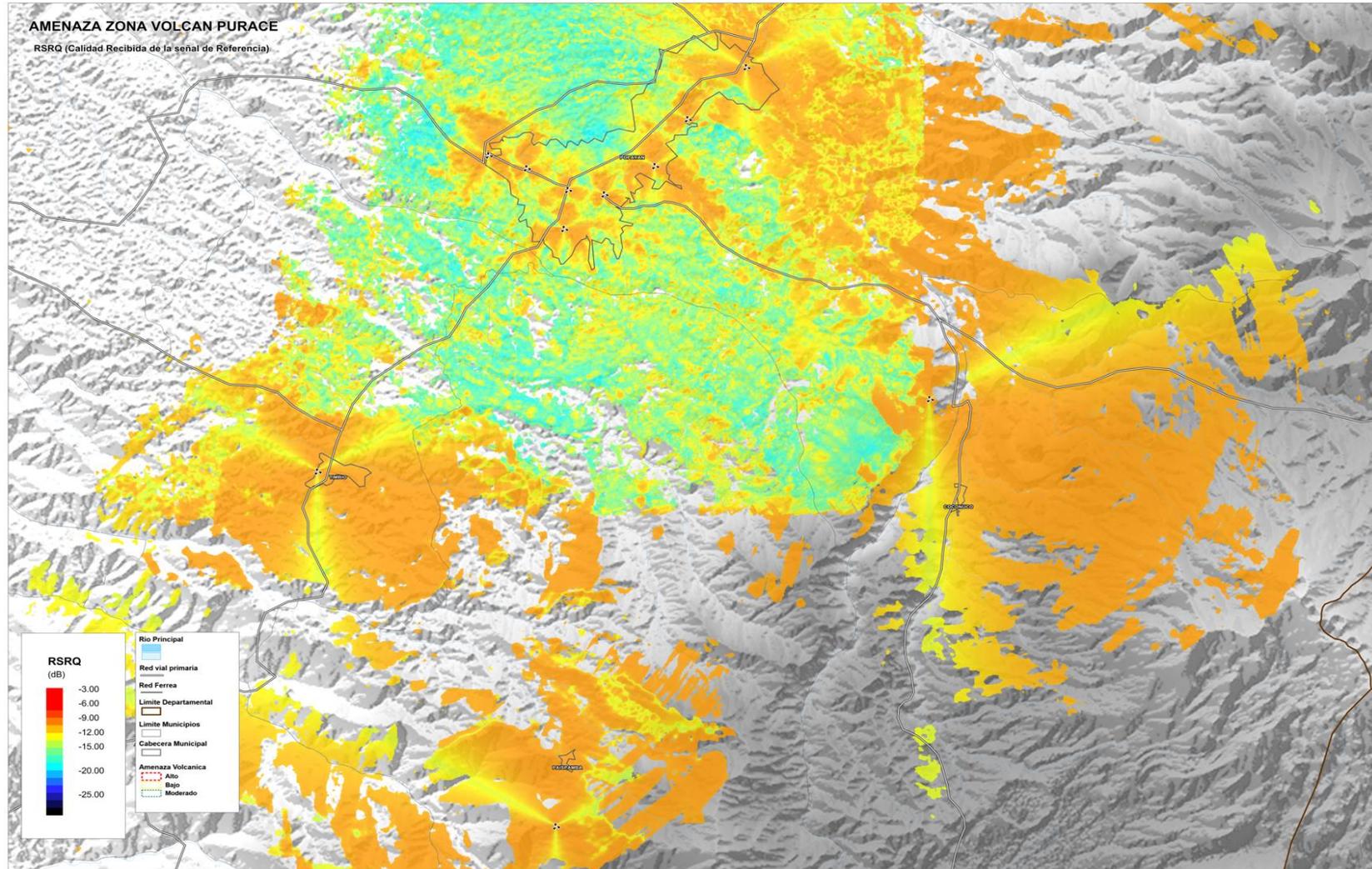
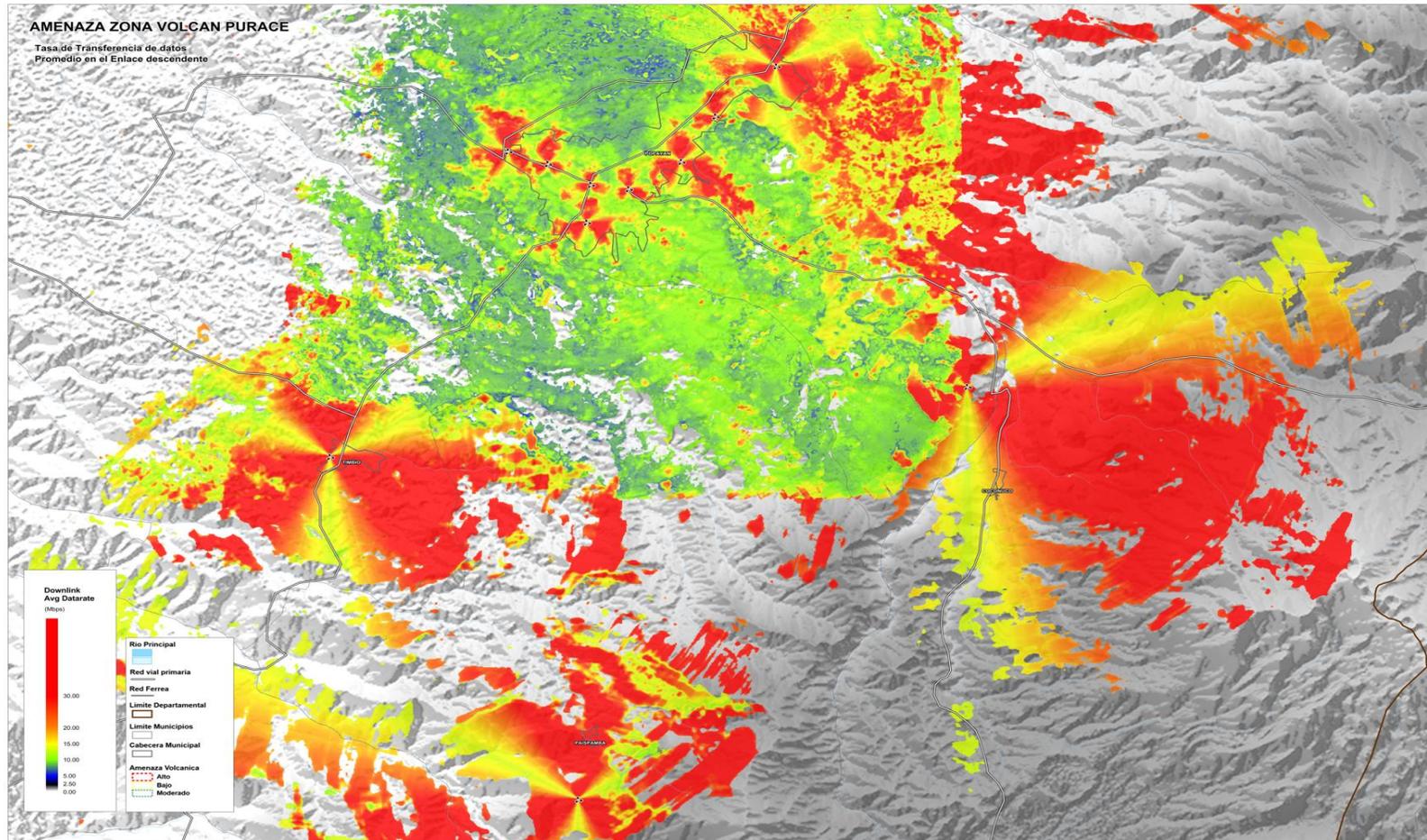


Ilustración 58 Simulación RSRQ de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica)  
Fuente: Grupo Consultor



**Ilustración 59 Throughput en Downlink de Cauca (Departamento con Mayor Riesgo por Amenaza Volcánica)**  
Fuente: Grupo Consultor

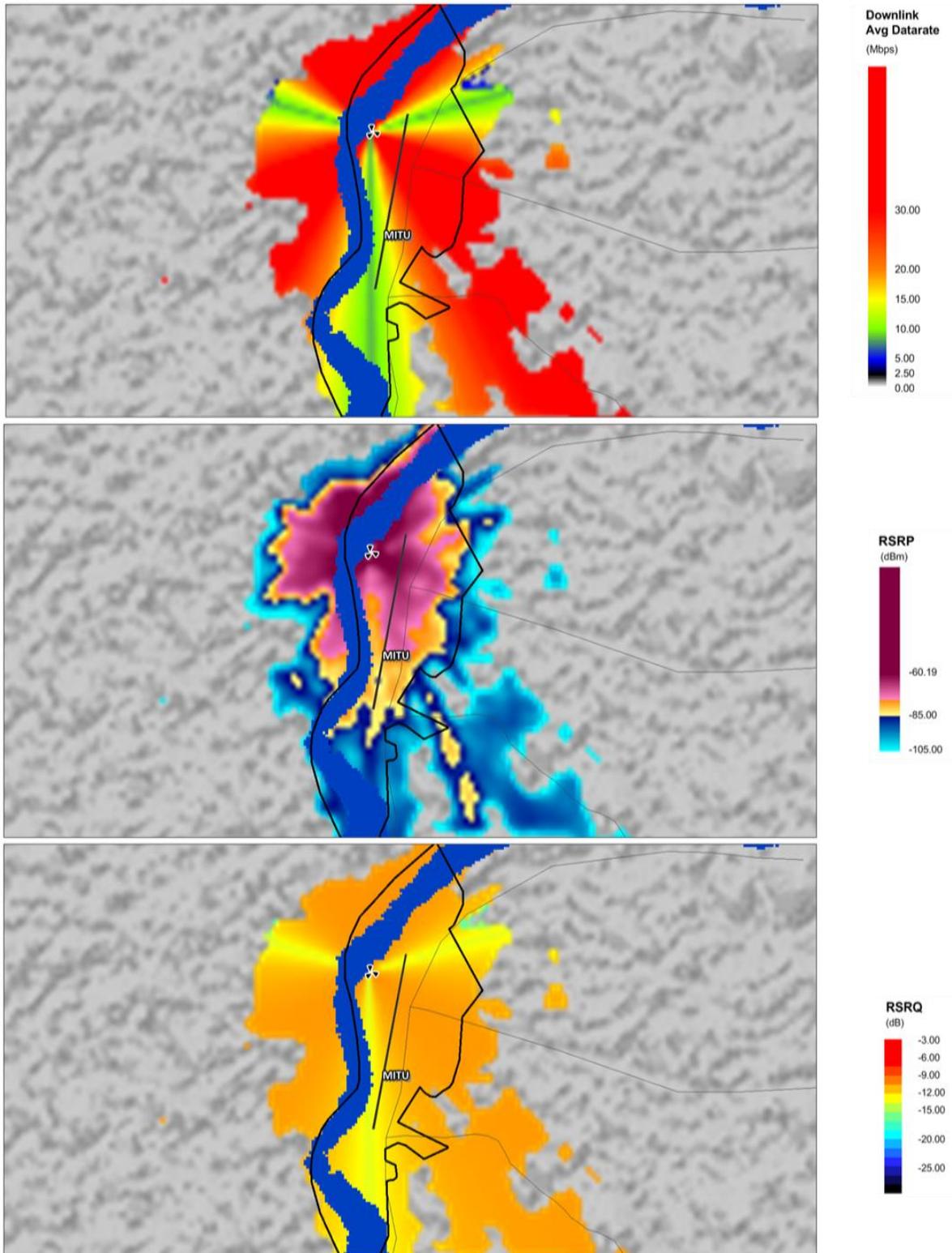


Ilustración 60 Simulaciones Mitú (Sitio con Alto Riesgo de-Inundación)  
Fuente: Grupo Consultor



#### 9.4.1.4 Red Backhaul

En principio, las redes de backhaul son redes metropolitanas con topología en anillo para garantizar el rápido re-enrutamiento del tráfico cuando hay una falla en uno de los brazos del anillo. Por supuesto que el medio utilizado para anillar los eNodeB es la fibra óptica y los switch enrutadores que se instalan en cada eNodeB, son de tecnología MPLS, los cuales poseen dos interfaces ópticas una la dirección Este y la otra en la dirección Oeste del anillo, el tamaño de la interface es de 1 Gbps o de 10 Gbps, dependiendo del número de eNodeB que se incorporen al anillo.

Para estimar la velocidad pico de la interface de radio LTE, debemos examinar como el eNodeB de LTE maximiza el canal disponible de radio, en este caso los 15 MHz de espectro disponible. Es propio de la tecnología que cuanto más cercano se encuentre un usuario de la radio base, mejor percibirá su señal y mayor será la velocidad de datos que este puede transferir.

LTE utiliza tres formatos de modulación: QPSK, 16QAM y 64QAM, este último formato requiere de una alta relación señal a ruido, por lo que está disponible a distancias muy cerca de la radio base y es donde se transfiere la mayor velocidad pico disponible. Los formatos de 16QAM y QAM permiten picos de velocidades que son el 66% y el 33% del máximo posible respectivamente. Con lo que la velocidad pico se reduce a lo largo de la mayor área de la celda, teniéndose el formato de modulación QPSK, justo en el borde de la celda.

Cuando se habla de las velocidades pico de LTE, se asumen que son consumidas por un solo usuario e incluyen los encabezados o “overhead” de las capas 1 y 2, los cuales oscilan entre el 10% y el 25% (bits adicionales para la corrección de errores, control MAC, etc.). En la práctica varios usuarios comparten los recursos de red, traduciéndose en una velocidad menor por usuario o un rendimiento menor por usuario.

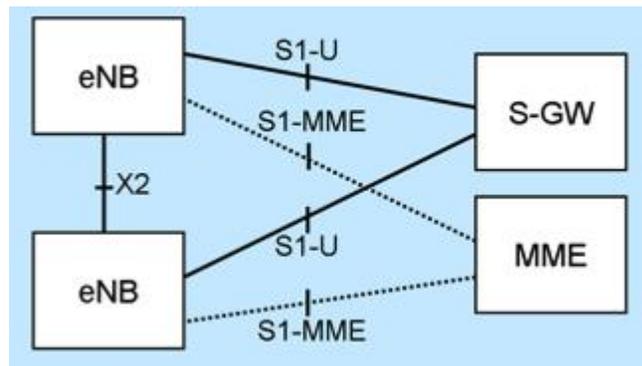
La siguiente tabla muestra las velocidades reales de un sistema LTE operando en 2x2 MIMO para diferentes anchos de banda, obsérvese que para la RNTE hemos seleccionado un ancho de banda de 15 MHz, la cual suministraría en la vecindad del centro de la celda una velocidad pico de bajada de 129 Mbps y una de subida 43.2 Mbps, para un caudal total de 172.2 Mbps.

Velocidad de(Bajada/Subida) VS Distancia del Centro de la Celda				
Ancho de Banda del Canal	Cercano	Medio	Lejos	
MHz	Mbps			
<b>5</b>	<b>34/11.2</b>	<b>22/7.4</b>	<b>11.2/3.6</b>	
<b>10</b>	<b>86/28.8</b>	<b>56/19</b>	<b>28/9.6</b>	
<b>15</b>	<b>129/43.2</b>	<b>84/28.5</b>	<b>42/14.4</b>	
<b>20</b>	<b>170/56</b>	<b>112/36</b>	<b>56/19</b>	

**Tabla 54 Velocidad Pico Estimada de un Radio LTE 2X2.**

Fuente: Aviat Networks

Para determinar los requerimientos de capacidad de la red de backhaul, debemos examinar las características reales de una celda a tener en cuenta en el diseño de la RNTE. La cual hemos supuesto que está conformada por un conjunto de celdas macro de tres sectores, cada uno de dichos conjuntos ubicados en cada localidad. La red de backhaul se conecta con el core de la red de LTE vía la interfaz S1 como lo especifica el 3GPP y que se muestra la siguiente ilustración. Esta es una interfaz lógica IP que divide la sesión del usuario en dos flujos de tráfico, el del usuario propiamente (S1U) y el tráfico de control (S1MME).



**Ilustración 61** Interfaz de la Red de Backhaul de LTE.

Fuente: 3GPP

En razón a que los terminales de la red de emergencia estarían distribuidos estadísticamente entre los sectores de la radio celda y que estos no descargan las velocidades pico al mismo tiempo, la capacidad de tráfico de backhaul se puede dividir y sobrescribir entre los sectores individuales que conforman la celda macro. Cuanto más ocupada este una celda macro, menor debe ser el factor de sobresuscripción. Para los sitios de bajo consumo el factor puede aumentarse de forma segura. La experiencia de los operadores móviles en redes 3G y Wimax han demostrado que factores de sobresuscripción (OBF de sus siglas en inglés) entre dos y cinco trabajan muy bien.

Las celdas ubicadas en los sitios urbanos densos tienen mayores necesidades de tráfico que las celdas ubicadas en las zonas suburbanas y rurales, las celdas ubicadas en zonas urbanas densas tienen un radio de cobertura menor que las ubicadas en zonas suburbanas y rurales. En estas últimas los requerimientos de tráfico por terminal, también son más bajos que sus pares en las zonas urbanas densas. La siguiente tabla provee la velocidad del backhaul en función del tipo de celda.



**Capacidad del Backhaul de la Celda VS Área de Influencia**

Ancho de Banda del Canal	Denso Urbano	Suburbano	Rural
MHz	Muy Cerca	Al Medio	Al Medio
<b>5</b>	40 (OBF 3)	26 (OBF 3)	7.9 (OBF 5)
<b>10</b>	100 (OBF 3)	66 (OBF 3)	19.7 (OBF 5)
<b>15</b>	151 (OBF 3)	99 (OBF 3)	29.6 (OBF 5)
<b>20</b>	200 (OBF 3)	130 (OBF 3)	39.5 (OBF 5)

**Tabla 55 Velocidad de Backhaul en Función del Tipo Celda**

Fuente: Grupo Consultor

A manera de ejemplo la capacidad de una celda de tres sectores en una zona suburbana es de 84 x 3 Mbps, es decir 252 Mbps, velocidad que cuando se divide por el factor OBF de 3, nos da 84 Mbps. A esta velocidad hay que dejarle un margen del 15% para asegurar que los buffers de la red de backhaul soporten el tráfico de alta prioridad sin descartar paquetes (QoS), por lo que un resultado confiable es de 99 Mbps, como lo muestra la anterior tabla.

El tráfico LTE consta de flujos individuales de paquetes IP cuyo comportamiento se puede describir por métodos estadísticos. Los buffers de cada estación base y de los equipos de la red de transporte ayudan a ajustar los periodos extremadamente aleatorios de las velocidades altas y bajas de paquetes enviados a través de la red. Los usuarios de la red también se mueven entre celdas aumentando la aleatoriedad del tráfico.

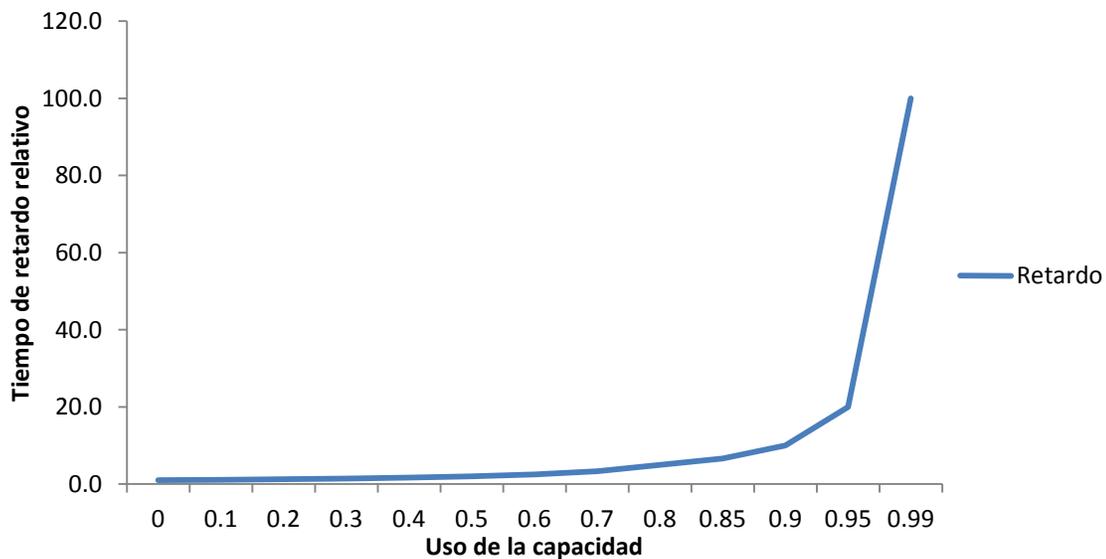
No todas las radio bases operan al máximo pico de velocidad al mismo tiempo, lo que daría una capacidad de red de backhaul menor que la suma de las velocidades pico de las radio bases del anillo. El tráfico de las estaciones bases está influenciado por las zonas que estas atienden, por ejemplo estaciones ubicadas en zonas comerciales o financieras densas tendrán picos de tráfico que coinciden con los periodos intensos de la actividad comercial, típicamente entre las 10 y 11 am y entre las 14 y 18 horas. Este mismo tráfico baja sensiblemente a partir de las 18 horas. Por el contrario, el tráfico residencial empieza a aumentar cuando la actividad comercial decae. Como un anillo de backhaul tiene tanto radio bases operando en áreas comerciales como residenciales el tráfico total del anillo no es la suma de todos los picos máximos de las radio bases. Antes hemos mencionado que una estación base típica de tres sectores tiene un OBF comprendido entre 3 y 5, cuando se combinan varias radio bases en un mismo anillo los factores de sobresuscripción oscilan entre 1.5 a 3, números que se han derivado de la experiencia de las redes de HSPA.

A manera de ejemplo, asumamos que tenemos seis celdas operando en 15 MHz en una zona densa urbana. El tráfico máximo pico de bajada de cada radio es de 129 Mbps, si asumimos celdas de tres sectores el total de tráfico es de  $129 \times 3 = 387$  Mbps, asumiendo un factor OBF de tres este tráfico es de 129 Mbps, si asumimos un 15% adicional para garantía de QoS, tenemos  $129 / 0.85$  o lo que es lo mismo 151 Mbps por celda. Si estas celdas se interconectan en un anillo

la velocidad del tráfico agregado sería de 906 Mbps, sin embargo si aplicamos un OBF del enlace de 2, la velocidad de agregación del anillo es de 453 Mbps.

Para efectos del diseño, asumiremos que los eNodeB son capaces de evacuar un tráfico pico máximo de bajada de 200 Mbps en la hora de mayor carga. (Nótese que en la subasta de los segmentos de AWS y 2.6 GHz, el MINTIC exigió el despliegue de tecnología que ofrezcan velocidades pico teóricas de al menos 100 Mbps para el enlace descendente (Downlink) y 35 Mbps en el ascendente (Uplink). Por lo que es razonable usar 200 Mbps de bajada en una tecnología más avanzada en razón a que el Release 12 del 3GPP así lo estipula. A pesar de que es importante el tráfico de subida, este siempre es menor que el tráfico de bajada por razones inherentes a la tecnología, sin embargo no hemos realizado ningún análisis sobre él porque en la red de backhaul consideraremos enlaces simétricos.

Otro criterio importante en el diseño de los anillos de backhaul es asumir que la capacidad transportada por los anillos nunca debe ser mayor al 80% de la capacidad del anillo, para evitar retardos en las colas que manejan las interfaces Giga de los anillos. Por tanto un anillo de 1 Gbps, solo se puede usar hasta 800 Mbps, y uno de 10 Gbps hasta 8 Gbps. Por ello, sobre un anillo de 1 Gbps solo se pueden incorporar a lo sumo 4 eNodeB y en uno de 10 Gbps, hasta 40 eNodeB, desde el punto de vista de capacidad. La razón de lo anterior, resulta del tiempo de retardo de un canal con capacidad C en función del porcentaje de uso de capacidad es el que se muestra a continuación:



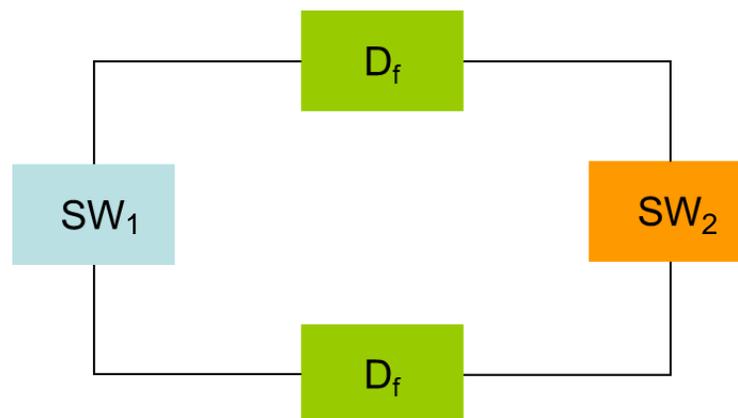
**Gráfica 6 Retardo Relativo Vs el Uso de la Capacidad.**  
Fuente: Grupo Consultor

#### 9.4.1.5 Nodos en un anillo

Es importante determinar cuántos nodos se pueden incorporar en un anillo. La primera limitación es la velocidad como se mencionó anteriormente, sin embargo cuando la velocidad no es una limitación el número de nodos que se incorporan a un anillo, está limitado por la disponibilidad del anillo, entre más nodos posea el anillo más probabilidad de falla tiene el anillo y por supuesto su disponibilidad es menor.

Por ello debemos determinar la disponibilidad de un anillo, asumiendo que los tramos de fibra tienen una disponibilidad del 99.6%, la cual asignaremos en este diseño a todos los tendidos de fibra aéreos que típicamente se dan en los municipios medianos y pequeños. Por el contrario en las grandes ciudades, los planes de ordenamiento territorial no permiten los tendidos aéreos por lo que los tendidos de fibra se realizan usando canalización, en algunos casos la misma que la de los tendidos eléctricos. Canalización que protege el tendido de fibra de rupturas accidentales por lo que se tiene una mayor disponibilidad a los enlaces del orden de 99,9%.

Otro elemento importante que incide en la disponibilidad del anillo es la disponibilidad de los switches enrutadores que se instalan para transportar la señal procedente de los eNodeB. Estos típicamente son del tipo carrier class con disponibilidad del 99.995% cuando se tratan de nodos que agregan toda la velocidad del anillo y que en este proyecto usaremos solo en las ciudades grandes con anillos de 10 Gbps; Cuando se trata de nodos colocados en los eNodeB la disponibilidad de estos ya sean de 1 o 10 Gbps es de 99,99%. La siguiente ilustración muestra la disponibilidad de un anillo donde hay dos switch y dos tramos de fibra, que asumiremos de disponibilidades iguales  $D_f$ .



**Ilustración 62 Disponibilidad de un Anillo Metropolitano de Fibra Óptica**  
Fuente Grupo Consultor

Asumiendo que los switches tienen una disponibilidad  $D_{sw1}$  y  $D_{sw2}$  y que cada tramo de fibra tiene disponibilidad  $D_f$ , la disponibilidad total del sistema está dado por:

$$D_T = (1 - (1 - D_f)^2) * (D_{sw1}) * (D_{sw2})$$



Si existe  $n$  switches, donde  $n$  es un número par, hay  $n+1$  tramos de fibra y la disponibilidad total sería:

$$D_T = \left\{ 1 - \left[ 1 - Lf^{((n/2)+1)} (D_s)^{n/2} \right] \times \left[ 1 - Lf^{(n/2)} (D_s)^{n/2} \right] \right\} \times D_{sc}$$

Si existe  $n$  switches, donde  $n$  es un número impar, hay  $n+1$  tramos de fibra y la disponibilidad total sería:

$$D_T = \left\{ 1 - \left[ 1 - Lf^{(n+3/2)} D_s^{(n+1/2)} \right] \times \left[ 1 - Lf^{(n-1/2)} D_s^{(n-1/2)} \right] \right\} \times D_{sc}$$

Donde  $Lf$  es la disponibilidad del tramo de fibra que hemos asumido (99,6% en las medianas y pequeñas localidades y 99,9% en las grandes ciudades);  $D_s$  es la disponibilidad de cada switch instalado en los eNodeB;  $D_{sc}$  es la disponibilidad del switch central que agrega la velocidad del anillo.

Si en la fórmula de Disponibilidad total reemplazamos  $n$  por cuatro y la disponibilidad de la fibra por 99.6% y la de los Sw por 99.99% obtenemos una disponibilidad total de 99.98% lo cual es una excelente disponibilidad para una red metropolitana a la cual se tiene acceso rápido para realizar acciones de mantenimiento. Esta disponibilidad indica que el sistema a lo sumo se interrumpe 8,6 minutos al mes. Cuando tenemos anillos de 10 Gbps, que podrían soportar hasta cuarenta eNodeB o 40 switches, la disponibilidad es de 99.94%, y el tiempo indisponible en un mes es de 21.8 minutos, lo cual es inaceptable cuando se tienen 40 nodos fuera de servicio. Por ello lo recomendado es no usar más de 12 nodos, lo cual arroja una disponibilidad de 99.99% o un tiempo indisponible de hasta 2.58 minutos en el mes, tiempo considerado aceptable por los operadores móviles, como se puede observar en la siguiente tabla. Estas figuras de mérito se vienen trabajando en el país con excelentes resultados. Cuando un diseño se está realizando, hay que establecer un compromiso entre disponibilidad del servicio y costo de la red, por ejemplo es posible que en una localidad haya 14 eNodeB, lo que indica que se requerirían dos anillos de 10 Gbps, uno con 12 eNodeB y el otro con 2 eNodeB. La pregunta que surge es ¿Qué pasa si se utiliza un anillo con 14 eNodeB en lugar de 12? Según la tabla, el tiempo que estaría indisponibles los 12 eNodeB pasa de 2,58 minutos a 3,30 minutos que para términos prácticos es casi equivalente, adicionalmente la probabilidad de falla de un mes de un anillo con 14 nodos es de 1,37% es 0.3% más alto que cuando se tienen 12 nodos. Los costos en este ejemplo son menores en cuanto se ahorran dos interfaces de 10 Gbps en el nodo central que tienen un costo cercano a diez mil dólares cada una.



	n							
	8	12	14	16	20	24	36	40
<b>Disponibilidad Total DT</b>	99,997%	99,994%	99,992%	99,990%	99,986%	99,98%	99,959%	99,949%
<b>Probabilidad de falla en un mes</b>	0,60%	1,07%	1,37%	1,70%	2,50%	3,45%	7,18%	8,70%
<b>Minutos indisponibles</b>	1,54	2,58	3,30	4,12	6,07	8,42	17,88	21,82

**Tabla 56 Disponibilidad Total y Minutos Indisponibles de un Anillo Metropolitano de 10 Gbps**  
Fuente: Grupo Consultor

Para efectos de diseño, asumiremos máximo cuatro nodos en un anillo de 1 Gbps y en un anillo de 10 Gbps se incorporarán máximo 12 nodos salvo casos excepcionales.

En la conformación de los anillos metropolitanos por lo general el nodo SW<sub>1</sub> o agregador metropolitano, en la siguiente ilustración se coloca en el nodo del operador de la red WAN, que agrega a los municipios, en el caso de un municipio cableado por Azteca Comunicaciones Colombia, el nodo se instalaría en el nodo de este operador. El tamaño de este switch depende del número de anillos que tiene que agregar, por ejemplo si en una ciudad hay 36 eNodeB, esto se anillaran sobre tres anillos de 10 Gbps, y cada uno de estos anillos termina sobre un único nodo es decir sobre este nodo convergen tres anillos de 10 Gbps.

En resumen las consideraciones para el diseño de la red metropolitana, son las siguientes:

- Por tratarse de una red de emergencia, se requiere que la red de backhaul que interconecta entre sí las radiobases de la localidad y a éstas con el nodo del operador que proveerá la conectividad de los municipios estén configuradas en anillos de 1 Gbps y de 10 Gbps, capacidad que depende de número de radiobases de la localidad. Como regla general, establecemos lo siguiente:
  - Si el número de eNodeB está comprendido entre 1 y 12, se utilizarán anillos de 1 Gbps soportando a lo sumo cuatro eNodeB por anillo.
  - Si el número de eNodeB es mayor de 12 usaremos anillos de 10 Gbps, soportando a lo sumo en cada anillo hasta 12 eNodeB, con algunas excepciones.
  - Si es posible se optimiza el número de eNodeB sobre los anillos haciendo una distribución lo más uniforme posible.

Ejemplo, si en una localidad resultan 16 radiobases o eNodeB, este número de nodos es mayor que doce por lo que usaremos anillos de 10 Gbps, el número de nodos cuando se divide por el máximo de nodos en un anillo de 10 Gbps, nos da el número de anillos requeridos. En este ejemplo el resultado de dividir 16 entre 12 es 1.33, número que tendremos que redondear al entero más cercano, en este caso a dos. Es decir, en esta localidad del ejemplo, se cubre con



16 eNodeB cuyo tráfico se transporta en dos anillos de 10 Gbps. El proceso de optimización arrojaría que en cada anillo se transportaría el tráfico de ocho eNodeB y cada anillo tendría una disponibilidad de 99.997%.

### Probabilidad de falla

Un indicador de la robustez de un enlace de backhaul consiste en calcular su probabilidad de falla, la cual típicamente se calcula como la probabilidad de que la red de backhaul falle en un mes. Esta probabilidad se expresa como:

$$\text{Probabilidad de falla} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$$

Donde t es el tiempo expresado en horas en el cual se quiere calcular la probabilidad de falla y el MTBF es el tiempo promedio entre fallas que se relaciona con la disponibilidad del servicio mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \%$$

Donde el MTTR es el tiempo medio de reparación, que en el caso de redes de fibra óptica asumiremos que es de cuatro horas. Por ello, una localidad con una disponibilidad de 99,997% y asumiendo un MTTR de cuatro horas, el MTBF es:

$$MTBF = \frac{4D}{1 - D}$$

Que para este ejemplo es de 118.812 horas, es decir la localidad que tiene 16 eNodeB, divididos en dos anillos de 10 Gbps cada uno, con ocho eNodeB, cada anillo tiene una disponibilidad de 99,997% y cada anillo tendrá una falla cada 118.000 horas aproximadamente. La probabilidad de que un anillo de esos falle es un mes es de:

$$\text{Probabilidad de falla} = 1 - e^{-\left(\frac{720}{118812}\right)} = 0,60\%$$

La anterior probabilidad es la probabilidad de falla de un solo anillo, como en la localidad hay dos, la probabilidad de que fallen los dos al mismo tiempo tiene que ser menor.

Estos cálculos aplicados a cada municipio se encuentran relacionados en el Anexo XVII Disponibilidad de RNTE LTE por municipio.

- **Tráfico agregado de la red de backhaul de cada localidad**

Para calcular el tráfico agregado de una localidad asumiremos que cada eNodeB de la red soporta en el segundo pico 200 Mbps y si en un anillo hay n nodos el tráfico agregado total será igual a n\*200 Mbps. Con anterioridad, habíamos expresado que el tráfico de una radiobase de tres sectores en el momento pico era igual al tráfico pico dividido entre tres, es decir el factor



OBF para radiobases de tres sectores es de tres. Cuando estas radiobases se juntan en un anillo, el tráfico total agregado resulta de sumar el tráfico anterior y dividirlo por dos.

Para ilustrar lo anterior asumiremos que en una localidad se requieren 16 eNodeB para cubrir la ciudad y satisfacer los requerimientos de tráfico. Para ello se requieren dos anillos metropolitanos de 10 Gbps, cada uno de ellos transportando el tráfico de ocho eNodeB. Cada uno de los anillos se cierra sobre un enrutador que tiene cuatro interfaces de 10 Gbps y que se cubica en el nodo del operador WAN. La conexión de este enrutador con la red WAN es  $16 * 200$  Mbps dividido tres y de nuevo dividido dos, es decir de 533,33 Mbps que resulta de dividir todas las sumas de las radiobases por el valor de 6. Sin embargo, para efectos de este diseño utilizaremos los resultados de un trabajo divulgado en la Conferencia de Redes Inalámbricas del año 2012 de la IEEE, donde los investigadores proponen una fórmula de dimensionamiento de las redes de backhaul, fórmula que incluye un factor OBF de  $5,5^{172}$ .

La siguiente tabla muestra los resultados de lo anteriormente expresados para algunas localidades en particular, en el caso de la ciudad de Cali se tienen 23 eNodeB (para efectos del ejemplo se tomó 22 eNodeB\*) sobre dos anillos de 10 Gbps transportando 11 eNodeB cada uno. La disponibilidad de cada anillo es de 99,991% y cada uno de ellos tendría una falla cada 43.681 horas aproximadamente, lo que da una probabilidad de falla al mes de 1,63%. La velocidad agregada de los anillos de Cali que se entregarían al enrutador que va a conectar Cali con Bogotá, donde se encuentra el core de la red, es de 836,36 Mbps antes de aplicarle la ganancia estadística del enrutador que no solo agrega lo de la ciudad de Cali sino todos los municipios que pertenecen al departamento del Valle del Cauca.

	eNode B	Vel. de los anillos (Gbps)	Cantidad de anillos	Cantidad de RBS de cada anillo	Disponibil. de cada anillo	MTBF de cada anillo (Horas)	Prob. de falla de cada anillo	Vel. agregada de la localidad (Mbps)
Chía	1	1	1	1	99,99%	39.996	1,78%	36,36
Armenia	3	1	1	3	99,984%	24664,09	2,88%	109,09
Popayán	8	1	2	4	99,980%	20055,84	3,53%	290,91
Cali*	23	10	2	11	99,991%	43681,56	1,63%	836,36

**Tabla 57 Ejemplo de Resultados de las características de los Anillos de la Red de Backhaul**  
Fuente Grupo Consultor

Estos cálculos aplicados a cada municipio se encuentran relacionados en el Anexo XVII Disponibilidad de RNTE LTE por municipio.

<sup>172</sup> Capacity Planning for Carrier Ethernet LTE backhaul networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2012



## Backhaul Satelital

Dentro del universo de municipios del país, hay 34 de ellos a los cuales no se prevé interconectar mediante la Red de fibra óptica del plan Vive digital adelantado por Azteca Comunicaciones Colombia, estas se muestran a continuación:

Municipio	Departamento	Radiobases de Operadores Comerciales Existentes (Tecnologías 2G/3G)	Vulnerabilidad Sísmica y/o Volcánica
Leticia	Amazonas	7	NO
Puerto Nariño	Amazonas	2	NO
Armenia	Antioquia	1	NO
Caicedo	Antioquia	1	SI
Ebejicó	Antioquia	4	NO
Heliconia	Antioquia	2	NO
Olaya	Antioquia	2	NO
Urao	Antioquia	4	SI
Vigía Del Fuerte	Antioquia	1	SI
Cravo Norte	Arauca	2	NO
Acandí	Chocó	4	SI
Alto Baudó	Chocó	3	SI
Bahía Solano	Chocó	3	SI
Bajo Baudó	Chocó	1	SI
Belén De Bajirá	Chocó	2	#N/A
Bojayá	Chocó	0	SI
Jurado	Chocó	1	SI
Litoral Del San Juan	Chocó	1	SI
Medio Atrato	Chocó	1	SI
Nuquí	Chocó	1	SI
Sipi	Chocó	1	SI
Unguía	Chocó	2	SI
San Andrés De Sotavento	Córdoba	6	NO
Inírida	Guainía	5	NO
Miraflores	Guaviare	2	NO
La Macarena	Meta	2	NO
Magui-Payan	Nariño	0	SI
Puerto Leguízamo	Putumayo	4	NO
Providencia	San Andrés	8	NO
Coveñas	Sucre	4	NO
Carurú	Vaupés	1	NO
Mitú	Vaupés	4	NO



Municipio	Departamento	Radiobases de Operadores Comerciales Existentes (Tecnologías 2G/3G)	Vulnerabilidad Sísmica y/o Volcánica
Taraira	Vaupés	1	NO
Puerto Carreño	Vichada	4	NO

**Tabla 58 Listado de Municipios Sin acceso a Fibra Óptica**

Fuente: Grupo Consultor

De la tabla anterior se puede observar que tan solo dos municipios no poseen acceso a la red celular convencional que son Bojayá que presenta vulnerabilidad a inundaciones y sismos y Magui-Payán que sólo tiene vulnerabilidad alta a eventos sísmicos. El Grupo Consultor considera que en aquellos sitios donde no se prevé un backhaul de fibra óptica no debería instalarse una red LTE, en razón a que el transporte vía satélite sería muy costoso, por lo que para hacerlo viable se bajaría la velocidad de acceso, la cual sería compatible con las de las redes 3G que existen en la mayoría de estos municipios. En su momento, cuando llegue la fibra óptica, estos municipios deberán poseer una red LTE. Para el caso específico de Bojayá y Magui-Payán se debe reforzar la red de VHF y HF que ya se encuentran contempladas dentro de los diseños de estas redes.

Por otro lado, las redes LTE se caracterizan por tener una latencia muy baja, la cual se vería impactada por los efectos del enlace satelital, el cual tiene retardos insalvables. La red de satélites O3b que está en desarrollo actualmente<sup>173</sup>, es una constelación de satélites no geoestacionarios y en continuo movimiento que requieren de un segmento terreno complejo para garantizar el seguimiento de los satélites pero que poseen un retardo mucho menor que las redes de satélites estacionarias por estar ubicados en posiciones más bajas que las de estos, puede convertirse en una posibilidad en un futuro para iluminar las zonas desatendidas del país.

- **Red de Backup Transportable**

Es posible que eventualmente se presenten emergencias en algunos sitios del país que inhabiliten completamente las redes de comunicaciones en la zona impactada, por ejemplo producto de un sismo de gran envergadura o tsunami que no deje operativas los nodos de la red móvil convencional y/o de la red LTE de emergencia en esa celda. Para enfrentar estos eventos escasos pero probables, el Grupo Consultor propone que la operación de la RNTE posea por lo menos tres “kit” completos impactada que permitan la comunicación extremo a extremo entre el sitio impactado y el resto del país. El número de kits o equipamiento transportable se ha seleccionado como tres en razón a que el área de impacto de una catástrofe típicamente está concentrada en una zona específica. El kit debe ser fácilmente

<sup>173</sup> <http://www.o3bnetworks.com/>

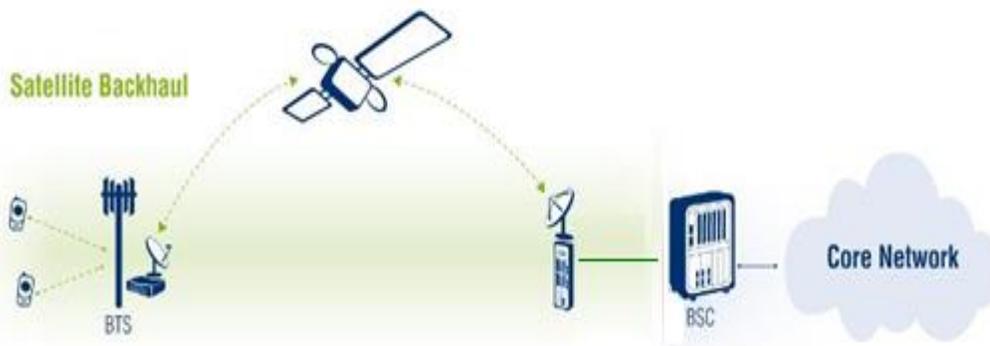
transportable, de emplazamiento fácil y operar de manera autónoma, sin requerir de energía comercial y de condiciones especiales de operación.

Se propone tener un sistema que una vez instalado en el sitio del impacto habilite una celda que permita el acceso de terminales inteligentes de voz y datos. Con un enlace de backhaul vía satélite que lo conecte con el operador celular de la red (Banda de 850 MHz). El enlace de backhaul se debe habilitar con una antena satelital de 1,2 mts operando en la banda Ku y comunicándose con un telepuerto en Bogotá. Dicho telepuerto debe tener una conexión con el operador celular, que dispersará el tráfico a las diferentes redes.

Adicionalmente al sistema de comunicaciones debe haber un grupo electrógeno también transportable que permitirá la alimentación del sistema.

Para tales efectos, el Grupo Consultor propone que el operador de la red de emergencia establezca un contrato con un operador de servicios satelitales (Axesat, BT, L3, entre otros) que permita activar el servicio satelital ocasional requerido. Típicamente este tipo de contrato, tiene un pago mensual pequeño por la disponibilidad del servicio y un pago por el tiempo que el servicio dure activo (una semana, dos semanas, un mes, etc.).

La velocidad de la red de backhaul debe ser de al menos 2 Mbps, capacidad suficiente para permitir comunicaciones de voz y datos de los socorristas y las autoridades involucradas en la atención del incidente. Sin embargo, actualmente las tecnologías de acceso al satélite, en especial las basadas en la arquitectura DVB-S2 permiten asignar portadoras SCPC hasta de 7 Mbps en el sentido inbound (comunicación desde la remota hasta la estación central). En el sentido outbound (desde la estación central hacia la remota), la arquitectura permite asignar unos slot de tiempo fijos con dirección a la estación remota, permitiendo un enlace bidireccional de 7 Mbps. Esta arquitectura también permite tener enlaces más económicos que los tradicionales por la utilización eficiente del recurso satelital y posibilita a la redes de emergencia usar velocidades más altas.



**Ilustración 63 Backup Transportable**  
Fuente: Gilat

El kit propuesto debe constar de:

- Una Metro celda Outdoor de bajo consumo de potencia con una alta capacidad, habilitada para funcionar con HSPA, debe usar en lo posible diversidad de espacio en la recepción para mejorar la señal recibida. Debe poseer un formato de modulación de hasta 64 QAM para garantizar un alto caudal entre 15 y 20 Mbps en la bajada y entre 2 y 5 Mbps en la subida. En 3G, se usa una portadora de 5 MHz que cuando se modula con un formato de 16 QAM se tiene una velocidad teórica pico de bajada de 15 Mbps y cuando se utiliza un formato de modulación de 64 QAM se alcanzan velocidades pico teóricas de 20 Mbps. Estas velocidades se degradan a medida que el usuario se aleja de la celda por lo que no tiene sentido pedir celdas con velocidades más bajas. Con capacidad mínima para atender 16 usuarios simultáneos operando en la banda de 850 MHz completamente equipada con sus sistemas de antenas, transmisores, receptores y sistemas de banda base.



**Ilustración 64 Celda Metro Outdoor**  
Fuente: Alcatel Lucent



**Ilustración 65 Celda Metro Outdoor**  
Fuente: Telstra

- Una micro celda 2G con dos sectores y con capacidad de hasta dos E1 para habilitar las llamadas de voz operando también en la banda de 850 MHz. Los E1 se cargan con el número de usuarios que se requieran, en el caso que sean 16 usuarios simultáneos, el E1 se carga con 16 x 13 Kbps, es decir con 208 Kbps.



**Ilustración 66 Micro celda 2G**  
**Fuente: Alcatel Lucent**

- Una torre riendada por tramos para la instalación de las radio bases.
- El sistema electrógeno de 245 W (planta eléctrica, cargador rectificador con banco de baterías) con autonomía de por lo menos cuatro horas.
- Antena VSAT en la banda Ku de 1,2 mts de diámetro con su respectiva ODU e IDU. La IDU debe garantizar un formato de modulación mínimo de 8PSK o 16APSK.
- Un enrutador que combina el tráfico de voz procedente de las interfaces G.703 de la micro celda 2G y el tráfico de datos procedente de la interface Ethernet de la celda Metro.

La recomendación es tener un contrato con un operador de servicios satelitales que disponga del equipamiento satelital para ser instalado en los sitios y cotice el uso ocasional del servicio. Los demás equipos deben adquirirse y tenerse en bodega por parte de la UNGRD. El sistema electrógeno preferiblemente se debe arrendar, en razón a que su almacenamiento sin uso se deteriora rápidamente y posiblemente no responda cuando se requiera. Se recomienda utilizar los servicios de un operador satelital que utilice tecnologías de acceso al satélite modernas como DVB-S2 con técnicas de Codificación y Modulación Adaptativa (ACM por sus siglas en inglés) que utiliza los impactos para atenuación por lluvia. Así mismo, el sistema debe ser del tipo TDM/TDMA.

Se recomienda que las radiobases operen en alguno de los PRST Claro o Movistar en las bandas de 850 MHz, en razón a que la banda que utiliza Tigo tiene un radio de alcance de la celda mucho menor que la de 850 MHz.

#### **9.4.2 Nivel de Transporte**

Antes de que el Gobierno nacional lanzara el Proyecto Nacional de Fibra Óptica, en el país había tan solo 317 municipios que tenían conexión al Backbone nacional de fibra óptica del total de 1.123, de los cuales 20 según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística son áreas no municipalizadas. Después que el Estado colombiano selecciono al operador Azteca Comunicaciones Colombia para que construya y opere la red del proyecto nacional de fibra



óptica, en el país quedarán 1.069 municipios conectados al Backbone de fibra óptica, faltando tan solo 34 municipios que no se cablearán y dentro de los cuales hay cuatro capitales de departamento, a saber: Leticia, Mitú, Inírida y Puerto Carreño.

De lo anterior podemos deducir que la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia, operando bajo el estándar LTE podrá operar por lo menos con 1.069 municipios conectados con fibra óptica al Backbone de fibra óptica nacional. Tecnología muy apropiada para la red LTE, por el gran ancho de banda que ella puede soportar, al tiempo que es un medio seguro y de baja latencia que se puede multiplexar usando técnicas de DWDM y proporcionar así, grandes anchos de banda del orden de los Terabits por segundo.

Del proyecto Nacional de fibra Óptica, entendemos también que el operador Azteca Comunicaciones Colombia, construirá nodos en cada una de las cabeceras municipales que se comprometió cablear y en cada uno de ellos está obligado por el contrato con el MINTIC a suministrar los servicios de co-ubicación de equipos de comunicaciones. Así que el operador de LTE, podría hospedar equipamiento en estos nodos, interconectando a ellos con una red metropolitana o de backhaul cuya topología dependerá del número de radio bases que la localidad posea y que describiremos más adelante.

De nuestro entendimiento del proyecto de fibra óptica nacional, el operador Azteca Comunicaciones Colombia tenderá la red de fibra de cada departamento haciendo uso del tendido de la red de transmisión de energía de las electrificadoras de cada departamento e interconectará la red de los municipios al Backbone de fibra óptica nacional, la cual posee nodos en cada una de las capitales de departamento con excepción de las ya relacionadas (Leticia, Mitú, Inírida y Puerto Carreño). Por lo que resumiendo, en cada una de las cabeceras municipales con excepción de 34 se dispone de un nodo ya sea del operador Azteca Comunicaciones Colombia o de otro operador llámese éste Claro, Movistar, etc. Y que es posible establecer un enlace entre cada cabecera municipal de cada departamento con la capital del departamento.

En conversaciones extraoficiales con Azteca Comunicaciones Colombia, este operador pretende anillar por lo menos el 60% de los 753 municipios; es decir 452 municipios, esto quiere decir que estos alcanzarán el Backbone de la red por dos rutas diferentes, aumentando con ello la disponibilidad del enlace y por supuesto del servicio. Esta disponibilidad contractualmente se ha fijado por el MINTIC y depende de la distancia que separa el municipio de la capital de departamento, como se muestra a continuación:



GRUPO	DISTANCIA (KM)	SLAs
A	0 - 100	99%
B	101 - 150	98%
C	151 - 200	97%
D	>200	96%

**Tabla 59 Disponibilidad Contractual de la Red de Fibra Óptica de Azteca Comunicaciones Colombia**  
Fuente: MinTIC<sup>174</sup>

De la tabla anterior podemos deducir que en el peor de los casos la disponibilidad es de 96%; es decir que en caso de una falla en un municipio tipo D, este estaría por lo menos el 4% del tiempo fuera de servicio lo que es lo mismo que en un mes de 720 horas, estaría por fuera 28.8 horas algo así como un día. Por el contrario un municipio tipo A solo podría estar como máximo de 7.2 horas fuera de servicios en un mes. Estos compromisos de disponibilidad son establecidos entre el operador Azteca Comunicaciones Colombia y el MinTIC. Sin embargo cada operador de telecomunicaciones en su contrato con Azteca Comunicaciones Colombia podrá establecer criterios de disponibilidad mayor; como por ejemplo proponer una mínima disponibilidad del 98%.

En conversaciones con Azteca Comunicaciones Colombia, se confirma que Azteca Comunicaciones pretende anillar el 60% de los municipios, con lo cual, de acuerdo a los cálculos del Grupo Consultor, la disponibilidad de los enlaces mejorará así: los municipios cercanos tipo A tendrían una disponibilidad del 99.99% y los más alejados del tipo D a 99.84%. Ambas son figuras que son muy buenas cuando se trata de un Backbone de red, ya que en el primer caso el tiempo máximo indisponible en un mes sería de tan solo 4.3 minutos y el peor caso sería de 1 hora y 10 minutos aproximadamente.

El Grupo Consultor estimó la distancia de 1.071 cabeceras municipales hacia la capital de departamento al que pertenece, en razón a que las otras 32 localidades son las capitales del departamento y en estas no se requiere estimar la distancia del tendido de fibra. La distancia hallada se multiplicó por un factor de 1.2 para estimar la distancia óptica del tendido de fibra en kilómetros. De este análisis se dedujo lo siguiente:

Distancia en Kms	Tipo	Cantidad de Municipios	Porcentaje
De 0 a 100	A	742	69,3%
De 101 a 150	B	173	16,1%

<sup>174</sup>Anexo Técnico Proyecto Nacional de Fibra Óptica. MinTC. 2011. Disponible en: [www.mintic.gov.co/imagenes/MS\\_FIBRA\\_OPTICA/documentos/anexo4anexotecnicof.pdf](http://www.mintic.gov.co/imagenes/MS_FIBRA_OPTICA/documentos/anexo4anexotecnicof.pdf)

Distancia en Kms	Tipo	Cantidad de Municipios	Porcentaje
<b>De 151 a 200</b>	C	76	7,1%
<b>Más de 200</b>	D	80	7,5%

**Tabla 60 Distancia de las Cabeceras Municipales a la capital de departamento a la que pertenecen**  
Fuente: Grupo Consultor

El 69,3% de los municipios del país se encuentran a una distancia dentro de 100 Kilómetros de la capital; es decir estos tendrían una disponibilidad del 99%. El 16,1% de los municipios tendrá una disponibilidad del 98%. El 7,1% tendría una disponibilidad del 97% y el 7,5% restante tendrá una disponibilidad de 96%.

No dudamos que en la medida que Azteca Comunicaciones Colombia adquiera como clientes a los operadores y en particular a los operadores del servicio móvil, su red irá ganando en disponibilidad, en razón a que los operadores móviles tienen que responder por la calidad de los servicios ante los organismos regulatorios so pena de incurrir en multas que cada día son más onerosas. Por lo que éstos exigirían mayores disponibilidades en la red de Backbone.

A continuación, se muestra el Backbone de la red de fibra Nacional, en particular la del operador Internexa, donde se muestran los nodos de la red en las capitales de departamento, a los cuales se interconectará el operador Azteca Comunicaciones Colombia.



**Ilustración 67 Backbone Nacional de Fibra Óptica**  
Fuente: Internexa<sup>175</sup>

<sup>175</sup> [http://www.internexa.com.co/SiteCollectionDocuments/ITX\\_CEI\\_2012\\_Col.pdf](http://www.internexa.com.co/SiteCollectionDocuments/ITX_CEI_2012_Col.pdf)

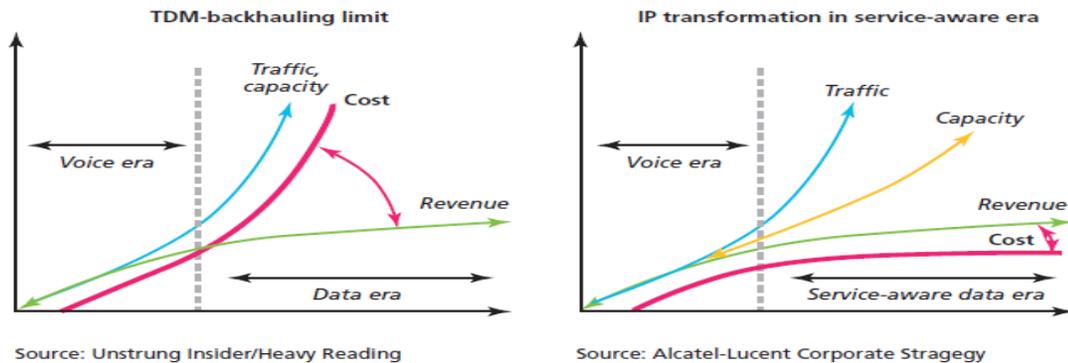


Tradicionalmente los PRST venían usando para sus redes de Backbone, la tecnología Synchronous Digital Hierarchy – SDH, la cual es una tecnología orientada a realizar un transporte eficiente y de alta calidad y disponibilidad de los servicios de Voz, que era el servicio dominante en la mayoría de las redes móviles en el mundo. A pesar de que la voz aún es un servicio importante para los operadores móviles, los datos cada vez crecen más rápido y consumen más recursos de red. Según A.T. Kearney, Cisco 2013 Mobile VNI Study, GSMA Intelligence, en el año 2012 las redes móviles del mundo transportaron 0.9 Exabytes por mes (1 Exabyte es 1.000 millones de Giga bytes) y se proyecta que para el 2017 este tráfico será de 11.2 Exabyte por mes, creciendo a un Tasa de Crecimiento Anual Compuesto (CAGR de sus siglas en inglés) del 66% año. En contraste la voz entre el 2008 y el 2012 tuvo un CAGR del 13.7%. Más aun con la tecnología LTE, la voz móvil tendrá un tratamiento como si fuera datos con unos atributos de calidad ajustados a un servicio muy sensible a los retardos y al jitter de las redes de transporte.

Por ello los proveedores de servicios móviles están reconociendo la necesidad de evolucionar sus redes de transporte a todo-IP para comercializar nuevos servicios y mantener la competitividad. El mayor inconveniente del transporte TDM es que los costos de transporte son linealmente proporcionales al ancho de banda transportado, por lo que el mayor ancho de banda requerido para los nuevos servicios deteriora el caso de negocio en general. Por lo tanto, los proveedores de servicios móviles están investigando nuevos modelos de negocio, incluyendo nuevos paradigmas de redes de transporte, con el objetivo de reducir el costo total del transporte por ancho de banda transferido, así como disociar el costo de prestación de servicios a partir de los costos de operación en general, incluyendo el transporte.

Aunque es tremendamente importante, el costo no es la única preocupación que tienen los proveedores de servicios móviles acerca de la red de transporte. La red de transporte también debe desacoplarse de las tecnologías móviles que se transporten, y permitir la mezcla rentable de diferentes tecnologías para apoyar a cualquier ritmo la evolución a 4G y todo-IP.

La siguiente gráfica que se muestra a continuación permite comparar los costos del Backbone cuando se usa una arquitectura basada en TDM o SDH y una toda IP.



**Gráfica 7 Curvas de Trafico, Capacidad, Costo e ingresos de los Operadores Móviles**  
Fuente: FT/Orange<sup>176</sup>

La tecnología seleccionada recientemente por la mayoría de los operadores móviles del mundo es la IP/MPLS, la cual es perfectamente adecuada para el diseño de redes de backhaul y Backbone en las redes LTE. MPLS maneja grandes anchos de banda, actualmente se comercializan enrutadores con interfaces de 40Gbps y ya está iniciándose el mercado con interfaces de 100 Gbps. La tecnología IP/MPLS garantiza calidad de servicio QoS extremo a extremo a todos los servicios y en especial a los multimedia que requieren de dicha calidad como un atributo obligatorio. MPLS es multi-generacional al permitir la coexistencia y el transporte eficiente de varias tecnologías adicionales como 2G y 3G facilitándole al operador móvil la migración suave hacia las tecnologías más avanzadas. MPLS es una tecnología madura a prueba de futuro.

#### 9.4.2.1 Requisitos de las Redes de Backhaul y Backbone

Es importante que la red de backhaul y de Backbone sean lo suficientemente robustas y flexibles para apoyar las tendencias evolutivas. Estas deben enfrentar una serie de desafíos para lo cual debe tener los siguientes requisitos:

**Escalabilidad:** La Red de backhaul y Backbone debe soportar el creciente número de celdas cada vez con capacidades mayores de tráfico. Se requieren de soluciones IP-MPLS y de transporte óptico de paquetes de alto desempeño, altamente escalables y que tengan arquitecturas y topologías de red altamente confiables. El término escalable significa que pueda ir creciendo a medida que el tráfico de los terminales de acceso crezca, que exista equipamiento para nodos pequeños, nodos medianos, grandes y así sucesivamente. Con interfaces que van desde los 10 Base T a los centenares de Giga bits por segundo.

<sup>176</sup>FT/Orange at mobile backhaul strategies conference, 9 Abril 2008.



**Flexibilidad:** El despliegue de la red metro de backhaul en zonas urbanas y zonas rurales conlleva a la necesidad de aprovechar los medios de acceso existentes, más rentables que puedan garantizar la calidad de servicio (QoS); es decir los nodos deben operar eficientemente con accesos de fibra, cable con DSL, PON, microondas, satélite, etc. Así mismo deben ser adecuados para macro celdas, pico celdas, celdas pequeñas, WiFi, y operar en ambientes controlados y en intemperie. Soportar interfaces 2G, 3G y 4G.

**Simplicidad:** Las operaciones simplificadas son necesarias para minimizar el costo total de propiedad TCO y permitir el despliegue masivo de la red sin incremento de los costos. Se requiere de un enfoque estandarizado para el aprovisionamiento del backhaul de una estación base y de poner el servicio en operación, independientemente del tipo de acceso y de la ubicación. Los requerimientos de las visitas deben ser minimizados. La visibilidad y el control extremo a extremo de los elementos en cada celda es necesario para que el sistema de administración, operación y mantenimiento - OAM realice operaciones de forma remota. Es fundamental que la red constantemente indique los parámetros claves de desempeño (KPI) para verificar si están fuera de límites y no se está cumpliendo con los acuerdos de niveles de servicio, SLA.

Anteriormente, en el numeral 9.3.1.5 de este documento (en la sección Tráfico agregado de la red de backhaul de cada localidad) habíamos mencionado que cada capital de departamento agregaba el tráfico de la RNTE de todos los municipios del departamento y su propio tráfico que fue calculado en este ítem y este tráfico es enrutado hacia la ciudad de Bogotá donde se encuentra el core de la red LTE de emergencia haciendo uso de la Red Nacional de Fibra Óptica. En este caso particular hemos seleccionado para el diseño base la red del operador de telecomunicaciones Internexa, quien es un operador del Estado y adicionalmente es un carrier de carrier. Se podrían tener otras opciones en el mercado pero privadas y a través incluso de Internexa. En el caso específico de Azteca Comunicaciones su obligación ante el MinTIC es la de entregar el tráfico donde exista un nodo de la Red Nacional de Fibra Óptica. Dicha red está desplegada sobre siete anillos de fibra óptica que cubre las principales ciudades del país.

El Anillo Centro incorpora a las ciudades de Bogotá, Ibagué, Neiva, Popayán, Cali, Medellín y unos ramales en las ciudades Quibdó, Pereira, Manizales y Armenia, con una capacidad de 1640 Gbps en tecnología DWDM. En el caso de la RNTE, el tráfico agregado de la ciudad de Bogotá como de los municipios del departamento de Cundinamarca no se van a incorporar en dicho anillo, estamos suponiendo que estará ubicado en la ciudad de Bogotá por lo tanto solo se incorporará el tráfico agregado de la RNTE de las siguientes capitales como se muestra a continuación:



<b>Anillo Centro</b>	
<b>Capital</b>	<b>Velocidad Agregada (Mbps)</b>
Ibagué	1.727,27
Neiva	1.393,94
Popayán	1.454,55
Santiago de Cali	2.030,30
Medellín	4.515,15
Pereira	636,36
Armenia	424,24
Manizales	1.151,52
Quibdó	575,76
<b>Velocidad Total del Anillo Centro</b>	<b>13.909,09</b>

**Tabla 61 Velocidad Agregada Total Anillo Centro**

Fuente: Grupo Consultor

El Anillo Norte incorpora las ciudades de la Costa Atlántica: Cartagena, Barranquilla y las ciudades de Cúcuta y Bucaramanga y un ramal que incorpora a Arauca. Este anillo posee dos plataformas DWDM una de 40 lambdas de 2,5 Gbps y otra de 80 lambdas de 10 Gbps. El Anillo Noreste incorpora las ciudades de Valledupar, Riohacha, Santa Marta con una red de 7 lambdas de 10 Gbps. El Anillo Noroeste que incorpora las localidades de Montería y Sincelejo mediante un anillo DWDM equipado con 8 lambdas de 10 Gbps. A continuación se muestra el tráfico agregado de la RNTE en estos anillos:

<b>Anillo Norte</b>	
<b>Capital</b>	<b>Velocidad Agregada (Mbps)</b>
Cartagena de Indias	1.696,97
Barranquilla	1.060,61
San José de Cúcuta	1.363,64
Bucaramanga	3.000,00
Arauca	181,82
San Andrés Islas y Providencia	218,18
<b>Velocidad Total del Anillo Norte</b>	<b>7.521,21</b>
<b>Anillo Noreste</b>	
<b>Capital</b>	<b>Velocidad Agregada (Mbps)</b>
Valledupar	939,39
Riohacha	575,76
Santa Marta	1.303,03
<b>Velocidad Total del Anillo Noreste</b>	<b>2.818,18</b>
<b>Anillo Noroeste</b>	
<b>Capital</b>	<b>Velocidad Agregada (Mbps)</b>
Montería	1.030,30
Sincelejo	909,09
<b>Velocidad Total del Anillo Noroeste</b>	<b>1.939,39</b>

**Tabla 62 Velocidad Agregada Total Anillos Norte**

Fuente: Grupo Consultor



El Anillo Este incorpora las ciudades Villavicencio, San José del Guaviare, Yopal y Tunja mediante un anillo DWDM de 25 lambdas de 10 Gbps. El tráfico agregado de la RNTE para este anillo es:

Anillo Este	
Capital	Velocidad Agregada (Mbps)
Villavicencio	1.060,61
Tunja	3.909,09
Yopal	696,97
San José del Guaviare	90,91
<b>Velocidad Total del Anillo Este</b>	<b>5.757,58</b>

**Tabla 63 Velocidad Agregada Total Anillo Este**  
Fuente: Grupo Consultor

El Anillo Sur incorpora la ciudad de Pasto y Mocoa, a través de un anillo DWDM con 5 lambdas de 10 Gbps. Para la red de emergencia el tráfico agregado de este anillo es:

Anillo Sur	
Capital	Velocidad Agregada (Mbps)
San Juan de Pasto	2.303,03
Mocoa	363,64
<b>Velocidad Total del Anillo Sur</b>	<b>2.666,67</b>

**Tabla 64 Velocidad Agregada Total Anillo Sur**  
Fuente: Grupo Consultor

Toda la velocidad agregada de estos anillos que corresponde a cerca de 35 Gbps se enrutan hacia la ciudad de Bogotá donde terminan en el core LTE. En general, estos 35 Gbps están distribuidos en varios tipos de tráfico: uno que se dirige siempre a Bogotá donde están las granjas de servidores con sus aplicativos, los cuales buscan la información en bases de datos centralizadas en Bogotá, por ejemplo la identificación de un ciudadano mediante la huella se enruta hacia el core central y de éste a la entidad del Estado correspondiente que almacena dichos datos. Otro tipo de tráfico es el de las comunicaciones de voz que se cursan entre los socorristas y las entidades en este caso siguiendo la estructura del SNGRD, que es un tráfico menor comparado con el de los aplicativos y se quedará localmente dependiendo el nivel de atención que se maneje en la atención del incidente. El otro tráfico, es el de Internet que es recomendable centralizarlo inicialmente en Bogotá, pero con el tiempo el operador puede distribuirlo en algunas ciudades de importancia.

El diseño de la RNE LTE contempla el uso de la voz sobre ella cuando esta esté madura por lo que los servicios de voz inicialmente se prestarán mediante las redes 2G y 3G actuales de los PRST establecidos. Cuando la RNTE LTE alcance su madurez en voz, se requerirá de una plataforma IMS que gestionará y controlará las sesiones de llamada. Igualmente, esta



plataforma controlará los dispositivos de mediación con las otras redes de telecomunicaciones como la PSTN y las otras redes móviles, garantizando la conectividad entre la RNTE y las redes PSTN y las móviles y también tendrá a facilidad de PoC.

- **Red de Backbone para San Andrés y Providencia**

El Gobierno nacional ha dado a San Andrés y Providencia una prioridad alta para la implementación de telecomunicaciones en dichos sitios, en razón a los últimos acontecimientos ocurridos por el fallo de la Haya. En razón a ello involucramos a Providencia a la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia, mediante un enlace de microondas entre esta localidad y San Andrés Islas, sitio desde el cual el tráfico procedente de las dos islas se trae a la ciudad de Bogotá haciendo uso del cable submarino entre San Andrés Islas y Colombia (Tolú) y luego será transportado por el anillo Norte.

En cada una de estas localidades hay un anillo de fibra óptica que transporta el tráfico de los tres eNodeB. El tráfico concentrado de Providencia se entrega a un enlace de microondas que termina en el sitio de concentración de tráfico en el sitio de San Andrés Islas. Desde este punto se establecerá un enlace por fibra óptica hacia la cabeza del cable submarino. A continuación se detallan las memorias de cálculo del enlace de microondas entre San Andrés Islas y Providencia.

### **Enlace microondas (MW) San Andrés – Providencia**

Los resultados del diseño del enlace de MW entre las islas de San Andrés y Providencia se presentan a continuación. Esta solución es necesaria debido que el cable sub-marino llega únicamente hasta San Andrés. Para garantizar una alta disponibilidad y debido a que el vano es plano y casi en su totalidad sobre el agua, se propone los siguientes parámetros de entrada:

- Banda de frecuencia: 6GHz baja.
- Configuración redundante: 1+1.
- Diversidad de espacio.
- Confiabilidad total anual de 99-999%.

Las asunciones y criterios que fueron considerados para el diseño del enlace son:

- Canalización de 28MHz.
- Capacidad: 100 Mbps, teniendo en cuenta que en Providencia se requieren tres eNodeB que tienen una velocidad agregada de 109 Mbps cuando se den las condiciones de utilización total.
- Probabilidad  $dN/dh < -100 = 20\%$ , de acuerdo al ITU.R Rec. P.453-9.
- Clasificación del vano: de acuerdo al ITU.R Rec.P.530-7/8.



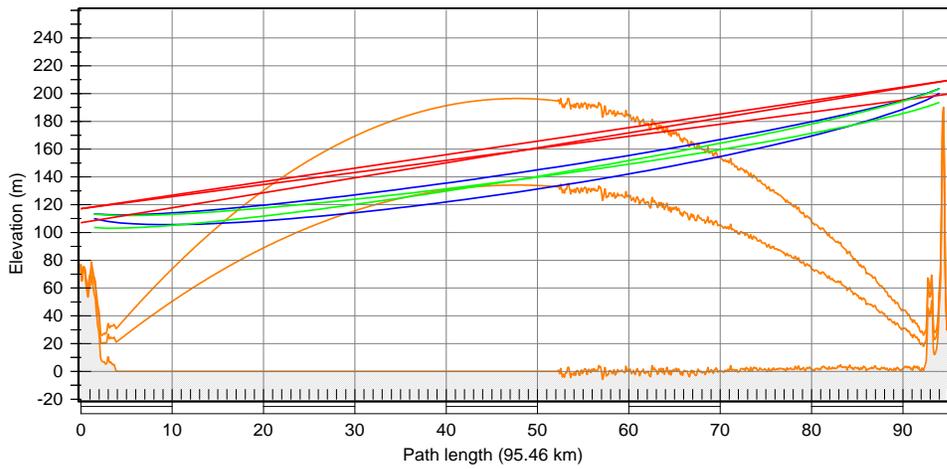
- Rata de lluvia: R0.01=95 mm/hr (región P) de acuerdo al ITU.R F.837.
- Cortes por lluvia: calculados de acuerdo al ITU.R F.838 and P.530-7/8.
- Temperatura anual promedio, de acuerdo al ITU-R P.1510: 30°C.
- Perfil de la ruta: generado usando bases de datos de elevación SRTM 3 y siguiendo los siguientes criterios:
  - k=1.33
  - 100% F1 libre, para el principal
  - 60% F1 libre, para la diversidad

El resultado del diseño se observa en la siguiente tabla:

	San Andrés	Providencia
Latitude	12 33 45.71 N	13 21 42.37 N
Longitude	081 43 03.00 W	081 23 07.32 W
True azimuth (°)	22.14	202.22
Vertical angle (°)	-0.27	-0.38
Elevation (m)	76.98	169.94
Tower height (m)	50.00	50.00
Antenna model	DAX10-59-PR (TR)	DAX10-59-PR (TR)
Antenna gain (dBi)	43.20	43.20
Antenna height (m)	40.00	40.00
Transmission line model	WR 137_1m	WR 137_1m
Transmission line length (m)	1.00	1.00
Transmission loss (dB)	0.30	0.30
Reception loss (dB)	0.30	0.30
Antenna model	DAX8-59-PR (DR)	DAX8-59-PR (DR)
Antenna gain (dBi)	41.30	41.30
Antenna height (m)	30.00	30.00
Transmission line model	WR 137_1m	WR 137_1m
Transmission line length (m)	1.00	1.00
Reception loss (dB)	0.30	0.30
Transmission power (dBm)	30.00	30.00
Main receive signal (dBm)	-35.44	-35.44
Diversity receive signal (dBm)	-35.44	-35.44
Thermal fade margin (dB)	43.06	43.06
Effective fade margin (dB)	42.46	42.46

	San Andrés	Providencia
SD improvement factor	158.96	158.96
Worst month SES (%)	0.00137	0.00137
Worst month multipath availability (%)	99.99986	99.99986
Annual rain unavailability (min)	0.00	0.00

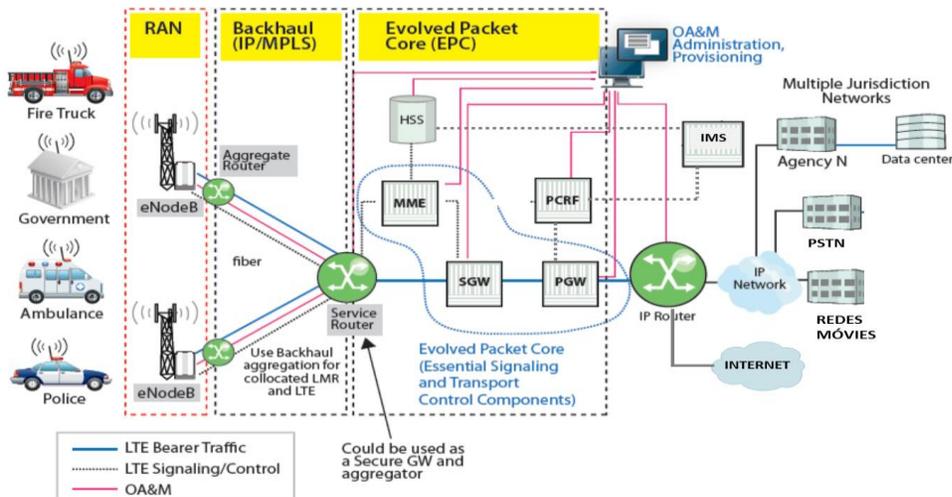
**Tabla 65 Resultados de Diseño del Enlace Microondas entre San Andrés Islas y Providencia**  
Fuente: Grupo Consultor



**Gráfica 8 Zonas de Fresnel entre la Trayectoria de las Dos Antenas**  
Fuente: Grupo Consultor

### 9.4.3 Nivel de Core y Gestión de la red

La siguiente ilustración muestra la arquitectura de la red de telecomunicaciones de emergencia nacional:



**Ilustración 68 Arquitectura de la RNTE**  
Fuente: Alcatel Lucent



**Evolution Packet Core EPC** es el core de la red LTE y es totalmente IP. Es el responsable del control total de los terminales de la red y de establecer las comunicaciones que estos requieren. EPC unifica la voz y los datos en único subdominio, su labor es crucial en el aprovisionamiento de los servicios extremo a extremo a través de la red LTE y facilita la introducción de nuevos servicios y aplicaciones.

El core suministra alta capacidad, todo IP, baja latencia, gran ancho de banda, servicios en tiempo real y multimedia. El EPC incluye los siguientes elementos:

- **MME:** Maneja el plano de control (información de control y señalización). Su función es administrar la movilidad inalámbrica; Ofrece escalamiento pareado con el aumento de la señalización de tráfico y con el crecimiento de las celdas macro y metro. Su arquitectura está basada en un estándar de la industria llamado ATCA (Advanced Telecommunication Computing Architecture). Típicamente es multiprocesador, altamente confiable al poseer componentes totalmente redundantes con detección automática de la falla y procedimientos automáticos de recuperación garantizando una disponibilidad de 99,999%. Soporta los estándares 3GPP Releases 8, 9 y 10, IPv4, IPv6, servicios basados en ubicación y entrega mensajes de alerta y emergencia.
  - El equipo inicialmente tendrá una capacidad para atender hasta un millón de usuarios y escalable hasta 20 millones.
  - Inicialmente atenderá 2.000 eNodeB y podrá escalar hasta 64.000 eNodeB.
  - Inicialmente podrá establecer hasta 2 millones de LTE IP Sessions y podrá crecer hasta soportar 40 millones.
  - Inicialmente puede soportar un millón de portadoras LTE y escalar hasta 20 millones.
  - El throughput LTE es de hasta 20 Gbps.
  - Inicialmente el consumo de potencia es de máximo 400 Watts y opera con -48VDC.
  - Inicialmente con 4 Interfaces de 10 Gbps soportando Link Aggregation (LAG) para interconexión con el Service Router; Interface S6a con el HSS; Interface S11 con el S-GW; Interfaces para conexión con la red de administración.
- **SGW:** Maneja el plano de usuario (datos del usuario). Su función es el reenvío y enrutamiento de paquetes. Cuenta con una arquitectura que garantiza altísimos niveles de desempeño, confiabilidad y escalabilidad para el ecosistema de banda ancha inalámbrica LTE. El equipamiento posee módulos totalmente hot – swappable, es decir intercambiables en caliente, garantizando una disponibilidad de 99,999%. Soporta direccionamiento IPv4 e IPv6. Soporta hasta el Release 8 del 3GPP. Puede operar en redundancia 1+1 balanceando la carga. Manejo de Jerarquía en la Calidad de Servicio



(H-QoS) y direccionamiento estático, pools de direccionamiento IP, soporta MPLS VPN y DHCP.

- El throughput inicial es de 25 Gbps; Si se requiere throughput adicional se agrega otro equipo funcionando en carga compartida y balanceada.
  - Soporta 20 millones de paquetes por segundo por equipo.
  - Se pueden apilar varios equipos, típicamente hasta 8 equipos.
  - Cuenta con interfaces S5 para interconectarse con el P-GW; Interface S11 para interconectarse con el MME; Cuatro interfaces de 10 Gbps soportando Link Aggregation (LAG) para interconexión con el Service Router; Interfaces para conexión con la red de administración.
- PGW: Puerta de salida a Internet u otras redes. Hace el enrutamiento de los paquetes hacia su destino, es responsable de la asignación de direcciones IP al terminal, así como de aplicar la política de calidad del servicio y su tarificación de acuerdo a las reglas entregadas por el PCRF. Cuenta con una arquitectura que garantiza altísimos niveles de desempeño, confiabilidad y escalabilidad para el ecosistema de banda ancha inalámbrica LTE. El equipamiento posee módulos totalmente hot – swappable, es decir intercambiables en caliente, garantizando una disponibilidad de 99,999%. Soporta direccionamiento IPv4 e IPv6. Soporta hasta el Release 8 del 3GPP. Puede operar en redundancia 1+1 balanceando la carga. Manejo de Jerarquía en la Calidad de Servicio (H-QoS) y direccionamiento estático, pools de direccionamiento IP, soporta MPLS VPN y DHCP.
    - El throughput inicial es de 25 Gbps; Si se requiere throughput adicional se agrega otro equipo funcionando en carga compartida y balanceada.
    - Soporta 20 millones de paquetes por segundo por equipo.
    - Se pueden apilar varios equipos, típicamente hasta 8 equipos.
    - Cuenta con interfaces S5 para interconectarse con el S-GW; Cuatro interfaces de 10 Gbps soportando Link Aggregation (LAG) para interconexión con el IP Router; Interface Gx para comunicarse con el PCRF; Interfaces para conexión con la red de administración.
  - PCRF: Define las políticas a aplicar en las comunicaciones y las reglas de tarificación de las mismas. Las políticas hacen referencia a la cantidad de recursos de red que se asignan a los usuarios, como el ancho de banda por ejemplo, las características de la portadora que se establece entre el terminal y el P-GW. Posee una arquitectura ATCA con una plataforma de servidores Blade que le brinda una redundancia 1+1. Soporta el



Release 7, 8 y 9 del 3GPP y las interfaces definidas en ellos. La potencia máxima de consumo inicialmente puede ser de 400 Watts y el voltaje de operación de -48VDC.

- Cuenta con una Interface Gx para comunicar las políticas decididas al P-GW; Interfaces para conexión con la red de administración; Interface definida por el 3GPP para proveer interoperabilidad con los componentes de red del Core IMS.
- Puede utilizar una interface Rx usada para funciones de aplicación, tal como la Función de Control de Sesión de Llamada al Proxy (P-CSCF) u otras políticas de habilitación de aplicaciones.
- HSS: Contiene el perfil de es la base de datos con la información de los suscriptores. QoS suscrito, restricciones de acceso, servicios abonados, posibilidad de roaming, información dinámica como la identidad del MME y S-GW a los que se encuentra registrado el usuario y estado del terminal. Posee una arquitectura modular para proveer altos niveles de flexibilidad, rendimiento y disponibilidad, así como un amplio rango de escalabilidad. Soporta redundancia local y geográfica para brindar alta disponibilidad y resiliencia.
  - Cuenta con una Interface S6a con el MME; Interfaces para conexión con la red de administración; Interface definida por el 3GPP para proveer interoperabilidad con los componentes de red del Core IMS.
  - Puede contar con una Interface Sp hacia el PCRF para proveer políticas a los suscriptores.

#### **9.4.3.1 Sistema de Operación de Telecomunicaciones**

Para la propuesta del modelo de operación de la RNTE, el Grupo Consultor se basó en el Mapa de Operaciones de una red de Telecomunicaciones Mejorado (eTOM: Enhanced Telecom Operations Map) recomendado por el foro TM (TeleManagement Forum) y adoptado por la ITU.

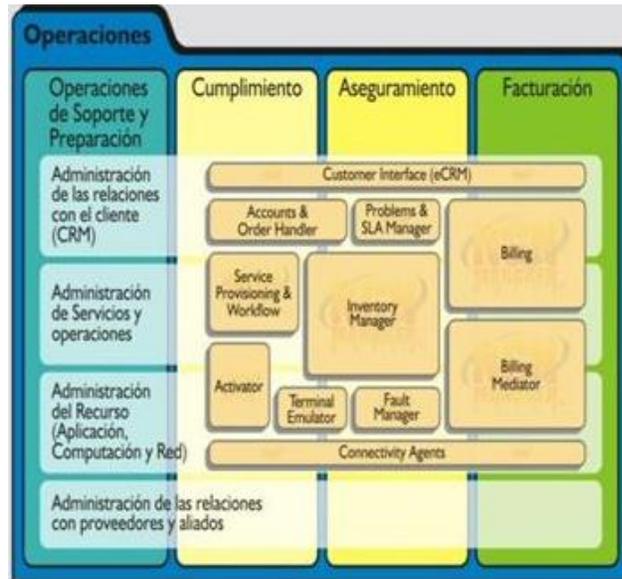


Ilustración 69 Procesos de Operación del Nivel 2  
Fuente TM Forum<sup>177</sup>

El área de procesos de operaciones del modelo eTOM está compuesto principalmente por 3 módulos, conocidos como procesos FAB (Fulfillment, Assurance, and Billing):

- **Cumplimiento** es el proceso responsable de proveer a los usuarios los servicios requeridos de manera oportuna y correcta.
- **Aseguramiento** es el proceso responsable de la ejecución de las actividades de operación y mantenimiento, para asegurar que la red cumple con los SLA (niveles de servicio) y QoS (calidad de servicio) acordados, al prestar los servicios a los usuarios.
- **Facturación** es el proceso responsable de la producción oportuna y correcta de facturas, de la provisión de información pre-facturación de uso, y de la facturación a los usuarios.

El Sistema de Operación de Telecomunicaciones, además de supervisar los elementos de red, como eNodeB, SGW o cualquier otro, para alertar al operador sobre la aparición de alarmas, debe entregar al operador una visión de extremo a extremo (e2e) del estado de los servicios que transitan por la red y del desempeño de los equipos, servicios y celdas. Significa que el Sistema debe manejar varios dominios:

- Elementos.
- Red.
- Servicios.

<sup>177</sup> <http://www.tmforum.org/sdata/browsable/etom/di130.htm#di130htmlshape4>



#### 9.4.3.2 Sistema de Cumplimiento de la Red

El proceso de Cumplimiento es responsable de proveer a los usuarios los servicios requeridos de manera oportuna y correcta. Traduce la necesidad del usuario en una solución, la cual puede ser entregada usando los aplicativos de la RNTE, con el objetivo de lograr la satisfacción del usuario.

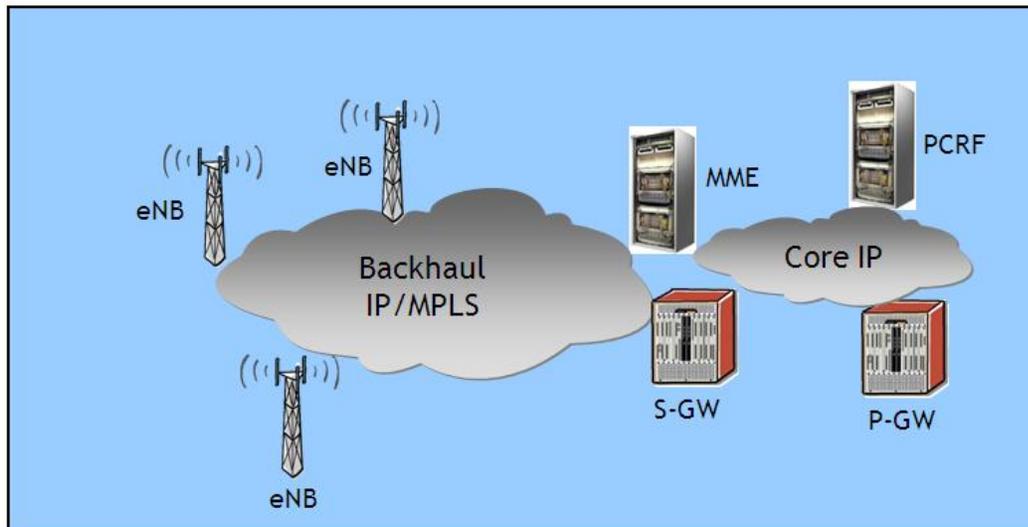
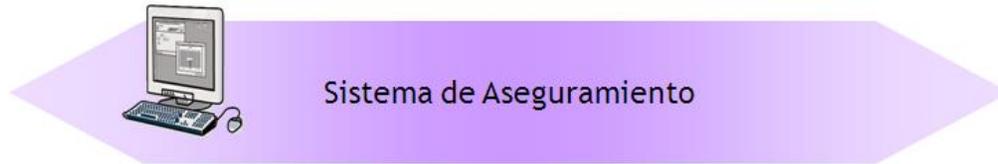
Las funciones que debe desempeñar un sistema de cumplimiento son:

- Manejo de Órdenes de Trabajo (OT): para que se ejecuten correctamente las actividades propias de la RNTE.
- Aprovisionamiento: comprende la configuración y activación de los servicios requeridos por los usuarios.
- Inventario: provisión y ubicación de recursos para prestar los Servicio.
- Autodescubrimiento de elementos, red y servicios para alimentar el inventario.
- Compra a proveedores: procesos responsables del entendimiento de lo que se necesita de los proveedores para tomar las decisiones de compra.

#### 9.4.3.3 Sistema de Aseguramiento de la Red

El Aseguramiento es el proceso responsable de la ejecución de las actividades proactivas y reactivas de operación y mantenimiento (O&M), para asegurar que los servicios provistos a los usuarios estén disponibles continuamente, y mantener los niveles de desempeño y de QoS. Realiza monitoreo continuo del estado y del desempeño de los recursos para detectar proactivamente posibles fallas. Recoge datos de desempeño y los analiza para identificar problemas potenciales y resolverlos sin impacto al usuario. Recibe los reportes de problemas desde los usuarios, informa a los usuarios sobre el estado del mismo y asegura la restauración del servicio.

La RNTE debe tener un sistema que permita su aseguramiento extremo a extremo (e2e) de una manera eficiente, ya que es totalmente IP. Cuando se menciona e2e, significa desde el acceso hasta el core, pasando por la red de transporte.



**Ilustración 70 Sistema de Aseguramiento**  
Fuente: Alcatel Lucent modificada por el Grupo Consultor

Las características que debe tener un Sistema de Aseguramiento son:

- Interface gráfica de usuario (GUI), para realizar tareas de configuración sobre los equipos y aprovisionamiento de servicios. De esta manera no es necesario realizar comandos sino <clics> sobre los elementos de red. Además se puede observar la topología de la red y visualizar fácilmente el punto de falla.
- Uso de plantillas, para evitar errores humanos, cuando se requieren tareas de configuración repetitivas, permitiendo que los scripts automáticamente configuren los elementos de red y los servicios necesarios.
- Capacidad de aseguramiento de servicios y correlación de alarmas que permiten al operador identificar proactivamente problemas antes que afecten al usuario.
- Herramientas de troubleshooting que ayudan al operador a diagnosticar la falla, identificar su causa raíz, aislar el problema y resolver la falla más rápidamente, con orientación a recuperar el servicio afectado.
- Interfaces abiertas, tipo XML o Java, que permiten conectarse con sistemas de gestión de orden superior en caso de ser necesario.
- Interfaces abiertas, tipo traps SNMP, para comunicarse con los elementos de red.
- Alta disponibilidad con opción de redundancia geográfica.



- Posibilidad de que el administrador de red defina diferentes perfiles a los operadores, asignándole las operaciones y comandos que puede ejecutar. Puede subdividir los recursos de red para asignarlos a los operadores, basados en privilegios de seguridad, localización geográfica, grupo organizacional, funciones del trabajo o responsabilidades individuales.
- Realizar pruebas automáticas sobre la red para verificar la operación e2e, comprobar parámetros configurables como retardo, pérdida de paquetes y jitter para detectar proactivamente la degradación del servicio.
- Recolección automática de estadísticas en tiempo real de los equipos e interfaces, indicando cuando se superan los umbrales establecidos para cierto desempeño.
- Correlacionar alarmas y eventos de las diferentes redes (acceso, transporte y core), consultando el inventario lógico de la red, para determinar una falla, y en lo posible, tratar de corregirla automáticamente enviando el comando respectivo al elemento, o en caso contrario, creando automáticamente un ticket enriquecido con las acciones realizadas, para que el personal de Operación y Mantenimiento (O&M) atienda la falla más eficientemente.
- Posibilidad de que el operador acceda al Sistema de Aseguramiento a través de un portal web.
- Análisis, Acción y Reporte de Calidad del Servicio: enmarcan el monitoreo, el análisis y el control del desempeño del servicio percibido por los usuarios.

#### 9.4.3.4 Arquitectura Hardware

La arquitectura normal de un Sistema de Aseguramiento está compuesta por:

- Uno o varios servidores de gestión, dependiendo del tamaño de la red, en configuración redundante, los cuales pueden ser virtuales.
- Bases de datos tipo Oracle redundantes.
- Estaciones de trabajo delegadas.

Una configuración típica de servidores para atender los elementos de la RNTE (menos de 5 mil elementos), es la siguiente:

<b>Servidor de Gestión</b>	2 x86 dual core o 1 x86 quad core 16GB de RAM 2 discos SAS 10KB RPM de 73GB - RAID 1
<b>Base de datos</b>	2 x86 dual core o 1 x86 quad core 12GB de RAM 4 discos SAS 10KB RPM de 146GB - RAID 1

Tabla 66 Configuración de los Servidores para Atender los Elementos de la RNTE

Fuente: Grupo Consultor



### 9.4.3.5 Requerimientos de red

La red que interconecta el Sistema de Aseguramiento con los elementos de red es importante para garantizar un buen manejo de la RNTE. Debe soportar IPV4 e IPV6. El ancho de banda requerido para acceder a los elementos de red, para asegurar un buen desempeño del Sistema de Aseguramiento, es el siguiente:

Enrutadores de acceso y agregación	200 Kbps
Enrutadores de borde	500 Kbps
Enrutadores del core IP	1 Mbps
eNodeB (3 celdas)	600 Kbps
SGW y PWG	1 Mbps
MME y PCRF	200 Kbps

**Tabla 67 Ancho de Banda Requerido para Acceder a los Elementos de Red**  
Fuente: Grupo Consultor

Para calcular la capacidad de ancho de banda que requiere el Sistema de Aseguramiento en el core IP, vamos a suponer las siguientes hipótesis:

- Cantidad de eventos que se manejan por mes: 8 millones
- Tamaño máximo de los eventos: 10 KB
- $8.000.000 \text{ eventos}/30 \text{ días} = 266.666 \text{ eventos/día}$ . Aproximado a 300.000 eventos/día
- Carga de trabajo por evento:  $300.000 \text{ eventos/día} * 10\text{KB} = 3 \text{ GB}$  de datos de eventos al día
- Suponiendo “overhead” del 10% por características de protocolo (cabeceras, control de flujo, etc.), el tráfico diario de eventos de alarmas será de:  $1.1 * 3\text{GB/día} = 3.3 \text{ GB/día}$
- En caso de que el tráfico fuera uniforme, el ancho de banda requerido sería de:  $3.3 \text{ GB/día} : 86400 \text{ seg/día} = 38 \text{ kB/s}$ .
- Pero en la práctica, el tráfico de gestión presenta picos, que obviamente concuerda con la hora más cargada por el tráfico de llamadas.
- Por otra parte, las alarmas de los elementos del core supone el lanzamiento de alarmas en los elementos de red periféricos (como el acceso). Esto provoca avalanchas de alarmas.
- Supondremos como hipótesis el peor caso en que el tráfico de alarmas no es uniforme y presenta avalanchas: el 20% de alarmas diarias se reciben en un periodo de tiempo de 5 minutos: 60.000 eventos en un periodo de 5 minutos al día.



- El 40% de alarmas diarias se reciben como avalancha en un periodo de tiempo de 5 minutos como consecuencia de problemas en el core: 120.000 eventos en un periodo de 5 minutos al día.
- El 40% restante de alarmas se distribuye uniformemente a lo largo del día: 120.000 eventos en las restantes 23 horas y 55 minutos.
- Para el pico 1, el ancho de banda requerido en la interface de la red de gestión sería: 20% \* 3,3 GB eventos = 660 MB en 5 minutos.

$$660 \text{ MB} / (5 * 60 \text{ seg}) = 2.2 \text{ MB/s.}$$

- En caso de la avalancha del pico 2, el ancho de banda requerido sería:

$$40\% * 3,3 \text{ GB eventos} = 1.32 \text{ GB en 5 minutos.}$$

$$1.32 \text{ GB} / (5 * 60 \text{ sg}) = 4,4 \text{ MB/s.}$$

- Suponiendo el peor caso, cuando los dos picos coincidan en el tiempo:

$$\text{BW} = 4,4 \text{ MB/s} + 2,2 \text{ MB/s} = 6,6 \text{ MB/s.}$$

#### 9.4.3.6 Sistema de Facturación de la Red

Facturación es el proceso responsable de la producción oportuna y correcta de facturas, de la provisión de información pre-facturación de uso, y de la facturación a los usuarios, del procesamiento de sus pagos, y del recaudo de los mismos. Adicionalmente, maneja las consultas de los usuarios sobre facturación, provee el estado de dichas consultas y es responsable de resolver los problemas de facturación para la satisfacción de los usuarios de una manera oportuna. Este proceso también soporta el prepago de servicios. En el caso de la RNTE, a los usuarios se les facturará con el propósito de controlar el uso de estos y evitar abusos o permitir que algunas llamadas que ellos realicen se les cobre cuando no pertenezcan a los grupos autorizados de emergencia.

Las funciones que debe desempeñar un sistema de Facturación son:

- Gestión de Facturación y Recaudo: estos procesos encierran la creación y el mantenimiento de la contabilidad de la facturación de los usuarios, el envío de las facturas a los mismos, el procesamiento de sus pagos, el recaudo de éstos, el monitoreo de las cuentas, y el manejo de las excepciones de facturación y pagos.
- Tarifación del Servicio e Instancias Específicas: estos procesos gestionan los eventos de servicio correlacionándolos y formateándolos de una manera apropiada. Incluyen la tarifación de los niveles de servicio con base en la información de uso, así como la investigación de los problemas con eventos de facturación relacionada con el servicio.



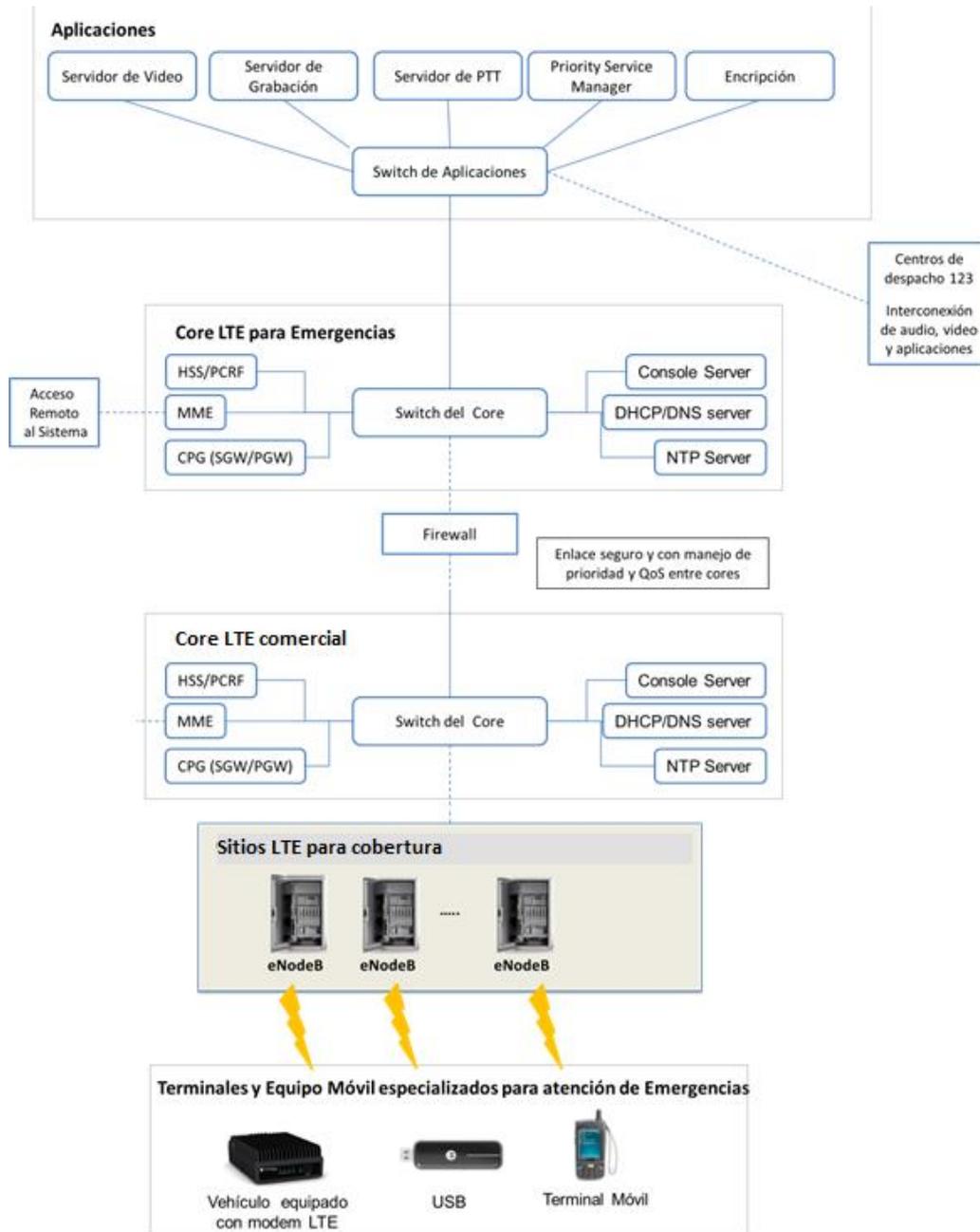
- **Gestión de Convenios y Facturación:** estos procesos gestionan todos los convenios y la facturación para la empresa, incluyendo la validación y verificación de facturas, y la autorización de los respectivos pagos.

#### **9.4.3.7 Core de emergencia**

Dada la importancia de que existan funcionalidades específicas para la RNTE y debido a que es necesario que el control y la administración de los usuarios de esta red sea manejado por las entidades coordinadoras y las entidades encargadas de la atención de emergencias, es necesario que la arquitectura de la red LTE a instalar cuente con un Core específico y separado para el control de los usuarios de emergencias y de seguridad. Este Core se debe interconectar con el Core del PRST, el cual tendrá el control de acceso a los diferentes puntos de cobertura y la administración de los eNodeB en la banda de 700 MHz.

El Core LTE de emergencias permitirá que las bases de datos, las comunicaciones encriptadas, las grabaciones de eventos y en general todas las aplicaciones y funcionalidades propias de una red para eventos críticos, sean manejadas y administradas por separado por las entidades que tienen jurisdicción para estos fines. De esta forma se puede tener una gestión independiente, manteniendo una conexión con el Core LTE comercial que maneja todo el tráfico mediante una comunicación encriptada y segura que permite el manejo de las prioridades y los requisitos de calidad de servicio y de anchos de banda necesarios para estas comunicaciones críticas generadas para la atención de los eventos de emergencia.

A continuación se presenta una ilustración esquemática del Core LTE de emergencias y su interconexión con el Core comercial. Es de aclarar que en el bloque de Core LTE de emergencias están incluidos los elementos propios del EPC, los eNodeB ubicados en los municipios definidos previamente en la sección 9.4 de este documento.



**Ilustración 71 Estructura de la Red LTE**  
Fuente: Elaboración Propia

#### 9.4.4 Interconexión con otras redes

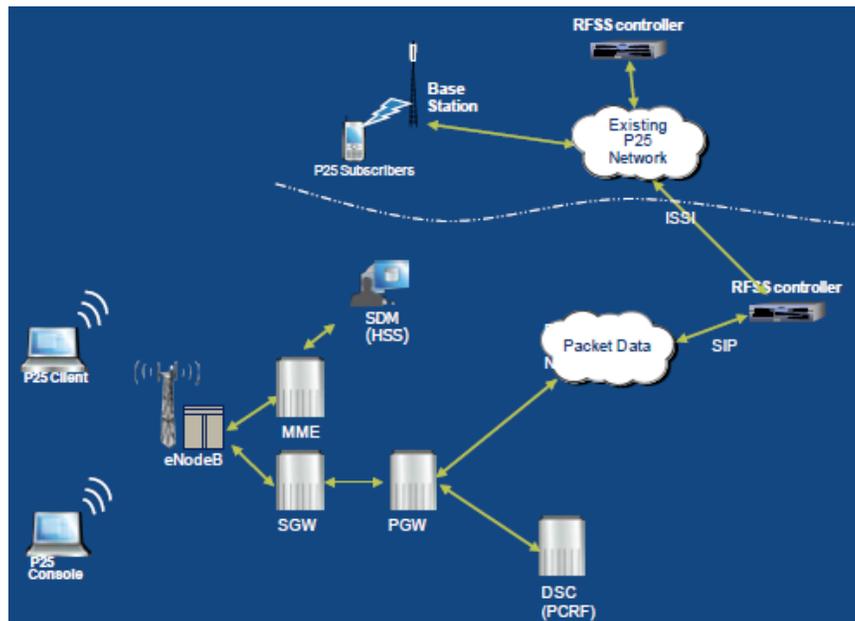
Como se ha descrito previamente, la parte central de la RNTE está basada en una red LTE, que se espera sea Rel 12 (LTE Advance para PPDR). Para lograr un cubrimiento nacional a un costo razonable, de tal manera que se obtenga la mejor relación costo-beneficio, el Grupo



Consultor ha propuesto fortalecer las redes de Radio en Banda VHF y HF, y utilizar estaciones LTE transportables.

LTE es una red totalmente IP de tal manera que la interconexión entre el acceso, la red de transporte y el core es simple y eficiente. Lo importante es que todo el conjunto de equipos sean capaces de manejar las prioridades que los usuarios y servicios de las diferentes entidades de emergencias requieran.

- La red de transporte IP/MPLS propuesta a usar en la red LTE, sirve también para transportar los servicios de la red de Radio en Banda VHF, desde las capitales hasta Bogotá. Para interconectar la red de Radio en Banda VHF a la red backhaul IP, es necesario un Gateway con un consumo de 100 VA máximo, que soporta la interconexión directa de 12 a 24 dispositivos de audio VHF a través de un cross-connect que posee interfaces Asíncronas Full Dúplex RS-232, Baud Rates 300 bps a 115.2 Kbps y conectores RJ-45 ubicado en las diferentes capitales de departamento y una interface Ethernet 10/100 que se conecta al P-GW.
- Las redes de Radio en Banda HF tienen su Consola de Despacho unificada en Bogotá, la cual se interconecta con la red LTE a través de un Gateway que soporta la interconexión directa de 12 a 24 dispositivos de audio HF a través de un cross-connect que posee interfaces Asíncronas Full Dúplex RS-232, Baud Rates 300 bps a 115.2 Kbps y conectores RJ-45 ubicado en las diferentes capitales de departamento y una interface Ethernet 10/100 que se conecta al P-GW.
- Los CAE, ubicados en las diferentes capitales de departamento se podrán interconectar con la RNTE LTE con el nodo agregador de la capital de su departamento; Esta es una interface Ethernet 10/100/1000 suficiente para cubrir el tráfico que el CAE de un departamento enrute hacia el CAE de otro departamento.
- La interconexión con redes como las Fuerzas Militares y Policía Nacional que poseen infraestructura P.25 se realiza mediante la habilitación de un puerto Ethernet 10/100/1000 del P-GW con el protocolo SIP y se interconecta con un puerto Ethernet 10/100/1000 del equipo RFSS (Radio Frequency Subsystem) Controller existente en la red P.25.



**Ilustración 72 Interconexión de la RNTe LTE con Redes P.25**

Fuente: Cassidian Communications<sup>178</sup>

- La interconexión de la red LTE con las redes públicas fijas y móviles y con internet se hace a través de interfaces IP en el core. La RNTe LTE es una red totalmente IP y para interconectarse con otras redes se debe tener en cuenta lo siguiente:
  - Si la otra red es una red IP, por ejemplo del tipo Telmex fija, la interconexión es con una interface Ethernet 10/100/1000 con el protocolo SIP.
  - Si la otra red es una red de conmutación de circuitos, se coloca un dispositivo de mediación, en este caso Media Gateway que por un lado recibe una interface Ethernet con el protocolo SIP y por el otro lado entrega varias interfaces G.703 de 2 Mbps o E1. El número de E1 dependerá del tráfico que el operador espera enviar hacia la otra red. Por ejemplo, si en la hora pico se transfieren 1.000 llamadas de promedio tres minutos hacia la otra red, el tráfico ofrecido es de 50 Erlangs y el número de dispositivos requeridos es cerca de 2 E1. Este tipo de gateway se deberá instalar por ejemplo con Movistar, quien haría la interconexión tanto con sus redes fijas como con su móvil.

Con Claro, se haría una interconexión con Media Gateway en tres puntos por lo menos, uno en Barranquilla, otro en Cali y el otro en Bogotá. Igual situación se presenta para Tigo y Movistar.

<sup>178</sup>Cassidian, Abril 2011, LEIM - Improving Incident Response with Interoperable LTE and P25 Communications,

Similarmente hay que hacer interconexión con UNE, quien se encargaría de dispersar el tráfico para las diferentes ciudades donde opera.

Para ETB, la interconexión sería solamente en Bogotá, al igual que con Emcali, donde la interconexión se haría solamente en Cali.

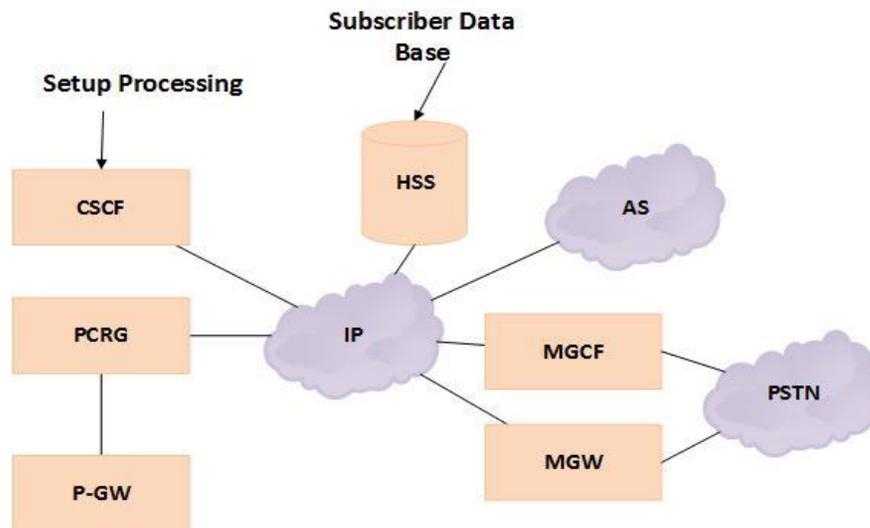
En particular aquellas PRST independientes, como Emtel Popayán, Telepalmira, Unitel en el Valle, etc., tendrán que hacerse interconexiones puntuales en las ciudades.

En el inicio de operación de la RNTE LTE, su objetivo central es el acceso a los datos a alta velocidad. La voz inicialmente se hará sobre las redes de 2G y 3G, hasta tanto no madure la VoLTE, en cuyo caso se hará necesario las anteriores interconexiones.

Para interconectar el core LTE de la RNTE con las redes fijas tipo PSTN para servicios de voz, es necesario el IMS. Dentro del IMS se tiene:

- El MGCF (Media Gateway Control Function) que puede recibir interfaces TDM (como E1s) de la PSTN para extraer la señalización número 7 (SS7).
- El MGW (Media Gateway), que también recibe interfaces TDM, y adapta las muestras de voz a la codificación VoLTE (VoIP) usada en LTE.

Tanto el MGCF como el MGW se interconectan con el core IP del core LTE, como lo muestra la siguiente ilustración:



**Ilustración 73 Interconexión del MGCF como el MGW con el Core IP del core LTE**  
Fuente: Grupo Consultor

En todas las interconexiones IP es necesario tomar las medidas de seguridad necesarias, como el uso de firewalls.



## 9.5 DISEÑO ELÉCTRICO PARA LA RNTE - LTE

El punto débil de la RNTE se presenta cuando falla el fluido eléctrico, situación que se presenta eventualmente en cualquier sitio de la red, por fallas en el sistema de suministro de energía eléctrica o cuando se enfrentan eventos naturales de gran magnitud; esto hace que sea necesario garantizar el suministro de energía eléctrica al sitio mediante el respaldo de planta eléctrica de emergencia, buscando tener la continuidad en el servicio.

El sistema de suministro de energía eléctrica para la RNTE, se encuentra diferenciado por sus características técnicas de diseño, relacionadas a su robustez, seguridad de continuidad en el servicio, versatilidad y autonomía de trabajo.

Los criterios del diseño eléctrico utilizados son concernientes a condiciones técnicas de los equipos a alimentar y a la capacidad del servicio de suministro de energía eléctrica de los sitios donde estarán instalados dichos equipos, en los cuales se puede aplicar diversas alternativas que pueden garantizar el correcto suministro de energía a los equipos, así como garantizar la continuidad en el servicio, al menos en tiempos determinados, y brindar cubrimiento en zonas aisladas o con alta vulnerabilidad a los posibles desastres que se pueden presentar.

### 9.5.1 Nivel de Acceso

El diseño eléctrico para el nivel de acceso de la RNTE - LTE, contempla las soluciones a los sitios donde se encuentran instalados eNodeB, en las 1.103 cabeceras municipales que forman parte del objetivo de cobertura, en razón a que en estos sitios solamente se suministra energía eléctrica comercial, para lo cual se requiere de un rectificador/cargador con una autonomía que puede variar entre 4 y 8 horas, dependiendo de las características del sitio y el acceso al mismo.

Adicionalmente, el Grupo Consultor plantea robustecer el respaldo eléctrico que se tiene de los bancos de baterías de los PRST, con soluciones de plantas eléctricas de emergencia, buscando así garantizar el servicio continuo de energía, en razón a que la RNTE está diseñada en función de la cobertura y el tiempo requerido del servicio en caso de un desastre.

De acuerdo a la información brindada por los proveedores de equipos de telecomunicaciones, el consumo de un eNodeB de tres sectores puede alcanzar un valor máximo de 1680 Watts, por lo cual se asume una potencia base de 1500 Watts AC. Adicionalmente a esto, se contempla que las condiciones mínimas básicas de consumo de los equipos activos de alimentación, rectificadores (AC/DC), y el sistema de aire acondicionado, pueden alcanzar un valor de 1,8KW AC.

En la siguiente tabla se presentan la configuración a tener en cuenta en el diseño eléctrico de los sitios prototipo de la RNTE:



ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA (AC) PROTOTIPO DE EQUIPOS Y SU POTENCIA (WTS AC) Y SITIOS DE LA RED		
SITIOS/UBICACIÓN	URBANO	SUBURBANO
POTENCIA	600 a 1800 WTS	1800 WTS
DESCRIPCION DE SITIOS	eNodeB SW Enrutador	eNodeB SW Enrutador
AUTONOMIA ESTIMADA (Soporte de baterías)	4 H	4 H – 8 H
MOTOGENERADORES	Requerido	Requerido
ENERGIAS ALTERNATIVAS	N/A	Solar/Eólica
<b>Nota: Con las energías alternativas su aplicación sería mínima por su bajo desempeño y en sitios de poco consumo</b>		

**Tabla 68 Configuración Eléctrica de los Sitios Prototipo de la RNTE**

Fuente: Grupo Consultor

Se hace necesario establecer un sistema que pueda garantizar una mayor robustez al sistema de suministro eléctrico de la RNTE, mediante plantas eléctricas de emergencia. Las condiciones básicas para el diseño de este sistema, se determinan con base en la potencia estimada de consumo y las condiciones de la red eléctrica nacional, por lo cual se puede hacer uso de plantas de emergencia fijas o móviles.

Existen plantas de emergencia fijas de dos tipos:

- Tipo Abierta: Para ser instalada en sitios donde existe la posibilidad de cuartos cubiertos e insonoros, para que su funcionamiento no afecte externamente a las personas por el ruido generado. Estos son equipos de menor valor.
- Tipo Cerrada o cabina: Son insonoras y contra intemperie.

Las plantas de emergencia móviles cumplen con un componente de movilidad, que permite su ubicación en un sitio estratégico para que posteriormente se pueda trasladar a donde sea requerida.

La instalación de plantas eléctricas fijas como único elemento de respaldo de la red comercial, se contempló teniendo en cuenta los sitios que se encuentran en zonas de alta vulnerabilidad y mayor distancia de las capitales de departamento, de acuerdo a la Matriz de Multi-Amenazas presentada en el Anexo I.

En el Anexo XI Diseño Eléctrico de la RNTE, se presenta el listado de las 1.086 cabeceras municipales (incluidas 16 capitales de departamento) donde el Grupo Consultor recomienda la instalación de plantas de emergencia fijas.

En las áreas urbanas de las ciudades principales e intermedias, el suministro de energía tiende a ser más estable, sin embargo, se plantea que se instalen plantas fijas, en cada uno de los sitios donde se encuentre instalado un eNodeB con su respectivo switch enrutador, para las cinco ciudades presentadas en la siguiente tabla, debido a que eventualmente se presentan cortes de energía prolongados en dichas ciudades, por características de la red eléctrica de la región, lo que puede afectar el suministro de energía a la RNTE.

Sitios de la RNTE	
Municipio	Departamento
VALLEDUPAR	CESAR
SAN JUAN DE PASTO	NARIÑO
MONTERIA	CORDOBA
MANIZALES	CALDAS
BUENAVENTURA	VALLE

**Tabla 69 Ciudades donde se Ubicarán Plantas Fijas de Cabina o Abiertas**  
Fuente: Grupo Consultor

En total, el Grupo Consultor considera que en 1.091 cabeceras municipales se requiere la instalación de plantas fijas. El listado de estas cabeceras municipales se encuentra detallado en el Anexo XI Diseño Eléctrico de la RNTE.

Para las ciudades que se listan a continuación, se propone disponer solamente de plantas móviles, ubicadas estratégicamente en un sitio de la ciudad; estas plantas se trasladarían al lugar afectado por una falla prolongada del fluido eléctrico.

Municipio	Departamento	# Planta Móvil
<b>BOGOTA D.C.</b>	DISTRITO CAPITAL	4
<b>MEDELLIN</b>	ANTIOQUIA	2
<b>SANTIAGO DE CALI</b>	VALLE	2
<b>BARRANQUILLA</b>	ATLANTICO	2
<b>CARTAGENA DE INDIAS</b>	BOLIVAR	1
<b>SAN JOSE DE CUCUTA</b>	NORTE SANTANDER	1
<b>IBAGUE</b>	TOLIMA	1
<b>BUCARAMANGA</b>	SANTANDER	1
<b>PEREIRA</b>	RISARALDA	1
<b>SANTA MARTA</b>	MAGDALENA	1
<b>VILLAVICENCIO</b>	META	1
<b>TOTAL PLANTAS MÓVILES</b>		<b>17</b>

**Tabla 70 Sitios donde se Ubicarán Plantas Móviles**  
Fuente: Grupo Consultor

Las características técnicas de las plantas eléctricas propuestas se describen a continuación:



RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE EMERGENCIA DE COLOMBIA RNTE		
CARACTERISTICAS TECNICAS BASICAS DE LAS PLANTAS ELECTRICAS DE EMERGENCIA		
Descripción	PLANTA ABIERTA CERRADA	PLANTA MOVIL
Potencia (De 0msm A 2900msm)	12 A 13 KVA	
Voltaje de suministro	220/127 VAC Trifásico y 220/120 VAC Monofásico	
Frecuencia de trabajo	60 Hz	
Tipo de combustible	Diesel A2 (norma Colombiana)	
Tanque de combustible autonomía al 80% de la carga (a 2900msm)	16 horas de autonomía X 1Gl/hora en tanque de polietileno	
Nivel de aislamiento Ruido (dBA a distancias )	N/A por su configuración se ubicaran en sitios que no afecte a las personas	A 15mts 58dBA/ A 7mts 65dBA/ A 1mt 75dBA
Dimensiones en mts (largo X ancho X alto)	1,5 X 0,55 X 1	1,7 X 0,87 X 1,2
Peso	450Kgs	600 Kgs incluye ruedas de tracción vehicular R14
Sistema de control	Programable con posibilidad de verificación de Voltaje, frecuencia, potencia, amperaje, alarmas , Velocidad en rpm, control y sistema de monitoreo remoto mediante Modbus SCADA RS485	
Teclas de control	Arranque / parada / Automático	
Motor	Aspiración natural / enfriado por agua	
Sistema de Lubricación tipo aceite	API CH4 15W-40	
Tipo de silenciador	Industrial	
Generador	Aislamiento tipo H, Radio interferencia: supresión conforme a la norma Europea EN61000-6	
Temperatura de trabajo	de 10 a 30 (con derrateo de temperatura ambiente, altura sobre nivel del mar y humedad relativa)	
Norma de grupos electrógenos	BS5000 - ISO8528 - ISO3446 - IEC60034 - NEMA MG-1 .22	
<b>Nota: Las características básicas son suministradas bajo medidas estándar de los proveedores de equipos moto generadores</b>		

**Tabla 71 Características Técnicas de las Plantas Eléctricas de Emergencia**  
Fuente: Grupo Consultor

En todos los sitios donde se encuentran localizados los eNodeB, se requiere la instalación de equipos rectificadores de energía eléctrica. En la siguiente tabla, se presenta el resumen de los parámetros de rectificadores disponibles comercialmente que cumplen con las especificaciones para la RNTE.

Resumen de las características de los Rectificadores RNTE		
Voltajes Nominales	VAC IN	196 a 250 Vac
	VDC OUT	48 Vdc
Potencia	2000 Watts	
Eficiencia	0,99%	
Dimensiones	86x84x270 mm	

**Tabla 72 Resumen características de rectificadores para la RNTE**  
Fuente: Proveedor Emerson Eltek Valere



El diseño eléctrico en detalle se encuentra en el Anexo XI Diseño Eléctrico de la RNTE.

### 9.5.2 Nivel de Transporte

El diseño eléctrico para la nueva red RNTE no se realizó para los elementos de la RNTE que hacen parte de este nivel, en razón a que estarán ubicados en sitios de infraestructura alquilada, en los cuales se dispondrá de suministro de energía eléctrica continua, bajo los parámetros de exigencia mínima requeridas a los PRST locales o regionales.

### 9.5.3 Nivel de Core

El diseño eléctrico para la nueva red RNTE, no se realizó para los elementos de la RNTE que hacen parte de este nivel, en razón a que estarán ubicados en datacenters o en sitios de infraestructura alquilada, adecuados por los PRST, donde se provee energía continua garantizada y con las contingencias adecuadas.

## 9.6 TERMINALES PROPUESTAS

El equipo de usuario es el dispositivo que conecta a los usuarios con el sistema por medio de la red de acceso. Estos equipos tendrán requerimientos de diversos niveles sobre la robustez y seguridad que exceden aquellos de los dispositivos comerciales disponibles. Por ejemplo, se requiere de niveles de protección contra intrusos, protección ambiental (resistencia a caídas, lluvia, polvo, entre otros), etc.

Igualmente su diseño debe ser específicamente dedicado a atención de emergencias con botones específicos para conversaciones de grupo (PTT Push to Talk) y para llamada de emergencia (Emergency button) ya que en el momento de la emergencia se requiere rapidez en la comunicación, permitir el envío de aplicaciones de video streaming de alta calidad, desde el sitio del incidente y poseer una pantalla nítida y de alta resolución.

Las entidades que participan del ecosistema de la red de emergencia deben ser conscientes que la compra de terminales comerciales, los cuales son más económicos, terminan siendo más costosos en razón a su alta tasa de fallas. De hecho, un estudio de VDC Research Group analizó los costos de comprar equipo robusto de seguridad pública durante un plazo de cinco años. VDC encontró que la compra de dispositivos robustos ofrece un ahorro de alrededor de 2.000 dólares por año por dispositivo gracias a la reducción de fallas en los equipos y el tiempo de inactividad a pesar de que inicialmente puede requerir de una inversión inicial mayor.

### Requerimientos Generales

En términos generales los dispositivos solicitados para las entidades del SNGRD que intervienen directamente en la atención de los desastres deben ser completamente compatibles con los servicios y aplicaciones descritas previamente y deben ser capaces de: proveer una indicación cuando estos estén operando en *roaming*, soportar mecanismos de localización



autónoma, operar a niveles de potencia según requerimientos de cobertura y emplear un sistema operativo intuitivo que facilite las operaciones del oficial en campo en situaciones de estrés.

### Duración de la Batería

La duración de la batería es un elemento importante en los dispositivos portátiles que operan en ambientes de emergencias. Las baterías deben proveer una operatividad típica igual o superior a la duración de un turno (entre 8 y 10 horas) en funcionamiento continuo. Adicionalmente, los dispositivos deben soportar el cambio de batería en “caliente” (sin apagar el dispositivo).

#### **9.6.1.1 Características Recomendadas de los Terminales de la RNTE**

Los terminales a usarse en la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia deben cumplir con el estándar internacional IEC 60529 Grados de Protección IP, el cual especifica un sistema para clasificar los diferentes grados de protección que poseen las cubiertas que alojan las componentes que constituyen el terminal.

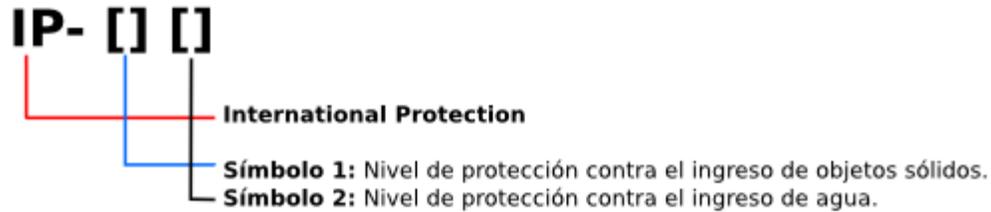
Este estándar ha sido desarrollado para calificar de una manera alfa-numérica los equipamientos en función del nivel de protección que sus contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos numéricos, el grado de protección del equipamiento puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

De esta manera, por ejemplo, cuando un equipamiento tiene como grado de protección las siglas: IP67.

- Las letras IP identifican al estándar (una antigua herencia de la terminología International Protection).
- El valor 6 en el primer dígito numérico describe el nivel de protección ante polvo, en este caso: "El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia"
- El valor 7 en el segundo dígito numérico describe el nivel de protección frente a líquidos (normalmente agua), en nuestro ejemplo: "El objeto debe resistir (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos."

Como regla general se puede establecer que cuando mayor es el grado de protección IP, más protegido está el equipamiento.

## Nomenclatura estándar IEC 60529



### Primer dígito (IP\*X)

El estándar IEC 60529 establece para el primer dígito que el equipo a ser certificado debe cumplir con alguna de las siguientes condiciones.

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	<50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	<12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	<2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	<1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

Tabla 73 IEC 60529 Primer dígito  
Fuente: IECC

### Segundo dígito (IPX\*)

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados esperados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm <sup>3</sup> por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando de la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm <sup>3</sup> por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.



3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m <sup>2</sup> durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continúa en agua.	El equipamiento eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	No debe entrar agua

**Tabla 74 IEC 60529 Segundo dígito**  
Fuente: IECC

### 9.6.1.2 Características Específicas de los Terminales

Adicionalmente al cumplimiento del estándar IEC 60529, los terminales de la red de emergencia deben cumplir con las siguientes características mandatorias sea cual fuere el tipo teléfono, PDA, portables en carros, etc.:

- Operación multi-modo y multi-banda: operando en LTE en la banda de 700 MHz, 2G/3G en las bandas de 850 y 1900 MHz y soportar redes WiFi.
- Duración de batería para cubrir un turno de 8 horas de trabajo.
- Pantalla a color táctil de alta resolución, botón dedicado para Push To Talk, botón de acción rápida, bluetooth y accesorios inalámbricos.

- Teléfono inteligente con facilidades de servicios de telefonía celular, GPS y cámara de 5 Megapíxel mínimo.
- Software actualizable y configurable vía interfaz de aire, bloqueo remoto en caso de pérdida o robo.
- Soporte de amplia gama de aplicaciones, mapas, acceso a Internet, grabadora de video con calidad DVD, cifrado, etc.
- Recargables de manera alterna por el puerto USB de un PC.

### 9.6.1.3 Algunos Ejemplos de Terminales para la Red LTE

Los terminales usados en situaciones de emergencia pueden ser clasificados de acuerdo al uso que se les dé, por ejemplo terminales de bolsillo usados por el personal que se encuentra en terreno o de campo, los de tipo PDA robustas los cuales son usados generalmente por los supervisores o coordinadores, y las estaciones de trabajo móviles que pueden ser transportadas en los móviles de los organismos de socorro.

Los terminales de bolsillo permiten recibir y enviar información de una emergencia, evitando los retrasos de recepción desde el terreno, posee herramientas para recopilar y acceder a los datos, tomar decisiones correctas y realizar las tareas in situ logrando un mejor tiempo de respuesta y máxima eficacia. En la siguiente figura se pueden ver algunas imágenes de los terminales usados en terreno.



**Ilustración 74 Terminales Móviles que se pueden utilizar para la RNTE**  
Fuente: Motorola, Sonim, Datagolic, AT&T

En el mercado se pueden encontrar, en diferentes marcas de terminales PDA, por lo general con sistema operativo Android o Microsoft Windows Mobile, Este tipo de dispositivos tienen las siguientes características:

- WiFi, bluetooth, 3G, LTE, Gobi y localización GPS y A-GPS.
- Se pueden instalar opciones tales como lectores de código de barras, RFID, NFC, cámara, brújula, altímetro, visión nocturna.

- Cámara frontal Optimizada para video colaboración y condiciones de poca iluminación.



**Ilustración 75 PDA que se pueden utilizar para la RNTE**

Fuente: ZiPAD, Motorola y Aicos

Las estaciones de trabajo móviles por lo general son usadas entornos hostiles en los que suele utilizarse los vehículos de emergencias por lo tanto son resistentes a choques, vibraciones y polvo, cumpliendo así los estándares IEC. Este tipo de terminales compactos tienen la funcionalidad completa de un PC: con sistema operativo instalado, comunicaciones inalámbricas, voz y audio integrado, permiten conexión LTE/2G/3G. Además tienen opciones de GPS interno y de módulo GPS con navegación por estima (Dead Reckoning) que funcionan con sus propias aplicaciones para ubicación de vehículos, Pantalla transflexiva de alto contraste lo cual permite que se vea perfectamente bien incluso en condiciones de iluminación inadecuada.



**Ilustración 76 Estaciones de Trabajo Móviles que se pueden utilizar para la RNTE**

Fuente: Psion, Motorola

## **9.7 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA RNTE**

Los resultados del dimensionamiento de los elementos de la RNTE se entregan en formato digital en el Anexo XVII Disponibilidad de RNTE LTE por municipio y Anexo XVIII Equipos agregadores de la RNTE LTE.

### **9.7.1 Dimensionamiento para las redes de acceso y backhaul**

El Grupo Consultor ha determinado la vulnerabilidad de las cabeceras municipales del país de acuerdo a las amenazas geológicas e hidrometeorológicas (sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones e incendios), sin embargo para efectos del diseño de la red LTE el Grupo Consultor ha considerado las fallas sísmicas y volcánicas como un criterio de alto impacto en el desempeño de los eNodeB, en razón a que son eventos aleatorios que impactan más de una celda en una localidad en caso de presentarse. Además de que en el país gracias a



las experiencias obtenidas por las inundaciones recientes los operadores tomaron sus precauciones y re-instalaron el equipamiento de manera tal que las inundaciones no los afecte (equipamientos en segundos pisos, sobre bases altas, etc.).

Como resultado del estudio del diseño de LTE, se puede concluir que de los 1.103 municipios del país:

Municipios con un solo anillo de fibra de 1 Gbps

- 1.058 municipios de todos los departamentos del país a excepción de San Andrés, requieren **un solo** eNodeB:
  - 360 municipios presentan alta vulnerabilidad sísmica o erupciones volcánicas.
  - 696 municipios no presentan alta vulnerabilidad a eventos sísmicos o volcánicos.
  - Los departamentos con mayor cantidad de municipios que presentan alta vulnerabilidad sísmica o volcánica son Boyacá, Antioquia, Cundinamarca, Santander y Nariño.
  - La disponibilidad de la red Metropolitana en los municipios que requieren un solo eNodeB es de 99,99%, gracias a la topología en anillo. Cuando se asume un tiempo de reparación máximo de cuatro horas, el tiempo medio entre fallas es casi de 40.000 horas lo que representa una probabilidad de falla de tan solo 1,78% en un mes.

Departamento	Municipios con Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica				Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	No determinada	Total			
Boyacá	40	80		120	99,9900%	39.996	1,78%
Antioquia	95	24		119	99,9900%	39.996	1,78%
Cundinamarca	61	53		114	99,9900%	39.996	1,78%
Santander	36	48		84	99,9900%	39.996	1,78%
Nariño	38	24		62	99,9900%	39.996	1,78%
Tolima	34	12		46	99,9900%	39.996	1,78%
Bolívar	44			44	99,9900%	39.996	1,78%
Cauca	38	3		41	99,9900%	39.996	1,78%
Norte Santander	15	24		39	99,9900%	39.996	1,78%
Valle	38			38	99,9900%	39.996	1,78%
Huila	11	25		36	99,9900%	39.996	1,78%
Chocó	1	29	1	31	99,9900%	39.996	1,78%
Magdalena	28		1	29	99,9900%	39.996	1,78%
Córdoba	27	2		29	99,9900%	39.996	1,78%
Meta	16	12		28	99,9900%	39.996	1,78%
Caldas	24	2		26	99,9900%	39.996	1,78%
Sucre	25			25	99,9900%	39.996	1,78%
Cesar	23			23	99,9900%	39.996	1,78%



Departamento	Municipios con Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica				Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	No determinada	Total			
Atlántico	21			21	99,9900%	39.996	1,78%
Casanare	4	14		18	99,9900%	39.996	1,78%
Caquetá	15			15	99,9900%	39.996	1,78%
Putumayo	8	5		13	99,9900%	39.996	1,78%
La Guajira	13			13	99,9900%	39.996	1,78%
Risaralda	12			12	99,9900%	39.996	1,78%
Quindío	11			11	99,9900%	39.996	1,78%
Arauca	4	3		7	99,9900%	39.996	1,78%
Vichada	4			4	99,9900%	39.996	1,78%
Guaviare	4			4	99,9900%	39.996	1,78%
Vaupés	3			3	99,9900%	39.996	1,78%
Amazonas	2			2	99,9900%	39.996	1,78%
Guainía	1			1	99,9900%	39.996	1,78%
<b>Total Cabeceras con 1 eNodeB</b>	<b>696</b>	<b>360</b>	<b>2</b>	<b>1.057</b>	<b>99,9900%</b>	<b>39.996</b>	<b>1,78%</b>

**Tabla 75 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren un eNodeB, Disponibilidad, MTBF y Probabilidad de Falla**

Fuente: Grupo Consultor

17 municipios de los departamentos de Antioquia, Valle, Santander, La Guajira, Bolívar, Boyacá, Risaralda, Atlántico, Cundinamarca, y Cesar, requieren **dos** eNodeB:

- 2 municipios presentan alta vulnerabilidad sísmica o a erupciones volcánicas: Sogamoso y Girardot.
- 15 municipios no presentan alta vulnerabilidad a eventos sísmicos o volcánicos.
- Los departamentos con mayor cantidad de municipios que presentan alta vulnerabilidad sísmica o volcánica son Antioquia, Valle y Santander.
- La disponibilidad de la red Metropolitana en los municipios que requieren dos eNodeB es de 99,986%, pudiéndose presentar una falla cada 30.000 horas aproximadamente y con una probabilidad de falla de 2,37% en un mes.

Número de eNodeB	Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica			Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	Total			
Antioquia	5		5	99,9867%	30.041	2,37%
Valle	3		3	99,9867%	30.041	2,37%
Santander	2		2	99,9867%	30.041	2,37%
La Guajira	1		1	99,9867%	30.041	2,37%
Bolivar	1		1	99,9867%	30.041	2,37%
Boyacá		1	1	99,9867%	30.041	2,37%



Número de eNodeB	Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica			Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	Total			
Risaralda	1		1	99,9867%	30.041	2,37%
Atlántico	1		1	99,9867%	30.041	2,37%
Cundinamarca		1	1	99,9867%	30.041	2,37%
Cesar	1		1	99,9867%	30.041	2,37%
<b>Total Cabeceras con 2 eNodeB</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>99,9867%</b>	<b>30.041</b>	<b>2,37%</b>

**Tabla 76 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Dos eNodeB, Disponibilidad, MTBF y Probabilidad de Falla**  
Fuente: Grupo Consultor

- 7 municipios de los departamentos de San Andrés, Boyacá, Quindío, Caquetá, Cundinamarca y Nariño requieren **tres** eNodeB:
  - 3 municipios presentan alta vulnerabilidad sísmica o erupciones volcánicas: Tumaco, Armenia y Duitama.
  - 4 municipios no presentan alta vulnerabilidad a eventos sísmicos o volcánicos: San Andrés, Providencia, Florencia y Soacha.
  - Los departamentos con municipios que presentan alta vulnerabilidad sísmica o volcánica son Boyacá, Quindío y Nariño.
  - En los municipios que requieren tres eNodeB hay dos tipos de disponibilidad de la red Metropolitana que están moduladas por el tipo de tendido de la fibra (aérea: 99,6% y canalizada: 99,9%) y por el tipo de switch concentrador, en los casos que se requiere, usamos un switch concentrador con disponibilidad de 99,995% o por defecto disponibilidad de 99,99%. La disponibilidad de la red Metropolitana es entonces de 99,985%, pudiéndose presentar una falla casi cada 27.000 horas aproximadamente y con una probabilidad de falla de 2,66% en un mes; Una disponibilidad de 99,9986% pudiendo fallar cada 74.741 horas con una probabilidad de falla de 0,96% en un mes o una disponibilidad de 99,9873% pudiéndose presentar una falla casi cada 32.668 horas aproximadamente y con una probabilidad de falla de 2,25% en un mes.

Número de eNodeB	Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica			Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	Total			
San Andrés	2		1	99,9873%	32.668	2,25%
Boyacá		1		99,9850%	26.698	2,66%
Quindío		1	1	99,9986%	74.741	0,96%
Caquetá	1		1	99,9850%	26.698	2,66%
Cundinamarca	1		1	99,9986%	74.741	0,0.96%
Nariño		1	1	99,9850%	20.056	2,66%
<b>Total Cabeceras con 3 eNodeB</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>99,9884%</b>	<b>42.130</b>	<b>1,95%</b>

**Tabla 77 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Tres eNodeB, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla**

Fuente: Grupo Consultor

- 2 municipios de los departamentos de La Guajira y Boyacá requieren **cuatro** eNodeB:
  - 1 municipio presenta alta vulnerabilidad sísmica o a erupciones volcánicas: Tunja.
  - 1 municipio no presenta alta vulnerabilidad a eventos sísmicos o volcánicos: Riohacha.
  - La disponibilidad de la red Metropolitana en los municipios que requieren cuatro eNodeB es de 99,98%, pudiéndose presentar una falla casi cada 20.000 horas y con una probabilidad de falla de 3,53% en un mes.

Número de eNodeB	Vulnerabilidad Sísmica o Volcánica			Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. De Falla Metro
	NO	SI	Total			
La Guajira	1		1	99,9801%	20.056	3,53%
Boyacá		1	1	99,9801%	20.056	3,53%
<b>Total Cabeceras con 4 eNodeB</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>99,9801%</b>	<b>20.056</b>	<b>3,53%</b>

**Tabla 78 Departamento y Cantidad de Municipios que Requieren Cuatro eNodeB, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla**

Fuente: Grupo Consultor

### Municipios con más de un anillo de fibra de 1 Gbps

Aquí se clasifican aquellos municipios que tienen solamente anillos de capacidad de 1 Gbps pero que tienen más de un anillo. Cada localidad debe tener un switch enrutador central IP-MPLS con tantas interfaces Este y Oeste de 1 Gbps como anillos posea la localidad. El switch posee algoritmos de recuperación ante interrupción de alguno de los brazos del anillo por debajo de los 50 mseg. Son 15 los municipios que poseen anillos de esta naturaleza, los cuales pertenecen a los siguientes departamentos: Casanare, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Sucre, Risaralda, Cauca, Meta, Bolívar Huila, Tolima, Atlántico, Caldas, Nariño, Santander. De

estos 15 municipios, siete presentan alta vulnerabilidad sísmica o a erupciones volcánicas. En la tabla siguiente se muestra la cantidad de eNodeB por anillo, la disponibilidad de la red Metropolitana, el MTBF y la probabilidad de falla de la red metropolitana:

Municipio	Cantidad de Anillos de 1 Gbps	Total eNodeB	Disponibilidad Metro	MTBF Metro	Prob. Falla Metro
Yopal	2	5	99,9900%	39.988	1,78%
Valledupar	2	6	99,990%	39.992	1,78%
Montería	2	6	99,990%	39.992	1,78%
San José De Cúcuta	2	6	99,990%	39.992	1,78%
Sincelejo	2	6	99,990%	39.992	1,78%
Pereira	2	7	99,995%	79.972	0,90%
Popayán	2	8	99,995%	79.991	0,90%
Villavicencio	2	8	99,990%	39.980	1,78%
Cartagena de Indias	3	10	99,995%	79.996	0,90%
Neiva	3	10	99,995%	79.996	0,90%
Ibagué	3	11	99,995%	79.996	0,90%
Barranquilla	3	12	99,995%	79.996	0,90%
Manizales	3	12	99,995%	79.996	0,90%
San Juan De Pasto	3	12	99,995%	79.996	0,90%
Bucaramanga	3	12	99,995%	79.996	0,90%

**Tabla 79 Municipios con Más de un Anillo de 1 Gbps, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla**

Fuente: Grupo Consultor

De la anterior tabla, se puede observar que la disponibilidad más baja es de 99,99%, en razón a que el switch concentrador posee una disponibilidad de 99,99%. En esas localidades donde se cuenta con esa disponibilidad se presentará una falla cada 40.000 horas aproximadamente lo que da una probabilidad de falla de 1,78% en el periodo de un mes.

#### Municipios con anillos de fibra de 10 Gbps

Aquí se clasifican aquellos municipios que tienen anillos de capacidad de 10 Gbps. Cada localidad debe tener un switch enrutador central IP-MPLS con tantas interfaces Este y Oeste de 10 Gbps como anillos posea y con algoritmos de recuperación ante interrupción de alguno de los brazos del anillo por debajo de los 50 mseg. Los departamentos que presentan 4 municipios con estas características son: Magdalena, Valle, Antioquia y Distrito Capital. De estos municipios, ninguno presenta alta vulnerabilidad sísmica o a erupciones volcánicas.

- El municipio de Santa Marta en Magdalena, presenta una característica particular, debido a que por su relieve, la localidad se encuentra dividida en dos zonas, la zona de



El Rodadero y la zona de la ciudad antigua. Por lo tanto se requiere formar anillos independientes para cada una de ellas:

- La zona de El Rodadero será atendida con un anillo de 1 Gbps que posee dos eNodeB y un switch concentrador con una disponibilidad es de 99,99%. La disponibilidad de ese anillo es de 99,99%, pudiendo fallar casi cada 39.000 horas con una probabilidad de 1,82% en un mes.
- En el centro de la ciudad hay dos anillos de 10 Gbps cada uno con 6 eNodeB y un switch concentrador de 99,999% de disponibilidad. La disponibilidad de cada anillo es de 99,979%, pudiendo presentarse una falla casi cada 19.000 horas en cada anillo, equivalente a una probabilidad de falla de 3,68% en un mes. La disponibilidad total de la red Metropolitana en el centro de la ciudad es de 99,995%, pudiendo fallar cada 398.266 horas, es decir con una probabilidad de falla de 0,18% en un mes.
- El municipio de Santiago de Cali requiere dos anillos de 10 Gbps con 11 y 12 eNodeB respectivamente y un switch concentrador con disponibilidad de 99,999%. La disponibilidad de la red metropolitana es de 99,999%, pudiendo presentarse una falla cada 400.000 horas aproximadamente, equivalente a una probabilidad de falla de 0,18% en un mes.
- El municipio de Medellín requiere de 27 eNodeB distribuidos en 3 anillos de 10 Gbps, cada uno de 9 eNodeB y con un switch concentrador que posee una disponibilidad de 99,999%. La disponibilidad Metropolitana es de 99,999% pudiendo presentarse una falla cada 399.996 horas, con una probabilidad de falla de 0,18% en un mes.
- El municipio de Bogotá requiere 50 eNodeB distribuidos en 4 anillos de 10 Gbps. Para este caso particular se consideró que dos anillos posean 13 eNodeB y los otros dos anillos posean 12 eNodeB. La disponibilidad Metropolitana para esta ciudad es 99,995% pudiendo presentarse una falla de toda la ciudad cada 885.000 horas aproximadamente con una probabilidad de falla de 0,08%.

A continuación se muestra la cantidad de anillos de 1 Gbps y de 10 Gbps, la cantidad de eNodeB en cada anillo, la disponibilidad de la red Metropolitana, el MTBF y la probabilidad de falla de la red metropolitana para los municipios anteriormente mencionados:

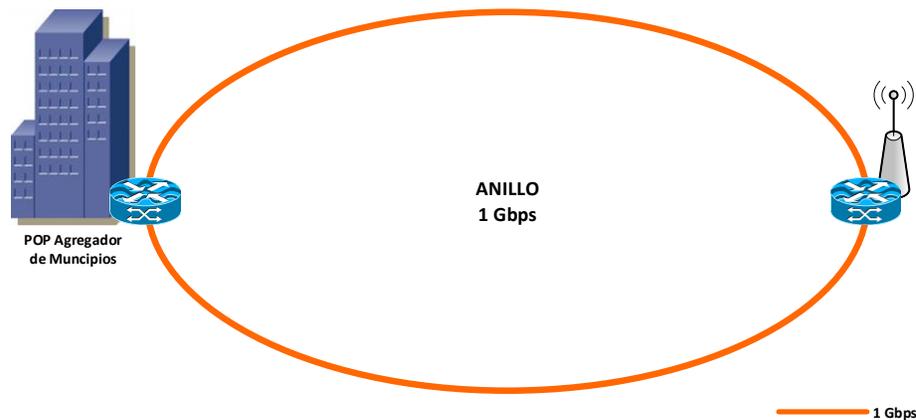
Municipio	Anillos de 1 Gbps	Anillos de 10 Gbps	Total eNodeB	Disponib. Metro	MTBF Metro	Prob. Falla Metro
Santa Marta	1	2	14	99,995%	398.266	0,18%
Santiago de Cali	0	2	23	99,999%	399.871	0,18%
Medellín	0	3	27	99,998%	399.996	0,18%
Bogotá D.C.	0	4	50	99,995%	884.595	0,08%

Tabla 80 Municipios que Requieren Anillos de 10 Gbps, Disponibilidad MTBF y Probabilidad de Falla

Fuente: Grupo Consultor

## 9.7.2 Componentes de la RNTE

Como resultado de lo indicado en el anterior numeral, la RNTE estará compuesta por 1.366 eNodeB, de los cuales el tráfico de 1.252 se transportan sobre anillos de 1 Gbps y el resto, 114, se transportan sobre anillos metropolitanos de 10 Gbps. Los eNodeB estarán ubicados en 1.103 cabeceras municipales del país, incluyendo aquellos municipios que el Grupo Consultor, conoce no van a tener conectividad de fibra dentro del plan vive digital en desarrollo por Azteca Comunicaciones.



**Ilustración 77 Anillo 1 Gbps**  
Fuente: Grupo Consultor

En todas las cabeceras municipales con excepción de las capitales de departamento el Switch agregador de los anillos metropolitanos se co-localiza en el POP del operador que transportará el tráfico hacia la capital del departamento (Azteca Comunicaciones). En estos casos no se requiere de ningún enrutador separado para conectarse con el POP del operador.

### Switches a ubicar en los nodos eNodeB

En el diseño se han utilizado dos tipos de switches enrutadores, uno ubicado al pie de cada eNodeB que posee una interface eléctrica lado usuario de 1 Gbps para conectar el eNodeB, e incorporarlo al anillo. Cuando el anillo tiene una capacidad de 1 Gbps el switch enrutador tiene interfaces tanto Este como Oeste de 1 Gbps. Cuando el anillo tiene capacidad de 10 Gbps las interfaces las interfaces Este y Oeste son de 10 Gbps. Ambos tipos de switches poseen una disponibilidad de 99,99%.

### Switches Agregadores Metropolitanos

En todas las localidades existen switches agregadores que agregan todos los anillos metropolitanos de la localidad, estos los hemos clasificado de la siguiente manera:



- *Switches Agregadores Metropolitanos Tipo A:* Son switches que agregan los anillos de la red metropolitana de la localidad que tienen una disponibilidad del 99,99% y poseen interfaces para formar anillos de 1 Gbps.
- *Switches Agregadores Metropolitanos Tipo B:* Son switches que agregan los anillos de la red metropolitana de la localidad con disponibilidad de 99,995% y poseen interfaces tanto de 1 Gbps como de 10 Gbps para formar anillos.
- *Switches Agregadores Metropolitanos Tipo C:* Son switches grandes con calidad Carrier Class, que gracias a su redundancia en fuente y CPU poseen una disponibilidad de 99,999%. Soportan todo tipo de interfaces para formar anillos.

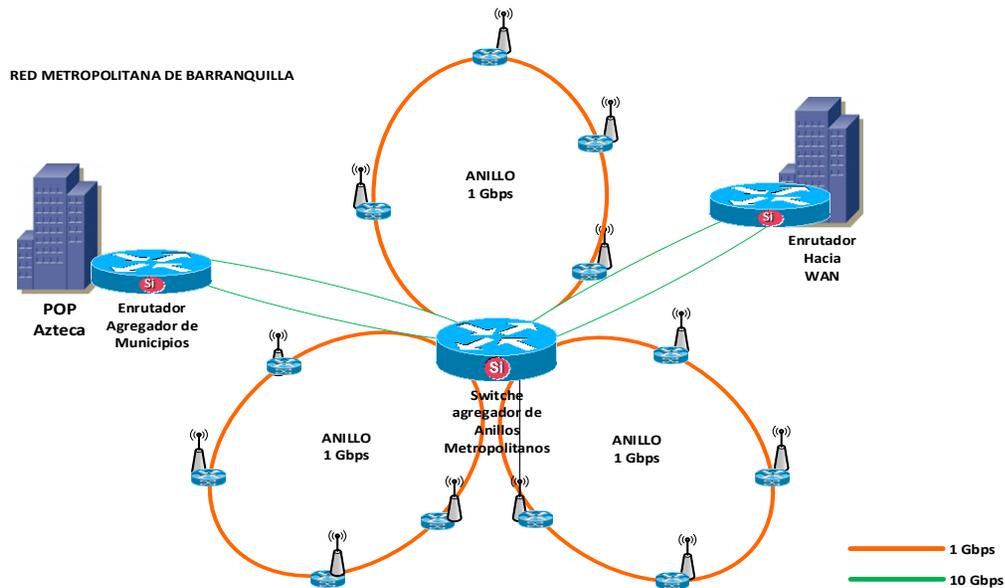
#### Switches enrutadores:

- *Agregadores del tráfico de los municipios:* En las ciudades capitales de departamento se establecerá un anillo entre en el switch agregador de los anillos metropolitanos de la ciudad y el POP del operador que suministra la conectividad y agregación del tráfico de los municipios. En consecuencia en cada capital, con algunas excepciones, se ubica un switch enrutador en el POP del operador, llamado *enrutador agregador de municipios*.
- *WAN:* Adicionalmente en todas las capitales de departamento, se forma una anillo entre el switch agregador metropolitano y otro enrutador co-localizado en las instalaciones del operador de la red WAN, encargado de transportar el tráfico hacia el Core de la red en Bogotá, llamado *enrutador hacia la WAN*.

Cada enrutador agregador de municipios tiene cuatro interfaces, dos para conectarse con el enrutador del operador que agrega el tráfico de los municipios y dos más para formar un anillo con el switch enrutador agregador de los anillos de metropolitanos.

Cada enrutador de la red WAN tiene cuatro interfaces, dos para formar un anillo con el switch enrutador agregador de la red metropolitana y dos para conectarse con enrutador del operado de la red WAN.

En la siguiente grafica se muestra la red metropolitana de Barranquilla para ilustrar lo anteriormente descrito.



**Ilustración 78 Anillos 1 Gbps**  
Fuente: Grupo Consultor

Como resultado del diseño se requiere la siguiente cantidad de switches para ser instalados en los eNodeB:

Descripción	eNodeB		Interfaz 1 Gbps		Interfaz 10 Gbps	
	Cantidad	Disponibilidad	Este	Oeste	Este	Oeste
<b>Switch eNodeB 1 Gbps</b>	1252	99,99%	1	1		
<b>Switch eNodeB 10 Gbps</b>	114	99,99%			1	1

**Tabla 81 eNodeB requeridos para la RNTE**  
Fuente: Grupo Consultor

El diseño también arroja el siguiente inventario de componentes del networking de la red por ciudad capital.

SWITCHE AGREGADOR											
Capital	No. Nodos	Agregador Red Metro	No. Interfaz de Anillo 1Gbps	No. Interfaz de Anillo 10 Gbps	No. Interfaz 100Gbps	Alojado POP	Interfaz hacia Switches Municipios	Velocidad Switches Municipios (Gbps)	Interfaz WAN	Vel. WAN (Gbps)	Interfaz CAE (100 Mbps)
<b>MEDELLIN</b>	1	Tipo C		6		NO	2	10	2	10	2
<b>ARAUCA</b>	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
<b>BARRANQUILLA</b>	1	TIPO C	6			NO	2	10	2	10	2
<b>CARTAGENA DE INDIAS</b>	1	TIPO C	6			NO	2	10	2	10	2
<b>TUNJA</b>	1	TIPO C	2			NO	2	10	2	10	2



SWITCHE AGREGADOR											
Capital	No. Nodos	Agregador Red Metro	No. Interfaz de Anillo 1Gbps	No Interfaz de Anillo 10 Gbps	No Interfaz 100Gbps	Alojado POP	Interfaz hacia Switche Municipios	Velocidad Switche Municipios (Gbps)	Interfaz WAN	Vel. WAN (Gbps)	Interfaz CAE (100 Mbps)
MANIZALES	1	TIPO C	6			NO	2	10	2	10	2
FLORENCIA	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
YOPAL	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
POPAYAN	1	TIPO C	4			NO	1+1	1	2	10	2
VALLEDUPAR	1	TIPO C	4			NO	2	10	2	10	2
QUIBDO	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
MONTERIA	1	TIPO C	4			NO	1+1	1	2	10	2
SAN JOSE DEL GUAVIARE	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
NEIVA	1	TIPO C	6			NO	1+1	1	2	10	2
RIOHACHA	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
SANTA MARTA - Rodadero	1	TIPO A	2	2		NO	1+1	1			2
SANTA MARTA - Centro	1	TIPO C		4		NO	2	10	2	10	2
VILLAVICENCIO	1	TIPO C	4			NO	2	10	2	10	2
SAN JUAN DE PASTO	1	TIPO C	6			NO	2	10	2	10	2
SAN JOSE DE CUCUTA	1	TIPO C	4			NO	2	10	2	10	2
MOCOA	1	TIPO A	2			SI	1+1	1	2	1	2
ARMENIA	1	TIPO C	6			NO	1+1	1	2	1	2
PEREIRA	1	TIPO C	6			NO	2	1	2	1	2
BUCARAMANG A	1	TIPO C	6			NO	2	10	2	10	2
SINCELEJO	1	TIPO C	4			NO	2	10	2	10	2
IBAGUE	1	TIPO C	6	2		NO	2	10	2	10	2
SANTIAGO DE CALI	1	TIPO C		4		NO	2	10	2	10	2
SAN ANDRES ISLAS	1	TIPO C	2			SI	1+1	1	1+1	1	2

Tabla 82 Componentes en el Switch Agregador de las Capitales de Departamento

Fuente: Grupo Consultor

Para el caso de los enrutadores agregadores de las capitales departamentales y los enrutadores hacia WAN los componentes del networking, se listan a continuación.



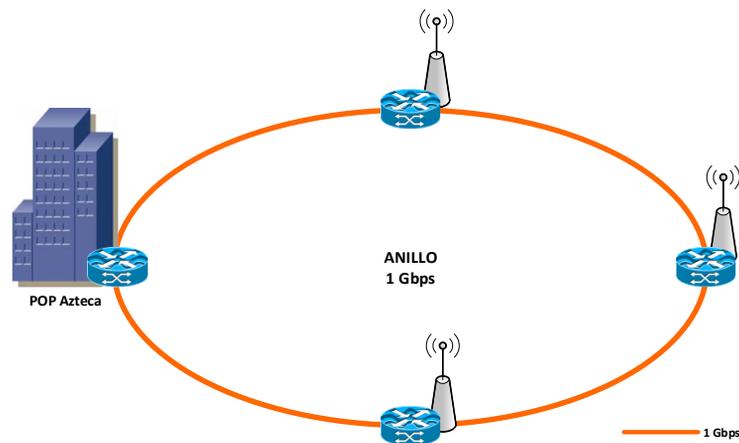
ENRUTADOR AGREGADOR DE MUNICIPIOS					ENRUTADOR HACIA WAN			
Capital de Departamento	Interfaz de Entrada	Velocidad Interfaz de Entrada (Gbps)	Interfaz de Salida	Velocidad Interfaz de Salida (Gbps)	Interfaz de Entrada	Velocidad Interfaz de Entrada (Gbps)	Interfaz de Salida	Velocidad Interfaz de Salida (Gbps)
MEDELLIN	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
ARAUCA	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
BARRANQUILLA	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
CARTAGENA DE INDIAS	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
TUNJA	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
MANIZALES	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
FLORENCIA	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
YOPAL	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
POPAYAN	2	10	1+1	10	1	10	1+1	10
VALLEDUPAR	2	10	1+1	10	1	10	1+1	10
QUIBDO	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
MONTERIA	2	10	1+1	10	1	10	1+1	10
SAN JOSE DEL GUAVIARE	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
NEIVA	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
RIOHACHA	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
SANTA MARTA - Rodadero	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SANTA MARTA - Centro	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
VILLAVICENCIO	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
SAN JUAN DE PASTO	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
SAN JOSE DE CUCUTA	2	10	1+1	10	2	10	1+1	10
MOCOA	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	1+1	1
ARMENIA	2	1	1+1	1	2	1	1+1	1
PEREIRA	2	1	1+1	1	2	1	1+1	1
BUCARAMANGA	2	10	1+1	10	2	1	1+1	10
SINCELEJO	2	10	1+1	10	2	1	1+1	10
IBAGUE	2	10	1+1	10	2	1	1+1	10
SANTIAGO DE CALI	2	10	1+1	10	2	1	1+1	10
SAN ANDRES ISLAS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 83 Componentes del Enrutador Agregador de las Cabeceras Municipales y del Enrutador hacia WAN de la Ciudad Metropolitana  
Fuente: Grupo Consultor

El diseño arroja que en 1.071 cabeceras municipales no capitales, las redes metropolitanas están constituidas por un solo anillo de acceso de la siguiente manera:

- 1050 cabeceras municipales poseen un anillo de 1 Gbps con una sola eNodeB, el switch agregador está co-localizado en el nodo del operador de la red nacional de fibra óptica del Plan Vive Digital, es del tipo A y posee dos interfaces ópticas de 1 Gbps y 1+1 interfaces de 1 Gbps para el lado del operador.
- 17 cabeceras municipales poseen un anillo de 1 Gbps con dos nodos eNodeB, el switch agregador está co-localizado en el nodo del operador de la red nacional de fibra óptica del Plan Vive Digital, es del tipo A y posee dos interfaces ópticas de 1 Gbps y 1+1 interfaces de 1 Gbps para el lado del operador.
- 4 cabeceras municipales poseen un anillo de 1 Gbps con tres nodos eNodeB, el switch agregador esta co-localizado en el nodo del operador de la red nacional de fibra óptica del Plan Vive Digital, es del tipo A y posee dos interfaces ópticas de 1 Gbps y 1+1 interfaces de 1 Gbps para el lado del operador.

En la siguiente ilustración se muestra el caso de las 4 cabeceras municipales que tienen anillos con 3 eNodeB



**Ilustración 79 Cabeceras con 3 eNodeB**  
Fuente: Grupo Consultor

La distribución de eNodeB y de anillos tanto de 1 Gbps o de 10 Gbps por departamento se muestra a continuación:

Departamento	Municipios	Anillos 1 Gbps	Anillos 10 Gbps	eNodeB Anillo @ 1GB	eNodeB Anillo @ 10GB
<b>Amazonas</b>	2	2	0	2	
<b>Antioquia</b>	125	124	3	129	27
<b>Arauca</b>	7	7	0	7	
<b>Atlántico</b>	23	25	0	35	
<b>Bolívar</b>	46	48	0	56	
<b>Boyacá</b>	123	123	0	129	



Departamento	Municipios	Anillos 1 Gbps	Anillos 10 Gbps	eNodeB Anillo @ 1GB	eNodeB Anillo @ 10GB
<b>Caldas</b>	27	29	0	38	
<b>Caquetá</b>	16	16	0	18	
<b>Casanare</b>	19	20	0	23	
<b>Cauca</b>	42	43	0	49	
<b>Cesar</b>	25	26	0	31	
<b>Choco</b>	31	31	0	31	
<b>Córdoba</b>	30	31	0	35	
<b>Cundinamarca</b>	116	116	0	119	
<b>Distrito Capital</b>	1	0	4	0	50
<b>Guainía</b>	1	1	0	1	
<b>Guaviare</b>	4	4	0	4	
<b>Huila</b>	37	39	0	46	
<b>La Guajira</b>	15	15	0	19	
<b>Magdalena</b>	30	30	2	43	12
<b>Meta</b>	29	30	0	36	
<b>Nariño</b>	64	66	0	77	
<b>Norte Santander</b>	40	41	0	45	
<b>Putumayo</b>	13	13	0	13	
<b>Quindío</b>	12	12	0	14	
<b>Risaralda</b>	14	15	0	21	
<b>San Andrés</b>	2	2	0	6	
<b>Santander</b>	87	89	0	100	
<b>Sucre</b>	26	27	0	31	
<b>Tolima</b>	47	49	0	57	
<b>Valle</b>	42	41	2	44	23
<b>Vaupés</b>	3	3	0	3	
<b>Vichada</b>	4	4	0	4	
<b>Total General</b>	<b>1.103</b>	<b>1.122</b>	<b>11</b>	<b>1.266</b>	<b>112</b>

Tabla 84 Distribución de eNodeB y Anillos por Departamento

Fuente: Grupo Consultor

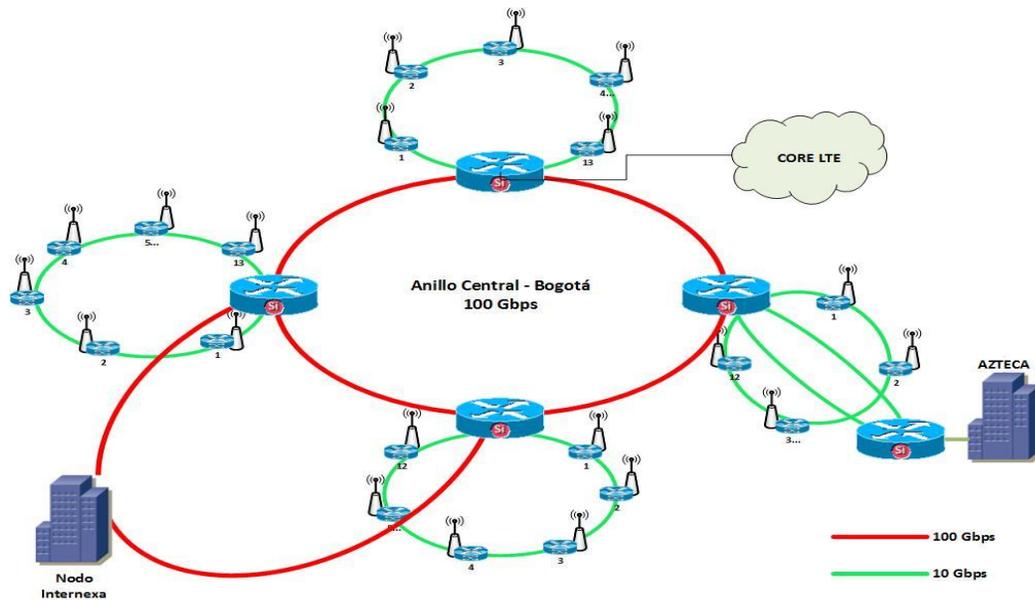
### 9.7.3 Red Metropolitana de Bogotá y sus componentes de Networking

La red metropolitana de Bogotá por sus características de tráfico y el número de eNodeB (cincuenta) amerita una topología que garantice una mayor robustez, es decir, una mayor disponibilidad del servicio. Por ello se propone hacer un anillo central de 100 Gbps que recorre toda la ciudad, formado por cuatro nodos y cuatro tramos de fibra óptica totalmente canalizados. Cada nodo es del tipo Carrier Class, es decir, con fuentes y CPU redundantes que garantizan una disponibilidad de 99,999%. De cada nodo del anillo se desprende un anillo de 10 Gbps que agrega el tráfico de los eNodeB de su área de influencia. Configurándose en total un anillo

central con cuatro nodos, de cada uno de los cuales se desprende un anillo agregador nodos eNodeB, dos de estos anillos transportan el tráfico de doce eNodeB cada uno y los otros dos el tráfico de 13 eNodeB cada uno.

El tráfico agregado procedente de todas las capitales del país lo entregaría Internexa en su nodo de Bogotá, por lo que se debe establecer un enlace con una topología en arco formado por dos nodos del anillo central de Bogotá y un enrutador de la red co-localizado en el nodo de Internexa en Bogotá.

De otro de los nodos del anillo central se forma otro anillo que involucra el nodo donde el operador Azteca Comunicaciones entregaría el tráfico agregado del departamento de Cundinamarca. Adicionalmente de uno de los nodos del anillo central se agrega el tráfico hacia el Core de LTE. Lo anteriormente mencionado se muestra en la siguiente ilustración:



**Ilustración 80 Red Metropolitana de Bogotá**  
Fuente Grupo Consultor

Por la complejidad de Bogotá el inventario de los componentes del networking para el Switch agregador, se lista en la siguiente tabla.



**SWITCHE AGREGADOR**

Capital	No. Nodos	Agregado Red Metro	No Interfaz de Anillos 10 Gbps	No Interfaz de Anillo Central	Velocidad Interfaz de Anillo Central (Gbps)	Alojado POP	Interfaz hacia Switches Mpios	Velocidad Switches Mpios (Gbps)	Interfaz WAN	Velocidad WAN (Gbps)	Interfaz CAE (100 Mbps)
BOGOTA 1	1	TIPO C	2	2	100	NO			1	100	2
BOGOTA 2	1	TIPO C	2	2	100	NO			1	100	
BOGOTA 3	1	TIPO C	2	2	100	NO			1+1	100	
BOGOTA 4	1	TIPO C	2	2	100	NO	2	10			

**Tabla 85 Componentes en el Switch Agregador de la Red Metropolitana de Bogotá**

Fuente: Grupo Consultor

Es de anotar que el Nodo 3 se conecta al Core de LTE con una interfaz WAN 1+1 de 100 Gbps.

Para el caso de los enrutadores agregadores de municipio y el enrutador hacia WAN los componentes del networking, se listan a continuación.

Capital	No. Nodos	ENRUTADOR AGREGADOR DE MUNICIPIOS				ENRUTADOR HACIA WAN			
		Interfaz de Entrada	Velocidad Interfaz de Entrada (Gbps)	Interfaz de Salida	Velocidad Interfaz de Salida (Gbps)	Interfaz de Entrada	Velocidad Interfaz de Entrada (Gbps)	Interfaz de Salida	Velocidad Interfaz de Salida (Gbps)
BOGOTA 1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	1	100	1+1	100
BOGOTA 2	1					1	100		
BOGOTA 3	1								
BOGOTA 4	1	2	10	1+1	10				

**Tabla 86 Componentes del Enrutador Agregador de Municipios y del Enrutador hacia WAN de la Red Metropolitana de Bogotá**

Fuente: Grupo Consultor

Al switch agregador 1 y 2 de la red metropolitana de Bogotá se interconecta con un único enrutador hacia la red WAN con dos interfaces de 100 Gbps de entrada y una interfaz de salida 1+1 de 100 Gbps.



## 10 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RNTE

Las normas requeridas para el desarrollo de las redes de telecomunicaciones lideradas por la UIT no se han limitado exclusivamente a la parte técnica o esencial de cada tecnología, también han extendido su alcance a la administración, operación y mantenimiento de las redes, definiendo el concepto de Red de Gestión de Telecomunicaciones (RGT o TMN – Telecommunication Management Network).

Tomando el concepto RGT como punto de partida, se creó el TM Forum, foro internacional donde convergen los diferentes actores en el sector de las telecomunicaciones (Operadores de redes de servicios de telecomunicaciones, proveedores de equipos y/o soluciones para redes de Telecomunicaciones, desarrolladores de soluciones para la gestión de redes, etc.), con el objeto de desarrollar un marco de trabajo que recoge todos conceptos definidos por la UIT y los complementa estableciendo un modelo de procesos aplicable en cualquier operador de redes de telecomunicaciones y que puede apuntar a una solución soportada en plataformas que los automatice.

El TM Forum desarrolló el modelo eTOM - enhanced Telecom Operations Map, que es un marco de referencia de procesos de negocio que guía el desarrollo y gestión de procesos claves en un proveedor de servicios de telecomunicaciones, por el que deben guiarse los PRST para la operación y mantenimiento de sus redes y que es la sugerida por el Grupo Consultor en su versión actualizada al momento de inicio de operación (Al momento de esta consultoría la versión vigente es la 12.5).

Otro estándar importante y recomendado por el Grupo Consultor es la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información, frecuentemente abreviada ITIL (Information Technology Infrastructure Library), es un conjunto de conceptos y prácticas para la gestión de servicios de TI, el desarrollo de TI y las operaciones relacionadas con la misma. En general, brinda un conjunto de buenas prácticas detallado, consistente y coherente que se centran en la Gestión de los servicios TI. Promueve un enfoque de calidad para conseguir la eficacia y eficiencia del negocio en el uso de TI. Se ocupa de la entrega y el soporte de los servicios TI que corresponden con los requisitos del negocio de la organización.

Uno de los temas más importantes para las empresas es la reducción de sus costos operativos, la cual está enfocada en los siguientes temas:

- Outsourcing total de la red de acceso, es decir en una red LTE el outsourcing de los eNodeB.
- Outsourcing de operación y mantenimiento de toda la red.
- Compartición de infraestructura de sitios.
- Optimización de la infraestructura.
- Y optimización de los recursos internos.



Los PRST tienen dos opciones de contratación para la operación y mantenimiento de sus redes de telecomunicaciones: directa o indirecta. Siguiendo los lineamientos internacionales, el Grupo Consultor considera que la operación y mantenimiento de la RNTE, en cualquiera de las formas que resulte, sea por subasta, implementación directa, o en su fase inicial de fortalecimiento de las redes existentes, debe hacerse en outsourcing, o contratación indirecta.

Para la propuesta es que la implementación de la red la realice el operador al que se le asigne un el espectro radioeléctrico correspondiente, dentro de las obligaciones debe incluirse la operación y mantenimiento de la RNTE, por el tiempo que dure la concesión del espectro.

Para las soluciones planteadas sobre las redes existentes, la operación debe recaer sobre los PRST directamente, ya que son implementaciones realizadas en sus redes, por lo que las soluciones de PoC, priorización de tráfico, identificación y localización de abonados, deben ser operadas y mantenidas por los mismos PRST dueños de las redes de telecomunicaciones.

Ahora bien, muy seguramente los PRST, siguiendo este mismo criterio realizarán la operación y mantenimiento mediante un modelo de outsourcing de O&M (Operación y Mantenimiento), en este modelo el operador delega la operación y mantenimiento de toda su red a una firma especializada en ese campo. Típicamente las firmas encargadas de desarrollo del modelo de outsourcing de O&M son los propios fabricantes de equipos de comunicaciones en particular equipos de redes móviles, tales como Ericsson, Huawei, ZTE, Alcatel Lucent, etc., empresas que han incursionado en este campo en razón a la alta competencia que enfrentan en el mercado de la venta de equipos. Competencia que se ha agudizado con la presencia cada vez mayor de las firmas chinas dentro del mercado de fabricantes de equipo.

Inicialmente los operadores móviles entregaban el outsourcing de su red de telecomunicaciones de manera fragmentada, es decir, por áreas de especialización por ejemplo una firma especializada en la venta de equipos electrónicos se encargaba del mantenimiento de dichos equipos y del aprovisionamiento de combustibles de las plantas eléctricas de las estaciones. Otra firma especializada en obras civiles se encargaba del mantenimiento de las locaciones y de las torres. Otra firma se encargaba del mantenimiento de la parte activa tales como equipamiento de backhaul, y de radiobases. Sin embargo este modelo requería mucha capacidad de coordinación por parte del operador quien debía coordinar el acceso a sus instalaciones a múltiples grupos en diferentes periodos de tiempo. Al mismo tiempo que la responsabilidad de la operación se diluía en muchos actores impactando el SLA del operador.

Actualmente la tendencia es la de seleccionar a un tercer operador que se encargue de las diferentes partes todo el outsourcing de operación y mantenimiento de la red. Recientemente el operador Comcel en Colombia ha seleccionado a Huawei para el desarrollo de las actividades integradas de O&M a nivel nacional. Típicamente este tipo de contrato se valora por una suma fija mensual por sitio o radiobase del operador, precio que incluye visitas obligatorias para



mantenimiento preventivo. Los contratos de mantenimiento típicamente no incluyen en el precio los repuestos, los cuales deben ser suministrados por el operador.

Todo lo anteriormente manifestado permite al operador móvil enfocarse en las actividades del negocio tales como comercialización, estrategia de retención de clientes, creación de nuevos servicios, etc.

Para el caso de la Red de Radio en banda HF y VHF, la situación es completamente similar, entregar la operación y mantenimiento de estas redes en outsourcing, lo cual permite dedicarse al core de su negocio: la atención y prevención de desastres y dejar a los expertos, la operación y mantenimiento de las diferentes redes y servicios de telecomunicaciones.

Los contratos de O&M, típicamente no especifican una planta de personal mínima, en el contrato se especifican los niveles de servicio que el operador del outsourcing debe cumplir y es el operador de servicio quien define los recursos que debe utilizar para garantizar los niveles de servicio comprometidos.

Los contratos normalmente tienen unas exigencias o condiciones mínimas a cumplir y unos SLA de cumplimiento:

## 10.1 CONDICIONES MÍNIMAS

- Uso de modelos estandarizados vigentes e-TOM e ITIL.
- Certificación por parte del personal en las herramientas de software a utilizar y en los equipos objeto de operación y mantenimiento
- Uso de equipamiento, herramientas y accesorios especializado para las labores de mantenimiento.
- Uso de herramientas de software para controlar inventarios de partes, logística inversa, actividades realizadas por órdenes de trabajo, y todo aquello que permita una gestión al detalle de las actividades de mantenimiento.
- Uso de plataforma de gestión especializadas para las actividades de aprovisionamiento y aseguramiento del servicio.
- Centro de operación de red atendido 7 x 24, los 365 días del año.
- Agentes expertos que asisten remotamente a los ingenieros de campo.
- Centros de contacto con todas las herramientas que permiten optimizar el servicio de llamada (ACD<sup>179</sup>, CTI<sup>180</sup>, herramienta de generación y cierre de tickets).
- Acceso remoto al equipamiento para O&M.
- Sustento logístico para la operación expresado en No. de ingenieros de campo, No. de ingenieros del Help Desk, No. de agentes expertos.

<sup>179</sup> Distribución automática de llamadas

<sup>180</sup> Integración informática a Telefonía



- Bodegas para el almacenamiento de equipamiento y repuesto, situadas estratégicamente.
- Transporte seguro del personal, de equipamiento y materiales.

## 10.2 ANS - ACUERDOS DE NIVELES DE SERVICIO

Los acuerdos de niveles de servicio o SLA (de sus siglas en inglés Service Level Agreement), también conocido por las siglas ANS, tienen como objeto, fijar los niveles de calidad del servicio de operación y mantenimiento en este caso. Los ANS son una herramienta que ayuda a ambas partes a llegar a un consenso en términos del nivel de calidad del servicio, en aspectos tales como tiempo de respuesta, disponibilidad horaria, documentación disponible, etc. Básicamente, el ANS establece la relación entre ambas partes: proveedor y cliente. Un ANS identifica y define las necesidades del cliente a la vez que controla sus expectativas de servicio en relación a la capacidad del proveedor, proporciona un marco de entendimiento, simplifica asuntos complicados, reduce las áreas de conflicto y favorece el diálogo ante la disputa.

También constituye un punto de referencia para el proceso de mejora continua, ya que el poder medir adecuadamente los niveles de servicio es el primer paso para mejorarlos y de esa forma aumentar los índices de calidad.

El acuerdo de niveles de servicio debe tener al menos las siguientes componentes:

**Propósito** - describe las razones detrás de la creación del ANS.

**Partes** - describe las partes involucradas en el ANS y sus respectivos roles.

**Período de validez** - define el período de tiempo que el ANS cubrirá.

**Ámbito de aplicación** - define los servicios contemplados en el acuerdo.

**Restricciones** - define las medidas necesarias que deben adoptarse para que los niveles de servicio solicitado se proporcionen.

**Objetivos de nivel de servicio** - los niveles de servicio de los usuarios, y el proveedor del servicio, y por lo general incluyen un conjunto de indicadores de nivel de servicio, como la disponibilidad, rendimiento, fiabilidad, tiempo de repuesta, asertividad, etc.

**Sanciones** - explica lo que sucede en el caso de que el proveedor del servicio de outsourcing tenga un bajo desempeño o sea incapaz de cumplir con los objetivos del SLA.

**Exclusiones** - especifica que no está cubierto por los ANS.

**Administración** - describe los procesos creados en el ANS para conocer y medir sus objetivos y define la entidad encargada de la supervisión de cada uno de los procesos.



Para cada parte constitutiva de la red el operador deberá fijar los niveles de servicio requeridos, que típicamente están correlacionados con los niveles de prioridad que a su vez se relacionan con los niveles de severidad de la falla.

Los niveles de severidad se definen conjuntamente con sus prioridades en el ANS, sin embargo quien califica la severidad de la falla es el propietario de la red a la hora que ocurre un evento de falla. Típicamente la prioridad y la severidad se definen así:

**Prioridad 1 “Crítica”:** Totalmente fuera de servicio o sin acceso al servicio. Falla simultánea sobre la ruta activa y de la protección. Falla parcial en algún punto de la red, que compromete una cantidad de tráfico igual o superior al 25 % de la capacidad configurada en el sistema de gestión por tipo de interfaz (Ejemplo: E1´s, STM-1´s, interfaces Fast o Giga Ethernet).

**Prioridad 2 “Mayor”:** La aplicación puede utilizarse, aunque presenta errores que impliquen retransmisiones o demoras. Existe caída de tráfico de manera intermitente con una frecuencia menor e igual a dos veces cada hora. Falla parcial en algún punto de la red, que compromete una cantidad de tráfico inferior al 25 % de la capacidad configurada en el sistema de gestión por tipo de interfaz (E1´s, STM-1´s, interfaces Fast o Giga Ethernet).

**Prioridad 3 “Menor”:** Sin impacto sobre el servicio.

Dentro de los ANS el Grupo Consultor destaca las siguientes obligaciones del operador O&M:

- Disponibilidad por nodo: Tiempo de nodo sin servicio en minutos mes
  - $1 - (\text{Tiempo Total (minutos mes)} - \text{tiempo sin servicio}) / \text{Tiempo Total (minutos mes)} \%$ .
- Mantenibilidad por nodo: Tiempo medio de reparación, dado en horas y típicamente zonificado.
- Confiabilidad por nodo: Que opere en un tiempo medio sin falla o un número máximo de fallas en el tiempo.
- Calidad de servicio: que cumpla con los estándares de calidad de la red contratados.

Los ANS deben ser negociados con el operador seleccionados por el período que dure la concesión el Grupo Consultor propone los siguientes valores:

Valores ANS propuestos	Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla	Otras capitales e intermedias	Cabeceras municipales	Cabeceras de difícil acceso
Disponibilidad (%)	99,999%	99,99%	99,90%	99%
Mantenibilidad (horas)	2	4	8	16
Confiabilidad (año)	1	2	3	4

**Tabla 87 Valores de ANS operativos para la RNTE**

Fuente: Grupo Consultor

### 10.2.1 Tiempos de Repuesta para Solución de Fallas

Los tiempos de repuesta para solución de fallas típicos son los siguientes:

TIEMPOS DE RESPUESTAS					
Nivel de Servicio		Garantía			
Soporte	Intercambio de Información		Sitio Web (7 x 24 ), Correo Electrónico		
	Horario de Atención de la Línea de Ayuda del Servicio de Asistencia Técnica y para Casos de Emergencia		7 x 24 x 365		
	<b>Clasificación del Problema</b>		<b>Crítica</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>
	Horario Disponible para el Soporte		7 x 24	7 x 24	5 x 8
	Servicio de Emergencia		7 x 24	—	—
	Tiempo de Respuesta desde la Notificación		<10 minutos	< 15 minutos	< 60 minutos
	Tiempo de Restablecimiento Temporal desde la notificación		< 2 horas	< 4 horas	1 día
	Tiempo Final de Resolución desde la Notificación		Non-Bug Case	12 Horas	5 días
		Bug Case <sup>181</sup>	60 días	90 días	

Tabla 88 Tiempo Típicos de Respuesta

Fuente: Grupo Consultor

### 10.2.2 Mantenimientos Preventivos

Dentro de los ANS se debe contemplar los mantenimientos preventivos de las diferentes partes que constituyen la red indicando la periodicidad y sus ventanas de tiempo para que se realicen sin impacto alto en el desempeño de la red. Todos deben ser programados, salvo que se detecte la ocurrencia inminente de una falla que podría impactar gravemente el servicio.

### 10.2.3 Reportes del Servicio

Una vez se finalice la atención de la falla y se recupere el servicio debe cerrarse el ticket correspondiente con el Centro de Gestión del operador de outsourcing. Por cada emergencia atendida deberá generarse un informe en el que se incluyan los formatos establecidos, un listado detallado de las actividades realizadas, y las recomendaciones y acciones que se sugiera ejecutar en la estación para evitar futuras afectaciones del servicio. Estos informes deberán entregados en medios magnéticos para permitir al Operador su almacenamiento en un servidor. Adicionalmente deberá generarse un informe mensual de seguimiento en el que se especifique el número de atención de emergencias solicitada por operador en el período, cuántos de estos se ejecutaron discriminando si se realizaron en el tiempo definido en el

<sup>181</sup> Casos que necesitan desarrollo de software



anterior SLA y las acciones correctivas que deban ejecutar como resultado de lo encontrado en la realización de dichos trabajos.

### **10.3 OPERACIÓN DEL CORE DE EMERGENCIAS**

El Grupo Consultor considera que el Core de emergencias debe contar con un NOC propio, el centro de operaciones de la red o NOC (Network Operator Center), debe monitorear todos los subsistemas de la red, específicamente los subsistemas de: Core, eNodeB, energía, networking y conectividad backbone de la red. Para la gestión del NOC se requiere contar con un grupo de expertos para cada subsistema y tener en cuenta que las actividades de monitoreo y gestión de la red deben ser de una disponibilidad 7 x 24, los 365 días del año.

El Grupo Consultor considera que debe haber cuatro puestos de trabajo, las 24 horas del día, ocupados por cuatro técnicos que monitorean permanentemente la red y realizan operaciones de nivel 1. Estos técnicos escalan los problemas de los eventos a los ingenieros de segundo y tercer nivel que a su vez, cuando se requiere, escalan los problemas a los fabricantes de las plataformas. A continuación se listan perfiles del personal de segundo y tercer nivel:

- 1 Gerente de NOC.
- 2 Coordinadores Backbone.
- 2 Expertos Core.
- 2 Expertos eNodeB.
- 2 Expertos Networking.
- 2 Expertos Energía.



## 11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Grupo Consultor culminada la fase del diseño de la RNTE, se permite someter a consideración del estado colombiano, las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. En el país realmente no existe una Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia como un conjunto único e integrado con cobertura nacional para servicios de voz y datos. Existen redes de radio aisladas operando en las bandas de VHF, con cubrimiento parcial sobre las zonas del país en particular en las zonas de alta vulnerabilidad, para tales efectos el Grupo Consultor hizo un análisis del cubrimiento de esas redes parciales y propone un plan de fortalecimiento de dicha red, descrito en este documento y que recomendamos debe implementarse muy rápidamente. En síntesis hay que instalar 96 repetidores para complementar la cobertura, es decir para cubrir las zonas oscuras de la cobertura actual e instalar 95 radiobases, cada una en 95 municipios, con el fin de complementar la cobertura de esos municipios.
2. Fortalecer los procesos de operación y mantenimiento de la red de radio en banda HF que es un elemento muy versátil para restablecer comunicaciones muy rápidamente en sitios afectados, en razón a los mecanismos de propagación de la banda, que solo requieren de la intervención de equipos de comunicaciones en los extremos de la comunicación sin necesidad de repetidores intermedios. Si bien es cierto la calidad de la comunicación en HF no es la mejor por lo menos provee un punto de contacto inicial para genera una primera alerta nacional.
3. Asegurar que se promulgue la norma para que todos los PRST prioricen el tráfico de autoridades de atención de emergencias y desastres, durante las emergencias decretadas como tales.
4. El gobierno nacional debe aprovechar la gran cobertura que tienen los operadores móviles en el país con el fin de utilizar dichas redes para los servicios de la Red Nacional de Telecomunicaciones Emergencia. Sin embargo esta red sin la opción de la facilidad de Push to Talk no generaría mucho valor en la operación durante una emergencia, por ello es fundamental que se implemente en las redes móviles celulares la funcionalidad PTT, conocida como PoC y ampliamente utilizada mundialmente. El uso de las redes móviles celulares con esta facilidad podría ser parte de la contraprestación o de las obligaciones de los operadores móviles por el uso del espectro.
5. Es vital para la seguridad de los ciudadanos colombianos que el país cuente con una Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia, basada en tecnologías de punta en particular móvil y de banda ancha con el fin de que sea el soporte de los más modernos aplicativos requeridos para operar durante el ciclo completo de una emergencia: su prevención, operación durante la emergencia y la operación después de la emergencia. No se justifica que un país de cerca de 47 millones de habitantes que habitan en una región



donde se presentan fenómenos climáticos, terremotos, inundaciones, etc. de alto impacto no posea una red moderna de amplia cobertura. Por ello se recomienda desarrollar una red móvil de banda ancha sujeta a los estándares internacionales, operando en la banda del dividendo digital y con un ancho de banda de 15 MHz pareados.

En este ancho de banda debe coexistir una operación comercial que dé prioridad al tráfico de emergencia en las zonas donde se presente una emergencia. Esta modalidad de red garantiza la implementación de la RNTE y su sostenibilidad.

6. En cuanto al diseño los resultados obtenidos están alineados con las bondades de operar en una banda baja como es la de 700 MHz, que permite radio de alcance más grande que sus pares en frecuencias altas al tiempo que el ancho de banda seleccionado permite derivar una alta velocidad de acceso de bajada y de subida. Para cubrir todo el país el diseño requiere 1.366 eNodeB, en contraste TIGO que es el operador más pequeño del país y que tiene 6.6 millones de usuarios requiere 3.401 radiobases para satisfacer el tráfico de sus usuarios.

El mismo operador TIGO requiere de 558 radiobases para atender el tráfico de la ciudad de Bogotá operando en la banda de 1900 MHz, la RNTE operando en la banda de 700 MHz, tan solo requiere 50 eNodeB. Se podría argumentar que TIGO maneja mucho más tráfico sin embargo la banda de 700 MHz operando con anchos de banda de 15 MHz el tráfico pico teórico de bajada puede ser cercano a las 200 Mbps, gracias a los densos formatos de modulación que el estándar de LTE utiliza.

7. Si se quisiera cubrir inicialmente el 80% de la población colombiana RNTE en su versión LTE, solo se requeriría 528 eNodeB en 267 municipios del país. En contraste en dichas poblaciones Comcel tiene 4.073 radiobases, Movistar 2.154, TIGO 2.816. Evidenciándose la economía que introduce el gran alcance y el ancho de banda de la operación de la RNTE.
8. El ancho de banda de 15 MHz, no solo permite la operación holgada de la RNTE si no que prácticamente el operador comercial dispondría de más de 10 MHz para comercializar sus servicios de forma masiva. Este ancho de banda es el que posee el operador líder de usuarios LTE en el mundo<sup>182</sup>, Verizon Wireless, que opera en el canal 13 de la canalización americana del Dividendo Digital.
9. El Grupo Consultor está recomendando que los terminales de LTE sean multi-banda y que operen también en 3G y 2G, esto habilita la operación de los usuarios de la RNTE prácticamente en todo el país donde opere la red LTE o donde opere la red móvil celular. El Grupo Consultor Idate<sup>183</sup> predice que el 80% de los dispositivos de LTE en el año 2014 soportará la tecnología 3G y en la mayoría de los casos la 2G.

---

<sup>182</sup> Global LTE Forecast. Digiworld News 630. Barcelona 25th february 2013.

<sup>183</sup> Global LTE Forecast. Digiworld News 630. Barcelona 25th february 2013.



10. La operación comercial de la red LTE para emergencias se debe complementar con un Core específico de emergencia que incluye el PTT como aplicación principal y las facilidades de asignación de prioridades estáticas y dinámicas como lo requiere la RNTE.
11. Las especificaciones técnicas del Core de la RNTE han sido estudiadas profundamente por el gobierno estadounidense y están publicadas en [www.npstco.org](http://www.npstco.org), las cuales se pueden ajustar para el caso específico de Colombia y de las cuales se ha incluido en este documento lo más relevante.
12. Para la etapa de la implementación y puesta en marcha se recomienda la definición, divulgación y simulación recurrente de los planes de contingencia, BCP, (Business Continuity plan), y procesos que deben activarse en la red en caso de presentarse diversos eventos que requieran utilizar las diferentes opciones de red y contingencias previstas:
  - a) Red LTE.
  - b) Redes públicas fijas y móviles.
  - c) Redes PoC.
  - d) Redes HF y VHF.
  - e) Interconexión IP.
  - f) Interoperabilidad entre redes.
  - g) Conectividad satelital.
  - h) Contingencias de sistemas de energía: baterías, plantas de emergencia.
  - i) Otras que resulten de la ingeniería de campo y de detalle.



## BIBLIOGRAFIA

3GPP, (2013). Public safety broadband high power User Equipment (UE) for band 14. Disponible en: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36837.htm>.

Analysys Mason (2010, Marzo). Report for the TETRA - Association Public safety mobile broadband and spectrum needs. Londres. Disponible en: <http://tetraforum.pl/doc/Tony-Gray-P3-LTE-for-Critical-Communications-White-Paper.pdf>

ANE, (2012, Enero). Documento de consulta pública sobre las consideraciones técnicas en el uso de la banda del dividendo digital. Colombia. Disponible en: [http://www.MINTIC.gov.co/images/MS\\_ANE/documento\\_de\\_consulta\\_publica\\_dividendo\\_digital.pdf](http://www.MINTIC.gov.co/images/MS_ANE/documento_de_consulta_publica_dividendo_digital.pdf).

APT, (2012, Abril). No. APT/AWG/REP-27: PPDR Applications Using IMT-based Technologies and Networks. Presentado en The 12th APT Wireless Group Meeting. China. Disponible en: [www.apint.org](http://www.apint.org).

Comisión de Regulación de Comunicaciones, (2012, Agosto). Análisis de alternativas de diseño para la subasta de espectro radioeléctrico para servicios 4G y posibles escenarios competitivos - Documento Técnico. Colombia. Disponible en: <http://www.bkf.com.co/noticias/subidos/pdf/documento%20escenarios%20subasta%204g.pdf>

Checko, A, (2012, Abril). Capacity Planning for Carrier Ethernet LTE backhaul networks. Presentado en la IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Shanghai.

Derruau, M, (1991). Geomorfología. Barcelona. Ed Ariel S.A.

Diccionario Enciclopédico Lexis 22, (1985). Mineralogía Geología. Barcelona, Círculo de Lectores 287p.

ECC, (2007,Enero). Report 102, Public protection and disaster relief spectrum requirements. Disponible en: <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCRep102.pdf>

ECC, (2012, Junio). Catalogue of PPDR Applications Related Requirements. Disponible en: <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-49/client/meeting-documents>.

ECC, (2012). LEWP-ETSI Matrix with group spectrum calculations. Disponible en: <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-49/client/meeting-documents>.

ECC, (2013). Report 199, User requirements and spectrum needs for the future European broadband PPDR system (Wide Area Network). Disponible en: <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-49/client/meeting-documents>.

ETSI TR 102 022-1 V1.1.1, (2012, Agosto). User Requirement Specification: Mission Critical Broadband Communication Requirements. Disponible en:



[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102000\\_102099/10202201/01.01.01\\_60/tr\\_10202201v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102000_102099/10202201/01.01.01_60/tr_10202201v010101p.pdf)

ETSI TR 102 180 V1.2.1, (2010, Julio). Emergency Communications (EMTEL); Basis of requirements for communication of individuals with authorities/organizations in case of distress (Emergency call handling). Francia. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102100\\_102199/102180/01.02.01\\_60/tr\\_102180v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102100_102199/102180/01.02.01_60/tr_102180v010201p.pdf)

ETSI TR 102 628 V1.1.1, (2010, Agosto). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System reference document; Land Mobile Service; Additional spectrum requirements for future Public Safety and Security (PSS) wireless communication systems in the UHF frequency range. Francia: Disponible en [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102600\\_102699/102628/01.01.01\\_60/tr\\_102628v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102628/01.01.01_60/tr_102628v010101p.pdf)

ETSI TS 136 101 V10.3.0, (2011, Junio). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 10.3.0 Release 10). Francia. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136100\\_136199/136101/10.03.00\\_60/ts\\_136101v100300p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.03.00_60/ts_136101v100300p.pdf)

ETSI TS 136 104 V10.2.0, (2011, Mayo). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 10.2.0 Release 10). Francia. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136100\\_136199/136104/10.02.00\\_60/ts\\_136104v100200p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136104/10.02.00_60/ts_136104v100200p.pdf)

ETSI TS 136 214 V10.1.0, (2011, Abril). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements (3GPP TS 36.214 version 10.1.0 Release 10). Francia. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136200\\_136299/136214/10.01.00\\_60/ts\\_136214v100100p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136214/10.01.00_60/ts_136214v100100p.pdf)

FCC White Paper, (2010, Junio). The Public Safety Nationwide Interoperable Broadband Network: A New Model for Capacity, Performance and Cost. Washington. Disponible en: <http://transition.fcc.gov/pshs/docs/releases/DOC-298799A1.pdf>

Fritsche, W. y Mayer. K., (2011, Julio). Study of the mid- and longterm capacity requirements for wireless communication of German PPDR agencies. Alemania. Disponible en: [www.cept.org](http://www.cept.org).

Gray, T. (2012, Junio). LTE for Critical Communications. Drivers, Benefits and Challenges. Disponible en: <http://tetraforum.pl/doc/Tony-Gray-P3-LTE-for-Critical-Communications-White-Paper.pdf>

Hallahan, R. y Peha J. (2010). Cuantificación de los costos de una red nacional de telefonía pública inalámbrica de seguridad. Pensilvania. Disponible en: [http://www.andrew.cmu.edu/user/rhallaha/papers/quantifying\\_costs\\_of\\_PS\\_network.pdf](http://www.andrew.cmu.edu/user/rhallaha/papers/quantifying_costs_of_PS_network.pdf)



- IDATE, (2012). LTE 2012 Markets & Trends. Francia. Disponible en: [www.idate.org](http://www.idate.org)
- Informe UIT-R M.2033, (2003). Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro. Disponible en: [www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2033-2003-MSW-S.doc](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2033-2003-MSW-S.doc)
- INGEOMINAS, (1999). Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia, Bogotá.
- INGEOMINAS, (1989). Catálogo de los volcanes activos de Colombia, Bogotá.
- INGEOMINAS, (1998). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, Publicaciones Especiales Ingeominas, Bogotá.
- Jimenez, G. (2011, Marzo). Banda Ancha Inalámbrica para Seguridad Pública. LTE– The Alcatel-Lucent Solution. Estados Unidos
- NYC Information Technology & Telecommunications. (2010, Febrero). 700 MHz Broadband Public Safety Applications And Spectrum Requirements. Nueva York. Disponible en: <http://andrewseybold.com/wp-content/uploads/2010/03/700MHz-Whitepaper-on-Spectrum-Feb-2010-FINAL.pdf>
- Recomendación UIT-T Y.2205 (2011). Redes de la próxima generación – Telecomunicaciones de emergencia – Consideraciones técnicas. Disponible en: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2205-201105-l/es>
- SATRC Working Group on Spectrum, (2012, Abril). Harmonized use of frequency bands for public protection and disaster relief (PPDR). Presentado en 13th Meeting of the South Asian Telecommunications Regulator’s Council. Nepal. Disponible en: [www.apt.int](http://www.apt.int)
- Scott, J., Burns, J., Jervis, V., Wählen, R., Carter, K., Philbeck, I y Vary, P, (2010, Diciembre). PPDR Spectrum Harmonisation in Germany, Europe and Globally. Alemania. Disponible en: <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/ppdr-spectrum-harmonisation-germany-europe-globally,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf>
- Sharp, I., (Enero 2013), Delivering Public Safety Communications with LTE. Disponible en [http://www.3gpp.org/IMG/pdf/121218\\_lte\\_for\\_public\\_safety\\_rev3\\_-\\_cl.pdf](http://www.3gpp.org/IMG/pdf/121218_lte_for_public_safety_rev3_-_cl.pdf)
- Signorini, E., Rehbehn, K., Molchanov, D. y Keough. J., (2011, Octubre). Mobile Broadband Connected Future: From Billions of People to Billions of Things. Disponible en: <http://www.4gamericas.org/documents/4G%20Americas%20Deck%20October%202011.pdf>
- Suarez, J, (2009). Deslizamientos: Volumen 1 Análisis Geotécnico. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander.575p.



TETRA + Critical Communications Association (2012, Enero). Mobile Broadband in a Mission Critical Environment as seen from a TETRA perspective. Reino Unido. Disponible en: [http://www.tanDefensaCivilColombiana.com/Library/Documents/TETRA\\_Resources/Library/Reports/MBBinaMC%20environment%20v1.4.pdf](http://www.tanDefensaCivilColombiana.com/Library/Documents/TETRA_Resources/Library/Reports/MBBinaMC%20environment%20v1.4.pdf)

UIT - Grupo de estudio de Radiocomunicacion, (2012, Mayo). Revisión del 2012 de la resolución ITU 646 de 2003. Disponible en: <http://www.itu.int/oth/R0A0600001A/es>

UIT - Manual sobre Telecomunicaciones de Emergencia, (2005). Ginebra, Suiza. Disponible en: <http://www.itu.int/es/publications/ITU-D/pages/publications.aspx?parent=D-HDB-HET-2004&media=electronic>.

UIT - Working Party 5A, (2012, Noviembre). Document 5A/TEMP/100-E, Meeting report for Working Group 3, Public protection AND disaster relief. Disponible en; <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-49/client/meeting-documents>

US NPSTC Public Safety Communications (2012, Junio). Report: “Public Safety Communications Assessment 2012-2022, Technology, Operations, & Spectrum Roadmap, Final Report. Washington. Disponible en: [www.npstc.org](http://www.npstc.org).

VILLOTA, H, (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierra. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.183p.



## ANEXOS

### **I. Matriz de Multi-amenazas**

En este anexo se encuentra la tabla que especifica para cada una de las 1103 cabeceras municipales, que de acuerdo al DANE son municipios del país, el rango de probabilidad de presencia de cada una de las seis amenazas incluidas en el estudio. Esto es, para Amenaza Sísmica se incluyen los rangos, alto y medio, para Amenaza de Remoción en Masa rango alto y medio, para Amenaza Volcánica rango alto y medio y para Amenaza de Tsunami, Inundación e Incendio rango alto.

### **II. Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de la Red de Radio en Banda HF de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR**

En este anexo se encuentra la tabla con los puntos donde están instalados los radios de la red HF de cada una de las redes existentes incluidas en el estudio, con la información entregada por UNGRD. Los datos de cada red están en una hoja separada.

### **III. Inventario de Equipos de Telecomunicaciones de la Red de Radio en Banda VHF de las Entidades Operativas de Socorro, Minsalud y UNGRD, CDGR, CMGR**

En este anexo se encuentra la tabla que incluye la información de cada uno de los sitios de repetición de las redes existentes incluidas en el estudio, tal como fue entregada por UNGRD. Los datos de cada red están en una hoja separada.

### **IV. Sitios existentes de la Red de Radio en Banda VHF de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR con los comentarios de verificación de información**

En este anexo se encuentra en hoja separada para cada red, la información de cada una de las cuatro redes existentes con dos columnas adicionales, una con los comentarios realizados por la UNGRD y los CMGR y LOS CDGR y otra con una pequeña descripción del Grupo Consultor acerca de la corrección que se debió realizar a la ubicación del punto cuando fue requerida o con este campo en blanco cuando no fue necesaria alguna corrección.

### **V. Configuración de los Sitios de la Red de Radio en Banda VHF Existente de Dirección Nacional de Bomberos, Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana y UNGRD y de los CDGR y CMGR**

En este anexo se encuentran en hoja separada para cada red, las especificaciones técnicas usadas para las simulaciones de cobertura de los puntos de repetición.



## **VI. Mapas de cobertura de la Red de Radio Existente en banda VHF**

En este anexo se encuentra en los numerales indicados a continuación, los mapas de la cobertura simulada para las redes existentes. Se muestra en cada numeral la simulación correspondiente para cada una de las zonas del país. Se muestran en formato PDF y de imagen.

- i. UNGRD
- ii. Dirección Nacional de Bomberos.
- iii. Cruz Roja Colombiana.
- iv. Defensa Civil Colombiana.
- v. Ministerio de Salud

## **VII. Documentación Técnica del Modelo de Propagación**

Se incluye en este anexo la información técnica que suministra el proveedor de la herramienta Mentum Planet acerca de cómo esta, utiliza el modelo de Propagación CRC Predict para realizar los cálculos de nivel de señal en las simulaciones de cobertura.

## **VIII. Sitios RNTE en VHF fortalecida y recomendación de frecuencias**

En este anexo se puede encontrar la configuración de los sitios que conforman la Red de Radio en Banda VHF fortalecida, se especifica cuáles son los existentes y cuales los nuevos diseñados con sus respectivas coordenadas y especificaciones técnicas. También se presenta la recomendación de uso de frecuencias para la red de radio en banda VHF.

## **IX. Mapas de cobertura de la Red de Radio en banda VHF Fortalecida**

En este anexo se pueden observar las simulaciones de cobertura para la Red de Radio en Banda VHF Fortalecida. Como se indica abajo en el numeral i, divididas por zonas del país y para cada una de ellas se encuentra en carpetas separadas la cobertura en imágenes (JPG y PDF) y los entornos de trabajo que permitirán visualizar la información con la herramienta MapInfo facilitando el análisis detallado de los resultados. En el numeral ii se puede observar la simulación de cobertura cruzada con el mapa de amenaza volcánica por departamento, para los que presentan este tipo de amenaza. Igualmente para cada uno de estos departamentos se encuentran disponibles las carpetas de imágenes y entornos de trabajo.

- i. Zonas del País.
  - a. Zona Andina.
    - i. Imágenes.
    - ii. Entorno de Trabajo.
  - b. Zona Atlántica.



- i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - c. Zona Pacífica.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - d. Zona Antiguos Territorios Nacionales.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - e. Zona Archipiélago San Andrés y Providencia.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
  - ii. Departamentos con Amenaza Volcánica.
    - a. Caldas.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - b. Huila.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - c. Tolima.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - d. Cauca.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - e. Nariño.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.
    - f. Cundinamarca.
      - i. Imágenes.
      - ii. Entorno de Trabajo.

## **X. Soluciones de extensión de cobertura**

En este anexo se encuentra el listado con el nombre de las cabeceras municipales para las cuales se sugiere la instalación de un equipo Radio Base para mejorar la cobertura. En la tabla se incluye el nombre del equipo Repetidor al cual debería estar dirigida la antena del equipo Radio Base para una adecuada implementación.



## **XI. Diseño Eléctrico de la RNTE**

Descripción de los requerimientos de soluciones eléctricas por sitio a exigir a los operadores locales y cálculo de los mismos. Requerimientos específicos para las redes de acceso que deben ser adquiridos con la red. Para los equipos de Backhaul, Backbone y core, no es necesario adquirir estos se incluyen en la co-ubicación.

También se hace el cálculo para el fortalecimiento de VHF.

## **XII. Cálculo de requerimientos de ancho de banda para RNTE LTE**

En este anexo se encuentra la Matriz de cálculo de Aplicaciones producida y aprobada por el grupo LEWP/RCEG (Radio Communications Expert Group of the Law Enforcement Working Party of the Council of the European Union) con el soporte técnico de la ETSI modificada por el Grupo Consultor de acuerdo a las características y necesidades del país. Adicionalmente se encuentran los resultados de espectro y los requerimientos de datos para los enlaces ascendente y descendente de la RNTE LTE. Así mismo se encontrará la explicación de cada una de las aplicaciones de banda ancha seleccionadas para ser usadas en la RNTE.

## **XIII. Cálculos Voz RNTE**

En este anexo se encuentra la matriz de cálculo de resultados de espectro y requerimientos de datos para el servicio de Voz que deben ser tenidos en cuenta en el momento en el cual la RNTE LTE soporte la VoLTE. Adicionalmente se encuentra una hoja de cálculo de Erlangs requerida para estimar la cantidad de dispositivos que pueden establecer comunicaciones de voz simultáneas.

## **XIV. Mapas de cobertura de la RNTE LTE**

En este anexo se encuentran las simulaciones de los sitios diseñados para la Red LTE. Para cada localidad simulada se muestran tres mapas que son indicativos del nivel de servicio que se tendría en dicha población. Son el RSRP (Reference Signal Received Power) que indica el nivel de señal en el punto recibida de un sector de un eNodeB específico sin incluir ruido o interferencia, el RSRQ (Reference Signal Received Quality) Indica la calidad de la señal Recibida y el Throughput en Downlink, que muestra hasta cual velocidad de datos se puede acceder en cada punto de cobertura de una celda determinada.

Como se indica en los numerales abajo, las simulaciones están separadas en 110 ciudades, simulaciones para departamentos con amenaza volcánica y simulaciones para algunos departamentos de los antiguos Territorios Nacionales. Para cada numeral también se encuentra separada la información en Imágenes y Entornos de Trabajo, lo que facilita el manejo de la información.

### **i. 110 Ciudades**

#### **a. Imágenes.**



- b. Entorno de Trabajo.
- ii. Departamentos seleccionados por Amenaza Volcánica.
  - a. Imágenes.
  - b. Entorno de Trabajo.
- iii. Departamentos seleccionados en los antiguos Territorios Nacionales.
  - a. Imágenes.
  - b. Entorno de Trabajo.

## **XV. Coordenadas para los sitios de la RNTE LTE**

En este anexo se muestra la coordenada correspondiente a la ubicación del sitio diseñado para la cobertura en cada una de las cabeceras municipales.

## **XVI. Análisis de los municipios y cálculos de los eNodeB requeridos para la RNTE LTE**

En este anexo se encuentra la información por cabecera municipal acerca de población, área, distancia de los municipios a la capital de departamento, cantidad de radiobases existentes de los operadores (Tigo, Movistar y Claro), Fibra Óptica, Vulnerabilidad a eventos sísmicos o erupciones volcánicas, Cantidad de eNodeB requeridos para la RNTE, Disponibilidad y Velocidad Agregada en los anillos de fibra óptica de la Red Nacional de fibra Óptica que transportan el tráfico a Bogotá.

## **XVII. Disponibilidad de RNTE LTE por municipio**

En este anexo se encuentra la información por cabecera municipal acerca de la cantidad de anillos de fibra óptica requeridos para los eNodeB, la velocidad, la disponibilidad, el MTBF, la probabilidad de falla de cada uno y de la red Metro. También se encontrará la velocidad agregada del municipio, la velocidad agregada en la capital, la velocidad transportada a Bogotá y a disponibilidad del enlace.

## **XVIII. Equipos Agregadores de la RNTE LTE**

En este anexo se encuentran los tipos de equipos agregadores de la RNTE LTE (switch agregador, enrutador agregador de municipios y el enrutador hacia la WAN) para las capitales de departamento y Bogotá, se describen sus interfaces y la velocidad de cada una.



## TABLA DE CONTROL DE VERSIONES

CONTROL DE VERSIONES			
Nombre del Documento	Tipo del Documento	Fecha de Versión y Entrega	Tipo de Cambio
Diseño de la RNTE V1	Word	29-04-2013	Versión Entregada al MinTIC
Diseño de la RNTE V1	Word	10-05-2013	Para revisión por comentarios del MinTIC
Diseño de la RNTE V2	Word	14-06-2013	Versión Corregida Entregada al MinTIC
Diseño de la RNTE V3	Word	20-06-2013	Versión Entregada al MinTIC