UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERIA
POSTGRADO EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LA TECNOLOGIA LTE-A PARA LA INTERCONEXIÒN Y COBERTURA TOTAL ENTRE LAS ISLAS: MARGARITA, COCHE, CUBAGUA, LA TORTUGA Y LA BLANQUILLA

Presentado por:

**Ing. Ferrer Álvarez, Leopoldo José**

Para optar al título de:
**Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones**

Asesor:
**Ing. MSc. Di Attanasio Falconi, Berardo**

Caracas, enero de 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERIA
POSTGRADO FACULTAD DE INGENIERIA
POSTGRADO EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LA TECNOLOGIA LTE-A PARA LA INTERCONEXIÒN Y COBERTURA TOTAL ENTRE LAS ISLAS: MARGARITA, COCHE, CUBAGUA, LA TORTUGA Y LA BLANQUILLA

Presentado por:

**Ing. Ferrer Álvarez, Leopoldo José**

Para optar al título de:
**Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones**

Asesor:
**Ing. MSc. Di Attanasio Falconi, Berardo**

Caracas, enero de 2018

# CARTA DE ACEPTACIÒN DEL ASESOR

Universidad Católica Andrés Bello

Dirección de Postgrado de Ingeniería

Postgrado en Ingeniería de Telecomunicaciones

Por medio de la presente, hago constar que he leído el Trabajo Especial de Grado, presentado por Leopoldo José Ferrer Álvarez, potador de la cedula de identidad nº 10.353.312, para optar al grado de “Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones”, cuyo título es “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LA TECNOLOGIA LTE-A PARA LA INTERCONEXIÒN Y COBERTURA TOTAL ENTRE LAS ISLAS: MARGARITA, COCHE, CUBAGUA, LA TORTUGA Y LA BLANQUILLA.”; y manifiesto que cumple con los requisitos exigidos por los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello; y que, por lo tanto, lo considero apto para ser evaluado por el jurado que se decida designar a tal fin.

En la ciudad de Caracas, a los 22 días del mes de enero de 2018.

_____

Prof. Di Attanasio Falconi, Berardo

C.I.: 5.418.846

## LISTA DE ACRONIMOS Y SIGLAS

A continuación, se presentan la lista de acrónimos y siglas extraído de Morales (2003):

**CoMP**: Coordinated Multipoint.

**EPS**: Evolved Packet System.

**eNodeB**: Evolution Node B.

**HSPA**: High Speed Packet Access.

**IEEE**: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**ITU**: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**LTE**: Long Term Evolution.

**LTE-A**: Long Term Evolution Advanced.

**MIMO**: Multiple-Input Multiple-Output.

**OFDM**: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

**OFDMA**: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.

**PMBOK**:  Project Management Body of Knowledgement.

**PMI**: Project Management Institute.

**SDR**: Software Defined Radio

**WIMAX**: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

**3GPP**: Third Generation Partnership Project.

**4G**: Fourth Generation.

**5G**: Five Generation.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREAS DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN
POSTGRADO EN GERENCIA DE PROYECTOS

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LA TECNOLOGIA LTE-A PARA LA INTERCONEXIÒN Y COBERTURA TOTAL ENTRE LAS ISLAS: MARGARITA, COCHE, CUBAGUA, LA TORTUGA Y LA BLANQUILLA

Autor: Ferrer Álvarez, Leopoldo José
Asesor: Di Attanasio Falconi, Berardo
Año: 2018

## RESUMEN

Actualmente existen pequeñas y medianas poblaciones pertenecientes a la zona insular comprendida por las Islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla que se encuentran desatendidas ya sea por no poseer ningún servicio de telecomunicaciones, falta de cobertura o servicios con tecnologías 3G o 2G no adaptado a los requerimientos de alto tráfico de datos, lo cual tendría un impacto negativo en el desarrollo tecnológico, social, y productivo de la zona. En la presente investigación se propone, diseñar una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla con base a datos demográficos y demanda promedio de la zona, que conlleve a una solución integral desde el punto de vista tecnológico, con grandes beneficios para la zona. El diseño a realizar a través de un simulador de radio enlaces (*Xirio-OnLine*), en función de sus objetivos, está enmarcado como una investigación de tipo aplicada pre-experimental dado que busca resultados inmediatos del diseño basado en teorías y técnicas pre-existentes de la tecnología LTE-A, buscando el perfeccionamiento del diseño de red propuesto en un ambiente simulado.

**Palabras Clave:** Diseño, LTE *Advanced*, MIMO, Simulador, Radio-Enlace.
Línea de Trabajo: Redes Celulares Inalámbricas.

*Al recuerdo de mis padres, al presente y futuro de mi pequeña gran familia, que este pequeño logro sea la continuación de muchos éxitos por venir, que nos llenen de sentido de autorrealización y esperanza, en la consecución de metas, para cumplir nuestros sueño…*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi familia Gloris y mis hijos por el gran apoyo moral y espiritualmente para la consecución de este anhelo sobre todo en tiempos tan difíciles. Agradezco especialmente a mi tutor académico, y a la dirección del postgrado, por el gran apoyo en mi formación y la gran vocación académica demostrada durante todo el transcurso de la carrera, lo cual fue fundamental para cumplir con los objetivos planteados. Agradezco a todas las personas que me apoyaron de manera directa e indirecta quizás sin saberlo, y finalmente agradezco a Dios sobre todas las cosas, que hizo posible que de manera misteriosa, todas esas personas tan especiales se cruzaran en mi camino de manera desinteresada para conseguir este pequeño gran logro en mi formación académica.

# INDICE GENERAL

**Contenido……Pág.**

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPITULO I: EL PROBLEMA ..... 4

1.1. Planteamiento del Problema ..... 4

1.1.1. Formulación del Problema ..... 12

1.1.2. Sistemización del Problema ..... 12

1.2. Objetivos ..... 12

1.2.1. Objetivo General ..... 13

1.2.2. Objetivos Específicos ..... 13

1.3. Justificación de la Investigación ..... 13

1.4. Alcance y Delimitaciones de la Investigación ..... 15

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO ..... 17

2.1. Antecedentes ..... 17

2.2. Fundamentos Teóricos ..... 23

2.2.1. Principios de Redes Celulares ..... 23

Organizaciòn de una red celular ..... 23

Reutilización de la Frecuencia ..... 25

Aumento de la capacidad ..... 27

Efectos de Propagación en Radio Móvil ..... 28

2.2.2. Tecnologías LTE ..... 31

2.2.3. Características LTE ..... 33

2.2.4. Arquitectura LTE ..... 34

2.2.5. Interfaz Radio de LTE:..... 38

*Velocidad de Transmisión de un PRB*..... 45

2.2.6. La Trama LTE ..... 47

2.2.6. El sistema MIMO ..... 48

2.3. Bases Legales ..... 49

2.3.1. Regulación jurídica del Sistema de Telecomunicaciones LTE 4G y Enlaces Inalámbricos para las Islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla ..... 49

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO ..... 62

3.1. Tipo de Investigación..... 62

3.2. Diseño de la Investigación..... 63

3.3. Unidad de Análisis..... 64

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... 65

3.5. Fases de la Investigación ..... 66

3.6. Procedimiento por Objetivos..... 67

3.7. Operacionalización de los Objetivos..... 70

3.8. Estructura Desagregada de Trabajo..... 71

.9. Aspectos Éticos ..... 72

3.10. Cronograma..... 72

3.11. Recursos ..... 74

CAPITULO IV: MARCO REFERENCIAL ..... 75

4.1. Ubicación General del Diseño. ..... 75

4.2. Datos Demográficos y Superficie General para Despliegue de Red. 76

4.2.2. Datos de División Político Territorial, Demografía y Poblacional del Estado Nueva Esparta ..... 76

4.2.3. Datos de División Político Territorial, Demografía y Poblacional para las islas La Tortuga y La Blanquilla ..... 80
4.3. Contexto estadístico para el despliegue ..... 86
CAPITULO V: DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS ..... 88
5.1. Diseño de celdas de la red móvil ..... 89
5.1.1. Datos Demográficos y de superficie general donde será desplegada la red ..... 89
5.1.2. Datos y condiciones iniciales para el dimensionamiento de la Red ..... 91
5.1.3. Parámetros básicos de la tecnología a implementar ..... 92
5.1.4. Cálculo de tráfico Erlang ..... 92
5.1.5. Modelo de Propagación ..... 98
5.1.6. Parámetros de la Tecnología ..... 103
5.1.7. Banda de Operación Escogida y Modo de Funcionamiento de la Tecnología Móvil ..... 104
5.1.8. Reutilización de frecuencias ..... 106
5.1.9. Ancho de banda ..... 107
5.1.10. Cálculo del área de cobertura ..... 109
5.1.11. Balance de ganancias y pérdidas del enlace de acuerdo al modelo Hata ..... 112
5.1.12. Cálculo de cantidad de usuarios ..... 113
5.2. Cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF y MME) ..... 118
5.2.1. Ubicación de los eNb ..... 118
5.2.3. Ubicación de los eNB, S-GW, P-GW, HSS Y PCRF ..... 121

5.3. Diseño de enlaces entre todas las islas que garanticen un eficiente *handover* y conectividad total ..... 125

5.3.1. Diseño de los *Backhauls* ..... 132

5.4. Evaluación del diseño a través del simulador de radio enlace Xirio Online ..... 135

5.4.1. Creación del Estudio ..... 136

5.4.2. Optimización de interconexión del diseño de la red ..... 151

CONCLUSIONES ..... 159

RECOMENDACIONES ..... 162

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... 165

ANEXOS ..... 170

ANEXO # 1 ..... 171

# INDICE DE FIGURAS

**Figura……Pág**.

1. Penetración Móvil en Latinoamérica. ..... 5
2. Penetración LTE en Latinoamérica. ..... 6
3. Asignación del Espectro Móvil en América Latina. ..... 7
4. Porcentaje de Espectro Asignado de Acuerdo con la Sugerencia de la UIT para 2015 y 2020. ..... 8
5. DIGITEL. Mapa de Cobertura 4G Estado Nueva Esparta. ..... 9
6. DIGITEL. Mapa de Cobertura 3G y 4G Estado Nueva Esparta. ..... 9
7. MOVISTAR. Mapa de Cobertura 3.5 G Estado Nueva Esparta. ..... 10
8.MOVISTAR.Mapa de Cobertura GSM Estado Nueva Esparta. ..... 10
9. Geometría celular ..... 24
10. Ejemplo de patrones de reutilización de frecuencias (celdas de geometría hexagonal) ..... 26
11. Parámetros típicos para macro-celdas y micro-celdas ..... 28
12. Formula perdida de trayectoria Okumura-Hata para entornos urbanos. . 30
13. Panorámica de sistemas móviles celulares 3G/4G ..... 32
14. Requerimientos LTE ..... 33
15. Arquitectura LTE ..... 34
16. Red de Acceso E-UTRAN ..... 35
17. Arquitectura EPC ..... 36
18. Arquitectura simplificada del sistema IMS ..... 37
19. Interfaz Radio LTE ..... 38
20. Protocolos Interfaz Radio ..... 40
21. Esquema de Transmisión ..... 41
22. Esquemas de Modulación ..... 41
23. Bandas Asignadas LTE (negro) LTE-A (rojo) ..... 43

24. Esquema de un PRB ..... 44
25. Relación entre el número de PRBs, el número de sub-portadoras y la velocidad de transmisión para los diferentes anchos de banda que aneja LTE. ..... 45
26. Número de PRB y Sub-Portadoras en un Canal PRB ..... 46
27. Velocidad Pico en Sistemas LTE sin MIMO ..... 47
28.Estructura de Trama LTE ..... 47
29. Esquema MIMO ..... 48
30. Bandas de Frecuencias (CUNABAF) ..... 52
31. Condiciones de Seguridad ante las Emisiones de Radiofrecuencias Producidas por Estaciones Radio eléctricas Fijas en el Rango de 3 KHZ a 300 GHZ ..... 54
32. Operacionalización de los Objetivos ..... 70
33. Estructura Desagregada de Trabajo (EDT) del Diseño LTE-A ..... 71
34. Cronograma Proyecto Trabajo Especial de Grado (PTEG) ..... 73
35. Cronograma Trabajo Especial de Grado (TEG) ..... 73
36. Matriz de Recursos de la Investigación. HH (Horas Hombre), UC (Unidades de Crédito). ..... 74
37.Ubicaciòn General del Proyecto ..... 75
38. Estado Nueva Esparta: Ficha y Cuadro Sinóptico ..... 76
39. Estado Nueva Esparta: División Político Territorial ..... 77
40. Estado Nueva Esparta: Distribución Poblacional por Municipio ..... 78
41. Estado Nueva Esparta: Distribución Poblacional por Municipio y Parroquia ..... 79
42. Estado Nueva Esparta: Distribución Demográfica ..... 80
43. Dependencias Federales: Mapa de División Político Territorial ..... 82
44. Isla la Tortuga: División Político Territorial ..... 82
45. Isla La Blanquilla: División Político Territorial ..... 82
46. Dependencias Federales en el Espacio Insular, Localización Geográfica y Conformación ..... 83

47. Isla La Tortuga y Cayos Adyacentes: Localización Geográfica y Conformación..... 84
48. Isla La Blanquilla: Localización Geográfica y Conformación..... 84
49. Dependencias Federales: Cuadro Población y Densidad..... 85
50. Dependencias Federales: Cuadro Población Total Según Islas ..... 85
51. Suscriptores totales de Telefonía Móvil por Entidad al II 2017 ..... 86
52. Cantidad de suscriptores con teléfonos considerados Inteligentes (2016-2017)..... 87
53. División Político Territorial del estado Nueva Esparta ..... 89
54. Estructura hexagonal celular..... 91
55. Variables de entrada modelo técnico..... 103
56. Reusó de frecuencia (factor 3)..... 106
57. Ubicación Espacial de las eNbs Isla de Margarita ..... 119
58. Esquema EPC (Estación móvil) ..... 122
59. Ubicación de centrales móviles en simulador ..... 124
60. Creación de estudio enlace punto a punto..... 126
61. Propiedades del estudio de Enlace..... 127
62. Propiedades del transmisor del enlace punto a punto ..... 128
63. Propiedades del receptor enlace punto a punto..... 129
64. Parámetros de cálculo ..... 129
65. Cálculo del estudio de radio enlace ..... 130
66. Grafica del enlace punto a punto ..... 130
67. Vista en Xirio Online de radio enlace Cubagua-Margarita TBR-121-BC (CT) ..... 131
68. Radio enlace islas de Coche y Cubagua con central móvil Margarita .. 131
69. Simulación de radio enlaces islas La Tortuga y La Blanquilla con isla de Margarita..... 132
70. Componentes de un sistema DWDM..... 133
71. Representación de red de fibra óptica Isla de Margarita..... 135

72. Visualización de puntos de referencias para instalación de eNBs Cluster MA-C1 ..... 137
73. Crear Nuevo Estudio ..... 138
74. Nombre y Descripción del Estudio ..... 138
75. Nombre y ubicación del sector ..... 139
76. Sectorización del transmisor ..... 140
77. Configuración de parámetros del sector ..... 141
78. Configuración de parámetros del terminal ..... 142
79. Selección de la cartografía y método de cálculo ..... 143
80. Configuración del área de cálculo ..... 144
81. Configuración de los rangos de la señal ..... 145
82. Configuración de generación de coberturas ..... 145
83. Cálculo de estudio ..... 146
84. Estudio de cobertura MA-001-BA ..... 146
85. Generación de Cobertura ..... 147
86. Puntos de referencia Isla de Margarita ..... 148
87. Puntos de referencia Islas de Coche y Cubagua ..... 149
88. Puntos de referencia La Tortuga ..... 149
89. Punto de referencia Isla La Blanquilla ..... 150
90. Resultados de estudio de cobertura multitransmisor del diseño ..... 150
91. Esquema del Sistema Óptico de Transmisión principal estaciones de playa Margarita-Cumana ..... 151
92. Ubicación Enlace Cable Submarino Margarita-Cumana ..... 153
93. Ubicación del sitio de instalación Pozo de Playa Margarita ..... 154
94. Ubicación del sitio de instalación Pozo de Playa Cumana ..... 155

# INDICE DE TABLAS

**Tabla……..……..Pág.**

1. Datos Demográficos y de superficie para el despliegue del diseño. Elaboración propia. ..... 89
2. Densidad poblacional por municipio del Estado Nueva Esparta. Elaboración propia. ..... 90
3. Parámetros Técnicos de la Tecnología LTE-A. ..... 92
4. Premisas iniciales para el cálculo de trafico *Erlang*. Elaboración propia. . 93
5. Bases para la determinación del número de posibles suscriptores de LTE-A. Elaboración propia. ..... 93
6. Base de cálculo para el tráfico *Erlang*. Elaboración propia. ..... 94
7. Canales por sector según tráfico y tabla Erlang-B. Elaboración propia. ... 95
8. Cálculos geométricos iniciales para una celda con geometría hexagonal. Elaboración propia. ..... 96
9. Criterio de clasificación de zona de acuerdo a densidad poblacional. Elaboraciòn propia. ..... 97
10. Cálculos iniciales por sector estaciones base por cobertura. Elaboración propia. ..... 98
11. Aplicación modelo Okumura Hata y factor de corrección según zona. Elaboración propia ..... 99
12. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno urbano. Elaboración propia. ..... 100
13. Cálculo perdidas modelo Hata entorno suburbano con d = 2 Km. Elaboración propia. ..... 101
14. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno suburbano con d = 3 Km. Elaboración propia. ..... 101
15. Cálculo perdidas modelo Hata entorno suburbano con d = 4 Km. Elaboración propia. ..... 102

16. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno suburbano con d = 6 Km. Elaboración propia. ..... 102
17. Resumen de aplicación del Modelo Hata a las diferentes clasificaciones de zona. Elaboración propia. ..... 103
18. Bandas disponibles para la tecnología LTE y LTE-A ..... 104
19. Banda de operación del diseño. Elaboración propia. ..... 105
20. Tabla de asignación de bandas para reutilización de frecuencias factor (3). Elaboración propia. ..... 107
21. Número máximo de RB. ..... 108
22. Recursos físicos PRB con 64-QAM a 10 MHz. Elaboración propia. ..... 108
23. Tipos de modulación LTE. Elaboración propia. ..... 110
24. Balance del enlace descendente (10 MHz) para el cálculo del área celda. Elaboración propia. ..... 111
25. Sensibilización de referencia para QAM-64 a 10 MHz. Elaboración propia. ..... 112
26. Cálculo balance de ganancias y pérdidas del enlace con respecto al modelo Okumura-Hata. Elaboración propia. ..... 113
27. Tasas binarias máximas ..... 114
28. Matriz de demanda de servicio estimada. Elaboración propia. ..... 114
29. Matriz de cálculo de total usuarios por Celda a 10 MHz (64-QAM) según demanda de servicios. Elaboración propia. ..... 115
30. Matriz de clasificación de tipo de celdas según demanda de tráfico, frecuencia de operación y técnica de modulación. Elaboración propia. ..... 116
31. Matriz base para el dimensionamiento de la red LTE-A. Elaboración propia. ..... 117
32. Ubicación de eNbs por Sector de las Islas: Margarita, Municipio Mariño. Elaboración propia. ..... 120
33. Resumen Total eNBs por Municipio. Elaboración propia. ..... 121
34. Cantidad de centrales móviles, eNB, S-GW, P-GW, HSS y PCRF. Elaboración propia. ..... 124

35. Ubicación de radio-enlaces. Elaboración propia. ..... 125
36. Celdas que conforman los anillos Red *Backhauls* por centrales móviles. Elaboración propia. ..... 134
37. Ubicación de eNBs Clúster MA-C1. Elaboración propia. ..... 137
38. Datos Enlace Cable Submarino de Fibra Óptica: Margarita-Cumana. Elaboración propia. ..... 153

# INTRODUCCIÓN

Hace algunos años mediante la implementación de la tecnología HSPA se hizo posible ante la demanda existente, el incremento de las velocidades de transmisión en las redes de telecomunicaciones móviles de la época. El desarrollo de estas tecnologías, junto con la inclusión de las tarifas planas, sentó las bases del posterior crecimiento exponencial del tráfico de datos observado desde el año 2007. A partir del año 2010 se ha previsto cubrir los requerimientos tecnológicos con las tecnologías LTE (*Long Term Evolution*) y su evolución representada por LTE-*Advanced*, que tendrán como competidor a Wimax 802.16e y su evolución 802.16m promovidos por la IEEE. Con las redes LTE-*Advanced* se pueden llegar a conseguir velocidades de pico entre 100 Mbps y 1 Gbps, mejorar la movilidad con capacidad multimedia integrando todos los servicios sobre el protocolo IP, incluyendo la voz. Por lo que podemos decir que LTE es una mezcla de evolución y evolución tecnológica.

Hacer frente a los actuales y potenciales competidores, anticiparse a las necesidades de los usuarios, requieren de una alta capacidad de adaptación ante los requerimientos de un mercado tecnológico, dinámico y altamente demandante. Por otro lado es bien sabido que un incremento en el tráfico de voz es proporcional al incremento de los ingresos del operador, mientras que producto del lanzamiento de planes con tarifa plana la demanda derivada por el tráfico de datos a creado desajustes entre ambos aspectos dado que existe una proporcionalidad entre la inversión tecnológica requerida para x demanda de servicios, haciendo imperiosa la necesidad de implementar tecnologías que permitan una mejor relación costos beneficios de acuerdo a los indicadores QoS que demanda el mercado. Es allí donde una tecnología como LTE-*Advanced* considerado como el “paso evolutivo siguiente para mejorar las

velocidades y capacidades de la red” promete cubrir todos los requerimientos tecnológicos en pro de una mejorar en la relación costo beneficios e indicadores de calidad de servicios.

5G Américas o la voz de 5G y LTE para las Américas, es una organización de comercio de la industria compuesta por líderes y proveedores de servicios de telecomunicaciones y fabricantes cuya misión es defender y fomentar el avance y la capacidad de la tecnología inalámbrica LTE y su evolución hacia 5G donde algunos autores enmarcan a LTE-*Advanced*. 5G AMERICAS (2016a), a través de su página web, publico un artículo titulado: Mobile *Broadband Caribbean & Central América*, en el mencionado artículo ubica a Venezuela en el 13º lugar en Latinoamérica de un total de 19 países en cuanto al indicador de penetración móvil (líneas móviles Vs. cantidad de habitantes) antecedidos por países como Guatemala, Perú, Paraguay, Nicaragua y Colombia por nombrar algunos. Este mismo informe menciona, que la penetración promedio en cuanto a tecnología LTE en Latinoamérica para el año 2016 se ubica en el 14,18%, siendo el indicador para Venezuela de solo un 3,11%, en cuanto a la implementación y desarrollo de la tecnología de 4ta generación LTE, ubicándose entre las 6 últimas posiciones de un total de 19 países evaluados, cuestión que pudiese generar expectativas a futuro muy negativas para el desarrollo tecnológico del país de no tomarse los correctivos en cuanto a inversión tecnológica de última generación para potenciar el desarrollo tecnológico nacional y cumplir con las estimaciones previstas y sugeridas por el ITU-RM, para el 2015 y el 2020 en vísperas de la apagón analógico.

Es por todo ello, que, como propósito general de este trabajo especial de grado, se planteó el diseño y planificación, de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla. Con el fin de elevar el potencial de comunicaciones e interconexión entre las

islas, que mejore las demandas actuales de comunicación, e incorporar zonas desatendidas mejorando la calidad de vida de sus habitantes, el potencial turístico de la zona y la seguridad marítimo terrestre a través de las tecnologías LTE-*Advanced*.

En cuanto a la obtención de fuentes de información, principalmente se obtuvo a través de documentación literaria reconocida y abalada por sus referencias bibliográficas, análisis de estudio de investigaciones previas sobre el tema y entrevistas con expertos relacionados al campo de investigación; pretendiendo con todo ello profundizar en cuanto a las bases teóricas necesarias sobre el funcionamiento de la tecnología LTE-*Advanced*," considerada en estos momentos puntera en el ámbito de las comunicaciones móviles", que conllevara a un buen diseño desde el punto de vista técnico, social y económico que pueda ser adoptado de manera parcial o total por una operador actual o futura que quisiera operar en algún espectro disponible para esta tecnología o visionar en la explotación del espectro de los 800 MHz aun no asignado y explotado en nuestro país, pero con grandes potencialidades de serlo.

Este trabajo ha sido dividido en 5 grandes partes. En la primera parte se planteó el problema de la investigación; así como sus objetivos, importancia, justificación alcances y delimitación de la investigación. En la segunda parte se describió el marco teórico y bibliografía que fundamento el estudio propuesto. En la tercera parte, se reflejaron las orientaciones metodológicas que se han de seguir en el proceso de investigación. Seguidamente en la cuarta parte se presentó el marco referencial. En la quinta parte se presentó el desarrollo de los objetivos específicos para finalmente presentar las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas consultadas para elaborar este proyecto.

# CAPITULO I: EL PROBLEMA

En este capítulo se abordaron los tópicos relacionados al planteamiento del problema definiendo aspectos como: el objetivo general, objetivos específicos, justificación, alcances y delimitación del presente trabajo de investigación, que sentaran las bases para el desarrollo del mismo.

## 1.1. Planteamiento del Problema

En una sociedad completamente conectada en donde gran parte de la población posee un teléfono inteligente constantemente conectada a las redes sociales, internet, herramientas basadas en voz sobre IP, entre otros, demandando todo tipo de servicios de 3ra y 4ta generación. Las redes móviles han cambiado y seguirán evolucionando generando mayores demandas en el tráfico de datos y en la calidad de servicios. Este constante cambio ha traído la necesidad de nuevos servicios, brindado nuevos horizontes en el campo de desarrollo social como, por ejemplo: la telemedicina, tele-educación, transportes inteligentes (auto-conectado), y también en el mundo del entretenimiento con videos UHD, realidad virtual, videos juegos, así como todo lo relacionado con el desarrollo del IoT (internet de las cosas).

La organización 5G AMERICAS (2016a), a través de su página web, publicó un artículo titulado: *Mobile Broadband Caribbean & Central América*, ubicando a Venezuela en el 13º lugar en Latinoamérica de un total de 19 países analizados, en cuanto al indicador de penetración móvil, antecedidos por países como Guatemala, Perú, Paraguay, Nicaragua y Colombia por nombrar algunos. Ver figura 1.

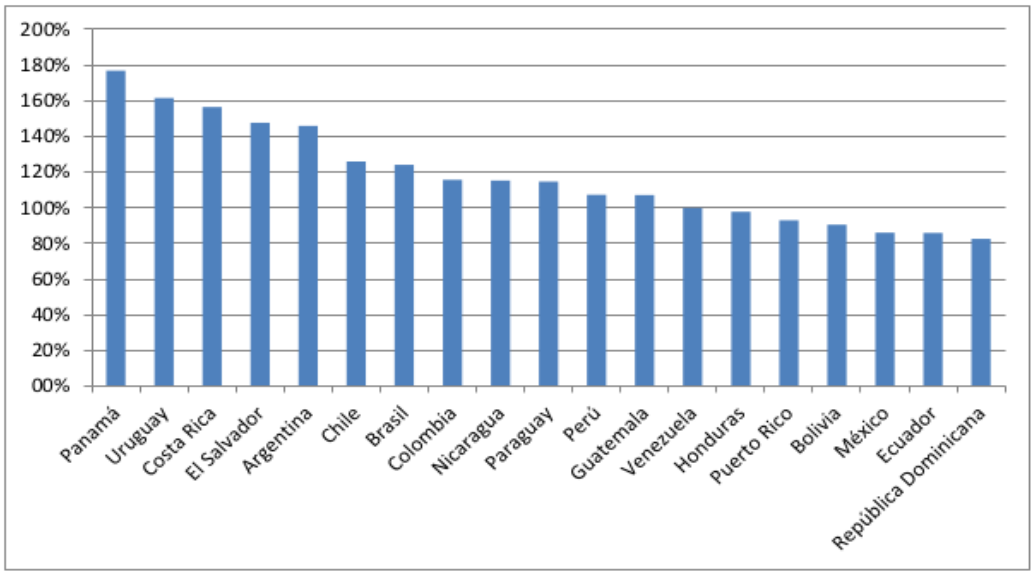



Figura 1. Penetración Móvil en Latinoamérica.
Fuente: 5G AMERICAS (2016a).

En cuanto a la penetración móvil asociada a la tecnología LTE en Latinoamérica para el año 2016, este mismo informe ubica el promedio regional en un 14,18%, siendo el indicador para Venezuela de solo un 5.42%, de acuerdo a la implementación de esta tecnología, ubicando a Venezuela entre las 6 últimas posiciones de un total de 19 países evaluados, cuestión que debe alertar en cuanto al rezago en inversión de tecnología, que de no invertirse esta tendencia pudiese impactar negativamente en el desarrollo tecnológico del país, en cuanto a inversión tecnológica de última generación que potencie el desarrollo tecnológico nacional además de cumplir con las estimaciones previstas y sugeridas por el ITU-RM para el 2015 y el 2020 en vísperas del apagón analógico. Ver figura 2.

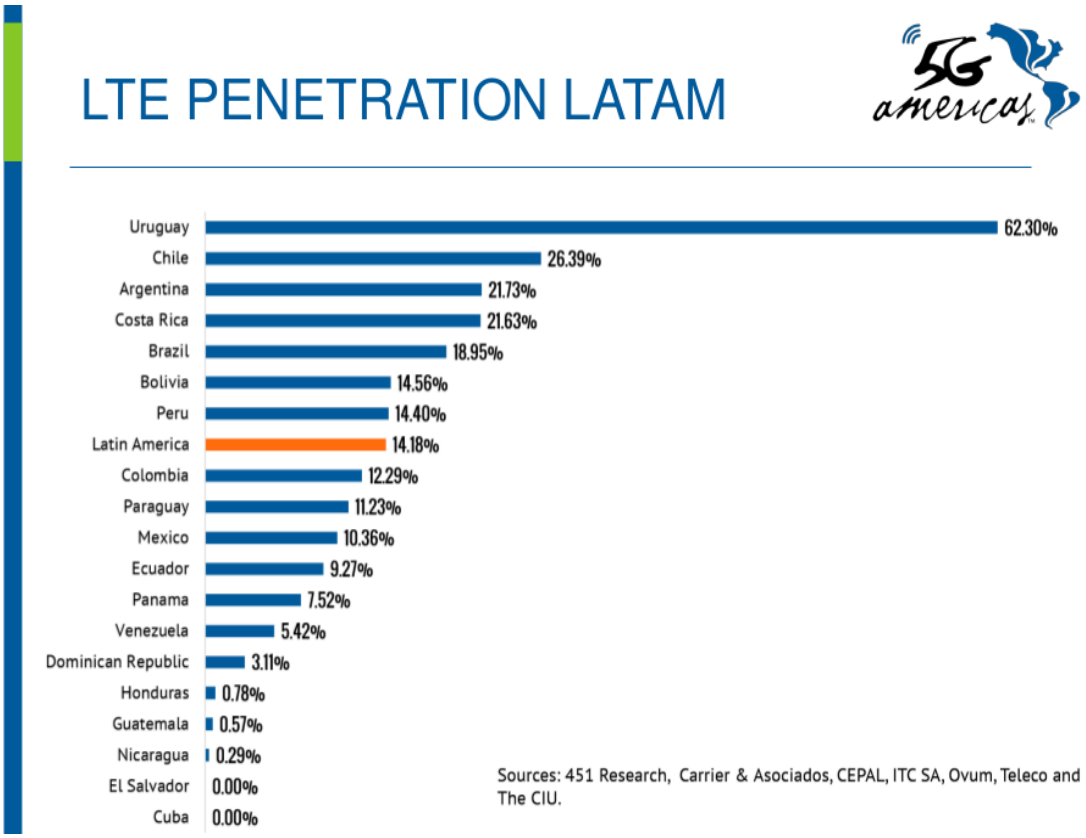



Figura 2. Penetración LTE en Latinoamérica.
Fuente: 5G AMERICAS (2016a).

En este mismo orden de idea, la 5G AMERICAS (2017b) a través de su página web, publico otro artículo titulado: Análisis de las Recomendaciones de la UIT sobre Espectro en América Latina. En este informe se ofrecen una serie de indicadores interesantes para contextualizar el actual estado de la tecnología LTE en Latino América y específicamente en Venezuela desde el punto de vista del espectro radio eléctrico asignado y su utilización. En cuanto a la asignación del espectro del espectro radio eléctrico en el gráfico: Asignación del Espectro Móvil en América Latina (Ver figura. 3), se puede evidenciar que para el caso de Venezuela se encuentran disponibles las frecuencias 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, AWS-3, 1.9 y 2.1 GHz, lo cual evidencia una sub-utilización en el desarrollo del espectro asignado para su explotación.

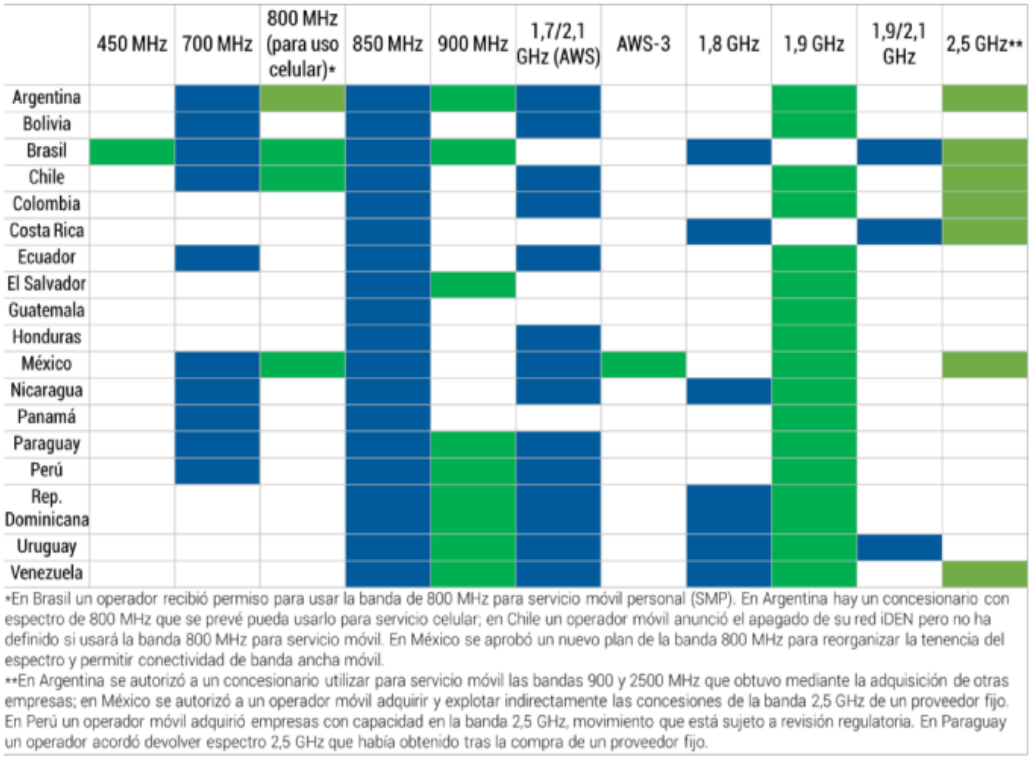



Figura 3. Asignación del Espectro Móvil en América Latina.
Fuente: 5G AMERICAS (2017b).

El mercado de las telecomunicaciones en Venezuela, tiene en la actualidad tres operadores principales (Digitel, Movistar y Movilnet). El ente encargado de regular el sector en el país Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) identificó a través de una providencia administrativa algunas bandas que estarían sujetas a oferta pública, pero no se han definido bloques, capacidad o plazos para algún concurso que defina su asignación. Entre ellas destacan la banda de 700 y 900 MHz, AWS, 2.5 GHz, 1.8 GHz y 1.9 GHz. Es importante destacar de acuerdo al análisis de la siguiente grafica “Porcentaje de espectro asignado según la sugerencia de la UIT para 2015 y 2020” (Ver figura. 4). Se puede apreciar que de los 1300 MHz sugeridos por el UIT-RM 2078 para 2015 solo se han destinado para el uso de los servicios móviles 324 MHz representando solo un 24.92% del total recomendado, como meta para el año 2015, y un solo 16.5%como meta para el 2020. Cifras que evidencian

el potencial para el desarrollo de redes de telecomunicaciones de nueva generación, mediante la utilización y explotación del espectro disponible no utilizado. Ver Figura 4.

| Market | Total Spectrum | ITU 2015 Suggestion | Percentage Achieved 2015 | ITU 2020 Suggestion | Percentage Achieved 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Argentina | 403 | 1300 | 31% | 1720 | 23.47% |
| Bolivia | 274 | 1300 | 21.1% | 1720 | 15.93% |
| Brazil | 542 | 1300 | 41.7% | 1720 | 31.51% |
| Chile | 465 | 1300 | 35.8% | 1720 | 27.03% |
| Colombia | 355 | 1300 | 27.3% | 1720 | 20.64% |
| Costa Rica | 460 | 1300 | 35.4% | 1720 | 26.74% |
| Dominican Republic | 312 | 1300 | 24.0% | 1720 | 18.16% |
| Ecuador | 290 | 1300 | 22.3% | 1720 | 16.86% |
| El Salvador | 208 | 1300 | 16% | 1720 | 12.12% |
| Guatemala | 210 | 1300 | 16.2% | 1720 | 12.24% |
| Honduras | 290 | 1300 | 22.3% | 1720 | 16.86% |
| Mexico | 314 | 1300 | 24.2% | 1720 | 18.27% |
| Nicaragua | 420 | 1300 | 32.3% | 1720 | 24.42% |
| Panama | 220 | 1300 | 16.9% | 1720 | 12.79% |
| Paraguay | 280 | 1300 | 21.5% | 1720 | 16.28% |
| Peru | 304 | 1300 | 23.4% | 1720 | 17.7% |
| Uruguay | 270 | 1300 | 20.8% | 1720 | 15.7% |
| Venezuela | 324 | 1300 | 24.9% | 1720 | 18.84% |
| | | | | | |
| **Average** | 330 | 1300 | 25.38% | 1720 | 19.19% |

Figura 4. Porcentaje de Espectro Asignado de Acuerdo con la Sugerencia de la UIT para 2015 y 2020.
Fuente: 5G AMERICAS (2016a).

A continuación, se presentan 2 simulaciones obtenidas a través de la página web del operador Corporación Digitel C.A. (Digitel), donde se evalúa la señal 4G y 3G para el estado Nueva Esparta. Ver figura 5 y 6.

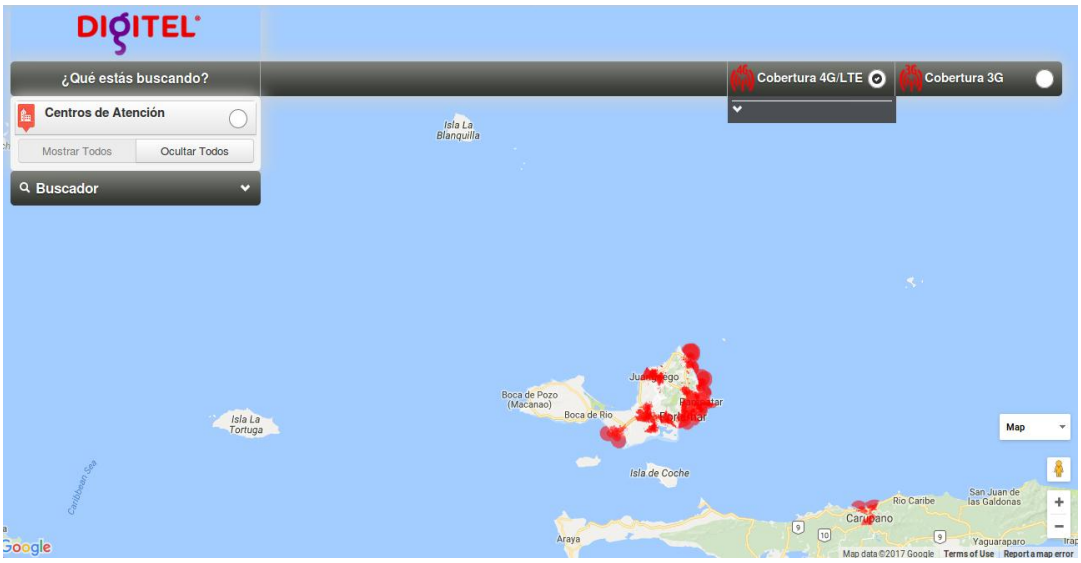



Figura 5. DIGITEL. Mapa de Cobertura 4G Estado Nueva Esparta.
Fuente: Corporaciòn Digitel, C.A. (2017).

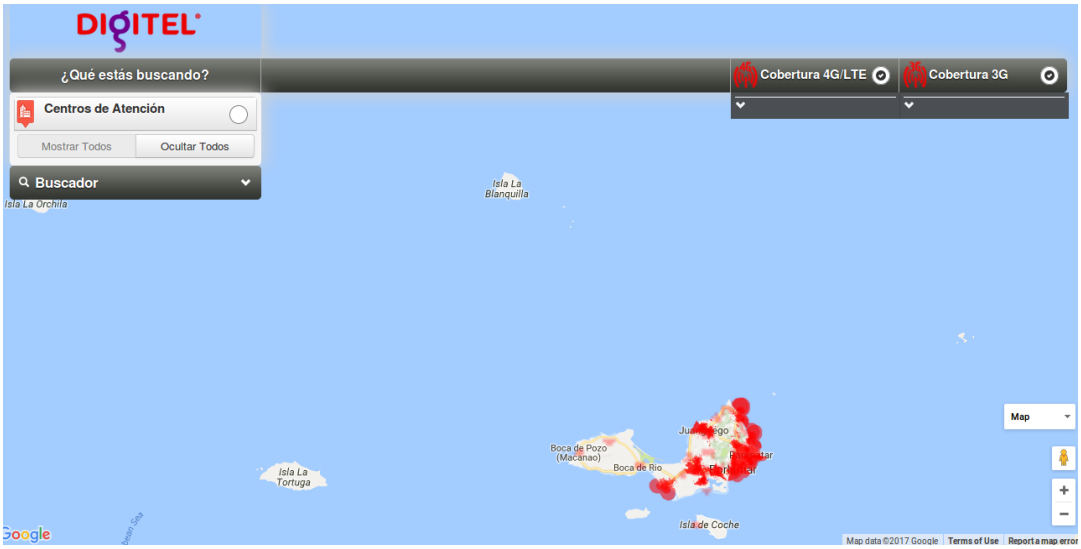



Figura 6. DIGITEL. Mapa de Cobertura 3G y 4G Estado Nueva Esparta.
Fuente: Corporaciòn Digitel, C.A. (2017).

A través de una evaluación grafica de las figuras 5 y 6 para el caso de la operadora Digitel, se puede evidenciar que existen pequeñas y medianas poblaciones pertenecientes a nuestra zona insular comprendida por las Islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla que se encuentran

desatendidas ya sea por no poseer ningún servicio de telecomunicaciones por falta de cobertura o por poseer un servicio de telecomunicaciones con tecnología 3g.

Fuentes para el Análisis Cualitativo Cobertura Móvil Operadora MOVISTAR:

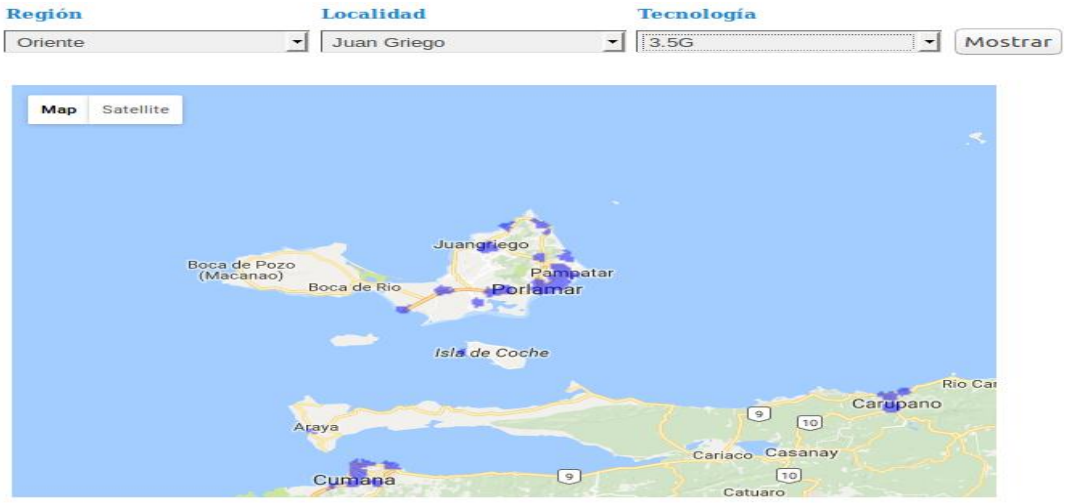



Figura 7. MOVISTAR. Mapa de Cobertura 3.5 G Estado Nueva Esparta.
Fuente: Telefònica Venezolana C.A. (2017).

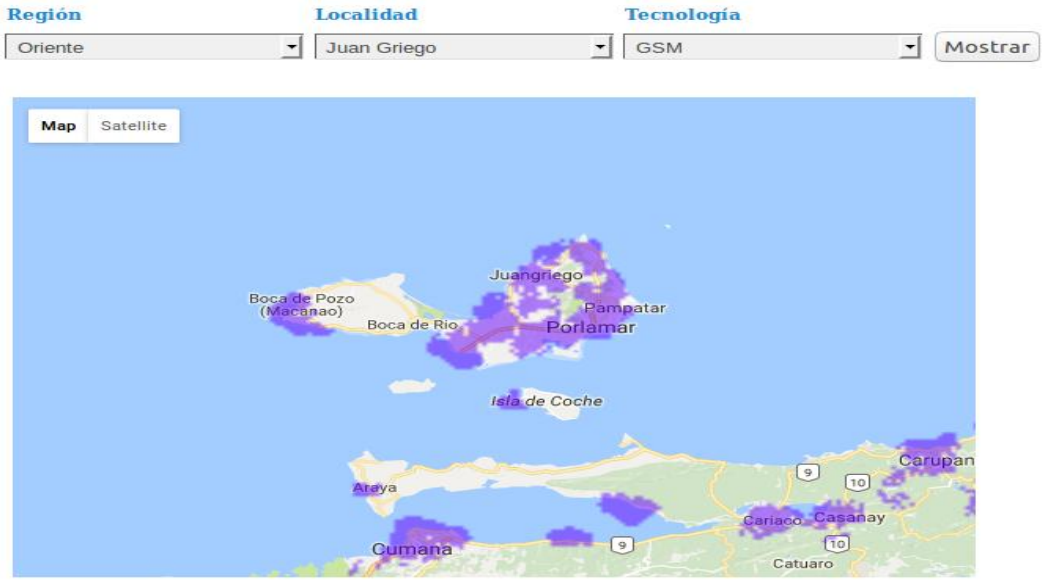



Figura 8.MOVISTAR.Mapa de Cobertura GSM Estado Nueva Esparta.
Fuente: Telefònica Venezolana C.A. (2017).

En cuanto a la evaluación gráfica para el caso del operador Telefónica Venezolana C.A. (Movistar), se pudo evidenciar que para el caso de la tecnología 3.5G equivalente a LTE 4G (Figura 7), la misma presenta una cobertura aproximada de un 15 % de toda la isla de Margarita y una presencia casi nula en las demás Islas con apena una pequeñísima porción de cobertura de alrededor de 3% en la isla de Coche. En el caso de la figura 8 que representa la cobertura basada en la tecnología GSM, se puede apreciar una cobertura de aproximadamente un 75% sobre la isla de Margarita y de un 10 o 15% sobre la isla de Coche, con la contraprestación de que esta mayor cobertura ofrecida está basada en una tecnología de segunda generación casi en obsolescencia.

Uniendo los dos análisis en cuanto a la cobertura total 4G, 3G y 2G sobre el diseño de dos de los operadores más importantes en Venezuela (Digitel y Movistar) dado que Movilnet aun no dispone de tecnología 4G sobre el Estado Nueva Esparta, se pude concluir que existen pequeñas y medianas poblaciones pertenecientes a nuestra zona insular comprendida por las Islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla que se encuentran desatendidas ya sea por no poseer ningún servicio de telecomunicaciones por falta de cobertura o por poseer un servicio de telecomunicaciones con tecnología 3G o 2G no adaptado a los nuevos requerimiento alto tráfico de datos, producto de la evolución tecnológica de la nueva era, lo cual tendría un impacto negativo en el desarrollo tecnológico, social, productivo y turístico de la zona

Es por todo ello, que como solución a la problemática planteada, se requiere de un diseño de red de telefonía celular de última generación (LTE-*Advanced*) que brinde cobertura total a cada una de las islas (Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga, La Blanquilla), interconectada a través de enlaces inalámbricos, con base a datos demográficos y demanda promedio de la zona. Que adicionalmente pueda convivir con las tecnologías 2g y 3g ya existentes en

las islas;  Así como la utilización de la tecnología SDR para la red de acceso y las soluciones E-ULTRAN y EPC mediante la utilización de equipos con solución UNI- RAN, que conlleve a una solución integral desde el punto de vista tecnológico con grandes beneficios para la zona, desde el punto de vista, tecnológico, social y económico.

### 1.1.1. Formulación del Problema

¿Qué solución permitiría mejorar la tecnología de red de telefonía móvil celular para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga Y La Blanquilla?

### 1.1.2. Sistemización del Problema

¿Cuál es el tipo y tamaño de las celdas en la cual se basa la propuesta tecnológica?

¿Qué cantidad de nodos y entidades demandará la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF, MME).?

¿Qué solución permite realizar los enlaces entre todas las islas que garanticen un eficiente *handover* y conectividad total?

¿Cómo evaluar u obtener una aproximación en cuanto a los resultados esperados del diseño propuesto?

## 1.2. Objetivos

Se presentan a continuación los objetivos del presente trabajo de investigación que tienen como finalidad presentar una respuesta al problema planteado

### 1.2.1. Objetivo General

- Diseñar una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar el diseño de celdas de la red Móvil
- Determinar cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF, MME).
- Diseñar enlaces entre todas las islas que garantice un eficiente *handover* y conectividad total.
- Evaluar el diseño elaborado a través de un simulador de radio-enlaces.

## 1.3. Justificación de la Investigación

Los actuales servicios 3G implementados, los cuales representan el grueso de la cobertura regional en la que se basa la red de telefonía móvil actual, no cumplen con las exigencias de los usuarios que cada día necesitan más velocidad para usar sus aplicaciones, ver videos por *streaming* o simplemente para navegar por internet. Frente a la saturación y limitación de tasa del 3G nace 4G LTE y su paso evolutivo siguiente LTE-*Advanced,* con tasas mucho mayores que generan mayores velocidades de transmisión de datos y más eficiencia para la comunicación de datos para elevar la capacidad de la red. Es allí donde nace la necesidad de elevar el potencial de comunicaciones e interconexión de las islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Blanquilla y la Tortuga, con el fin de mejorar las demandas actuales de comunicación e incorporar zonas desatendidas mejorando la calidad de vida de sus habitantes, el potencial turístico de la zona y la seguridad marítimo terrestre a través de

un diseño de red de telecomunicaciones basado en la tecnologías de LTE-*Advanced* que provea de cobertura total y en eficiente *handover* entre las islas.

Desde el punto de vista de desarrollo social, la implementación de un diseño de telefonía móvil basado en la tecnología LTE-*Advanced* tendría la capacidad de ofrecer servicios en el campo de la telemedicina y la tele-educación o educación a distancia apoyada en las TIC'S siendo estas tendencias mundiales para atender e integrar a poblaciones de difícil acceso o contrarrestar los problemas de movilidad en zonas de grandes concentraciones demográficas. También tendría la capacidad de aportar servicios relacionados al transporte público por medio del concepto de transporte inteligente (autos conectados). Seguridad pública con el uso de video-cámaras de vigilancia que puedan integrarse a sistemas de información de geo-referencia a través de GPS para la prevención del delito y el uso en las comunicaciones en misiones criticas; Entretenimiento con servicios de video UHD, realidad virtual, video juegos, así como sentar las bases para el desarrollo del IoT (Internet de las cosas), *Smart Grid*, M2M, *Smart Cities*, *Wearables.* En fin, se tendría una red de última generación con altas tasas de tatos y conexiones masivas desde el punto de vista de la conectividad.

Los beneficios desde el punto de vista del usuario se manifestarían en función de la percepción de una muy buena calidad en la experiencia de uso de servicio apoyado por:

- Baja latencia y alta tasas de transmisión de datos.
- Seguridad y confiabilidad en casos de emergencia y ante ataques informáticos.
- Incremento de la movilidad (trenes, aviones) conexiones itinerantes.
- Red inteligente para atender eficientemente diferentes escenarios derivando en una red adaptable y optimizada.

- Mayor eficiencia en el consumo de batería en los equipos móviles del usuario.

Desde el punto de vista de las perspectivas de la red se pudiesen mencionar algunos aspectos como:

- Capacidad y escalabilidad.
- Mayor eficiencia soportada por servicios y técnicas de vitalización y automatización de servicios de red.
- Flexibilidad operativa.
- Mejorar en la eficiencia del consumo energético por bit.
- Mayor cobertura y seguridad para comunicaciones críticas e industriales.
- Diversidad espectral mediante la operación en múltiples bandas sub 6 GHz.

Basado en datos obtenidos a través del INE (2014). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. El diseño propuesto entre las islas Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, estaría beneficiando a un total de 492.826 personas entre 491.610 correspondientes al Estado Nueva Esparta y 2.155 persona aproximadamente del resto de las Islas incluidas en el proyecto; con todo una cantidad de beneficios tecnológicos potenciales, que harían posible el impulso de nuevos productos y servicios asociados a la tecnología, y que seguramente tendría un impacto positivo en los niveles socio-económico de la industria, comercio, el turismo, seguridad marítima e industria pesquera de la zona.

## 1.4. Alcance y Delimitaciones de la Investigación

El proyecto de diseño y planificación, de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para las islas de: Margarita, Coche,

Cubagua, La Tortuga, La Blanquilla, interconectadas a través de enlaces inalámbricos entre las islas solo llego a la fase de planificación y diseño de la solución propuesta a través de un simulador de radio enlaces. Lo cual incluyo:

- Elaborar el diseño de celdas de la red móvil
- Determinar cantidad y ubicación de las eNb, P/S-GW, HSS y PCRF.
- Determinar cantidad y ubicación de MME.
- Determinar ubicación de torres, antenas y grados de cobertura de las mismas.
- Diseñar enlaces entre todas las islas que garantice un eficiente *handover* y conectividad total.
- Presentar resultados del diseño elaborado en un simulador de radio-enlaces.
- Presentar recomendaciones basadas en métodos de optimización.

# CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

En el presente capítulo se describen los antecedentes de la investigación, fundamentos teóricos, conceptos, normas; así como la definición de los términos relacionados directamente con el tema Sistemas de Telecomunicaciones Basado en la Tecnología LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*).

## 2.1. Antecedentes

- Hung, (2016), en su Trabajo de Maestría de Grado: **Desarrollo de una Herramienta de Visualización de Procesos en LTE Basado en el EstándarTS 23.401**, para optar al título Magister en Ingeniería Electrónica, Desarrollo el visualizador “LTEVisualizador” para la recreación del comportamiento del Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS) en LTE (Evolución a Largo Plazo), cuando ejecuta diversos procesos del plano de control. Este trabajo propone el uso de una herramienta computacional para el estudio de los procesos de la red a fin de disminuir la dificultad de análisis en ambientes reales. La interfaz de usuario se ha dispuesto de tal forma que el usuario pueda observar durante la ejecución de cada ciclo de ejecución los mensajes de señalización, su interfaz y su protocolo de transporte.

  Para ello se utilizó la metodología de investigación y desarrollo, no experimental de tipo descriptivo. Dentro de la metodología se realizó la selección de los procesos a implementar, los cuales se hicieron en

función de las mejoras que LTE introduce sobre el sistema celular 4G. La codificación del visualizador se hizo en lenguaje java y se estructuró con base a un modelo de capas que diferencia la estructura interna *back-end*, de la gráfica de usuario *front-end*.

Dada las características propias de visualizador, lo convierten en una herramienta didáctica para el estudio del sistema EPS y en particular los procesos en el plano de control los cuales generan un importante tráfico de señalización dentro del mismo. El aporte de dicho estudio fue muy significativo en la fase de optimización del sistema de la red LTE-A propuesto, en cuanto al estudio de los procesos del plano de control en ambientes simulados que permitan las mejoras del diseño de la red a implementar.

Palabras clave: Visualizador, lenguaje Java, *front-end*, *back-end*, Evolución a Largo Plazo (LTE), Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS), estándar TS 23.401, procesos del plano de control, tráfico de señalización.

- Ovando (2015) plantea en su Tesis Doctoral: **Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de LTE en zonas rurales de España en la banda de 800MHz**, para optar al título Doctor en Telecomunicaciones, analizo el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps propuesta para el año 2020 por la Agenda Digital Europea en las zonas rurales de España. Para ello, se propone, la elaboración de un estudio tecno-económico, con un enfoque geográfico. Incorporar la plataforma móvil LTE en 800 MHz y caracterizar las zonas rurales de España en función de su capacidad de desarrollar una competencia entre plataformas y servicios.

  Con respecto a la metodología utilizada. El estudio consistió en la caracterización geográfica de los municipios españoles de menos de 5000 habitantes y un estudio tecno-económico, por medio del modelo

tecno-económico del proyecto Europeo Rocket (Moral, Arambarri, Bravo, Armas, & Vidal, 2010; Moral, 2011), mediante el cual se analizarán las implicaciones técnicas, económicas y regulatorias de del despliegue de LTE 2x10 MHz FDD en 800 MHz.

Dadas las características del estudio donde se ha optó por el modelo tecno-económico como herramienta de análisis. Metodología que incluye análisis de coste-beneficio, análisis de escenarios, análisis de tendencias, opiniones de expertos y modelos cuantitativos que es ampliamente utilizado tanto en el ámbito académico como en la industria. Se tomó dichas técnicas y recomendaciones para la aplicación en la caracterización geográfica y análisis tecno-económico de las zonas que englobo el diseño del sistema LTE-A propuesto.

Palabras clave: LTE, análisis, tecno-económico, zonas rurales, despliegue.

- Ruiz (2014), en su Trabajo Especial de Grado: **Implementación de LTE en la Red Movilnet**, para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos, elaboró una propuesta para la conceptualización técnica y planificación de los protocolos de prueba basados en la tecnología LTE que sirvan de guía para la implementación en la red Movilnet.

  La metodología aplicada implico en primer lugar, examinar los diferentes proveedores que posee Movilnet para el manejo y actualización de la red. En segundo lugar, se procedió al desarrollo de la conceptualización técnica y el plan de ejecución de protocolos de prueba siguiendo las recomendaciones dadas por el *Project Management Institute* (2004) y por Palacios, L. (Gerencia de proyectos, un enfoque latino).

Este trabajo ofreció un enfoque importante en cuanto la implementación de una red LTE a través de las recomendaciones dadas *Project Management Institute* (2004) entre otros enfoques de gerencia de proyecto que sirven como base para actuales y futuras implementaciones de la tecnología LTE en la red de un operador desde un punto de vista procedimental y técnico. Es por todo ello que dicha investigación ofreció orientaciones técnicas y procedimentales en cuanto a la implementación de metodologías PMI aplicadas a proyectos de redes de telefonía móvil a ser tomadas en cuenta en el presente trabajo de investigación en las fases que así lo ameriten.

Palabras clave: LTE, conceptualización, plan de ejecución, metodología.

- Calle (2014), en la XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 254-265, Quito, Ecuador, publicó un artículo titulado **Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE *Advanced***. En el mencionado artículo el autor expone un análisis comparativo de las tecnologías 4G, LTE (*Long Term Evolution*) y LTE-*Advanced* empleadas en la tecnología móvil celular de cuarta generación. Realizando un análisis comparativo a nivel tecnológico de: bandas de frecuencia, arquitectura de red, capa física, esquemas de modulación, velocidades de transmisión, técnicas de múltiples antenas, categoría de equipos de usuario, servicios, aplicaciones de redes desplegadas y lanzamientos comerciales que permitan establecer diferencias, mejoras y evolución entre ambos estándares.

El aporte esperado del mencionado artículo para los efectos de la actual investigación, se fundamentó en obtener una mayor comprensión y entendimiento sobre el análisis de las tecnologías LTE y LTE-A, que provea de mayores bases para optimizar el diseño propuesto en termino de mejoras en la cobertura y capacidades de red, que permita ofrecer servicios y

aplicaciones móviles interactivas de gran ancho de banda y mayores velocidades de transmisión basado en la tecnología LTE-*Advanced*.

Palabras clave: LTE, LTE *Advanced*, OFDM, OFDMA, SC-FDMA, MIMO, CoMP, *Relaying*.

- Ginès (2013) en su Tesis Doctoral: **Planificación y Optimización Automática de Redes Móviles LTE**, para optar al título de Doctor en Telecomunicación, presentó una propuesta que presenta distintos mecanismos automáticos de planificación y optimización de redes LTE y realiza un estudio detallado de sus prestaciones. Su objetivo principal es el de desarrollar mecanismos y algoritmos que permitan la planificación y optimización de redes LTE de forma semiautomática.

  En cuanto a la metodología, esta Tesis Doctoral plantea distintas soluciones complementarias a la cuestión de cómo realizar automáticamente la planificación y optimización de una red de comunicaciones móviles LTE. Concretamente, se busca optimizar la planificación de la red de acceso radio, y las posteriores optimizaciones de la misma, utilizando como dato de entrada la distribución de tráfico observada en tecnologías preexistentes sobre la misma región.

Este estudio ofreció una cantidad de elementos importantes a ser tomados en cuenta para la planificación y optimización de una red LTE, utilizando herramientas y técnicas como simuladores estáticos, dinámicos y algoritmos de localización para la optimización de las prestaciones de la red, menor tiempo de ejecución y calidad de la solución final basado en la tecnología LTE-A.

Palabras clave: LTE, planificación, optimización, redes móviles, simuladores estáticos, simuladores dinámicos, algoritmos de localización.

- Ruiz C. (2012) en su Trabajo Especial de Grado: **Tecnología LTE en la Red de Backhaul de Movilnet en el Casco Central de Caracas**, para optar al título de Especialista en Gerencia de Telecomunicaciones, presentó una propuesta con el objetivo de apoyar el desarrollo de la empresa de telecomunicaciones Movilnet, a través del diseño de una propuesta de implementación de la tecnología *Long Term Evolution* en la Red *Backhaul* del casco central de Caracas que permita tener la solución técnica más acertada para dar transporte a esta tecnología. Para ello se realizó un análisis de la situación actual de la red para cada una de las localidades del casco central de caracas, además de realizar un estudio de cuales radio bases serian incluidas en el despliegue de LTE y su requerimiento de ancho de banda planteado, así como la prioridad de ejecución.

  La investigación realizada fue de tipo descriptiva de campo, utilizando como método para la recolección de información la entrevista, reuniones y mesas de trabajo programadas para situar el contexto de la situación de la red actual y requerimientos técnicos de dicha propuesta con el personal técnico y directivo de la empresa.

Con respecto a los aportes ofrecidos de dicho estudio, se puede afirmar que por presentar elementos similares con la investigación en curso, al estar basado en un diseño con tecnología LTE 4G, contribuyó a enriquecer la base de conocimientos empleada, desde el punto de vista de los factores técnicos evaluados y requeridos para el diseño; así como lo concerniente a los criterios utilizados para el análisis financiero, equipamiento requerido a nivel de la red de transporte y el análisis para la determinación de la relación costo beneficio en términos de inversión, que pudieran ser extrapolados a el diseño del actual proyecto de investigación

Palabras clave: Red de *Backhaul,* LTE, Costo Total de Propiedad.

## 2.2. Fundamentos Teóricos

De acuerdo a lo presentado por Calle (2014), con relación a un Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE-*Advanced* en el marco de las XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Realizadas en Quito (Ecuador), se presentan a continuación, algunos fundamentos teóricos asociados a las tecnologías antes mencionadas con el fin de lograr la mayor comprensión de ambas tecnologías.

### 2.2.1. Principios de Redes Celulares

Según Stallings (2004), la radio celular como tecnica fue desarrollada con el objeto de incrementar las capacidades disponibles para el servicio de telefonia movil basado en radio frecuencias. La forma como esta tecnologia incrementa la capacidad del sistema es mediante la utilizaciòn de sistemas de baja potencia con un alcance de radio mas corto para elempleo de mucho mas transmisores y receptores.

**Organizaciòn de una red celular**

La organización de una red celular está basada en el uso de múltiples transmisores de baja potencia en el rango de 100 W o menos, generando un rango de alcance pequeño en el cual el área se divide en celdas con una antena propia. A cada una de las antenas a ser desplegadas a través de las celdas se le asigna una banda de frecuencias y una estación base que está integrada comúnmente por un trasmisor, un receptor y una unidad de control que apoya el servicio. Para las celdas adyacentes están previstas una asignación distinta de frecuencias con el fin de evitar las interferencias, pudiendo asignar las mimas a celdas lo suficientemente alejadas mediante la

técnica de reasignación de frecuencia para el mejor aprovechamiento de las limitaciones del ancho de banda a utilizar mediante el rango de espectro asignado.

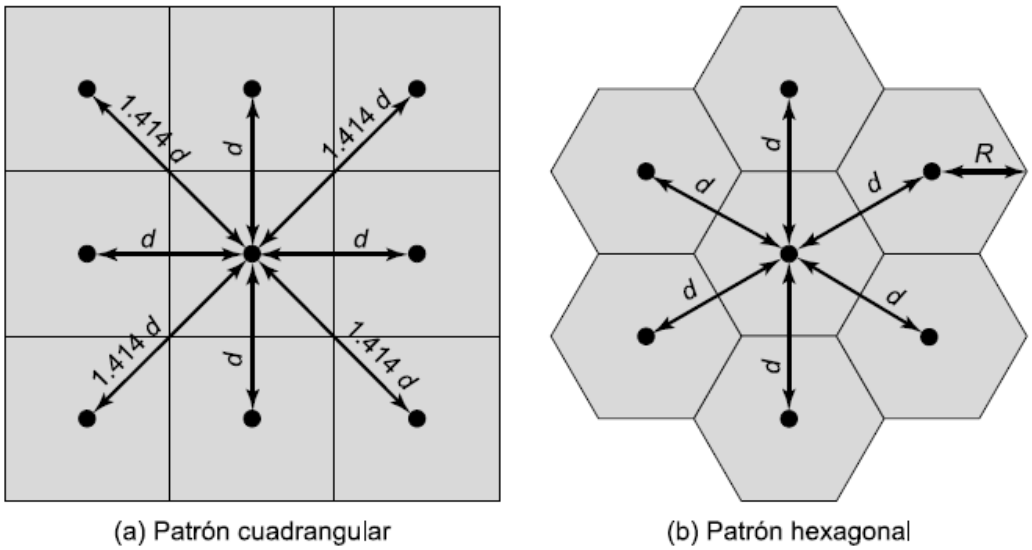



Figura 9. Geometría celular
Fuente: Stallings (2004)

Stallings (2004) afirma que de las diferentes geometrias de diseño de celdas, la geometría celular hexagonal provee un diseño geométrico de antenas equidistantes, donde su radio está definido por el radio de la circunferencia que lo circunscribe (distancia desde el centro a cada vértice, igual a la longitud de un lado del hexágono). Por lo que se puede decir que para un radio de celda R, la distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente es representada en la fórmula de la siguiente figura:

$$d = \sqrt{3\,x\,R}$$

Siendo:

d: distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente.

R: radio de la celda (distancia desde el centro a cada vértice)

Es importante tener presente el cálculo del área para una celda de geometría celular dada por la siguiente formula:

$$A = 1.5 \times R^2 \sqrt{3}$$

Donde:

A: área de una celda con geometría hexagonal

R: Radio de la celda.

**Reutilización de la Frecuencia**

En un sistema celular cada celda posee un transceptor base. Donde la potencia del transmisor es controlada cuidadosamente utilizando una frecuencia dada y permitir la comunicación, todo ello con el fin de limitar la potencia de la frecuencia utilizada que escapa a los límites de la celda alcanzando las celdas adyacentes. El objetivo de la reutilización de frecuencias es utilizar la misma frecuencia en otras celdas cercanas pero lo suficientemente alejadas para no interferir unas con otras, para que estas frecuencias puedan ser empleadas en varias conversaciones simultáneamente. Por lo general en algunas tecnologías se asignan entre 10 y 50 frecuencias a cada celda de acuerdo al tráfico esperado.

Es esencial determinar cuántas celdas debe haber entre 2 celdas que utilizan la misma frecuencia para que las mismas no interfieran entre sí. Es por ello que se utilizan los patrones de reutilización de frecuencias, donde un patrón consta de *N* celdas y a cada celda le es asignada una misma cantidad de frecuencias; entonces si *K* es el total de frecuencias asignadas al sistema, cada celda puede disponer de *K/N* frecuencias.

A continuación se presenta en la siguiente figura 2 esquemas de patrones de reutilización de frecuencias:

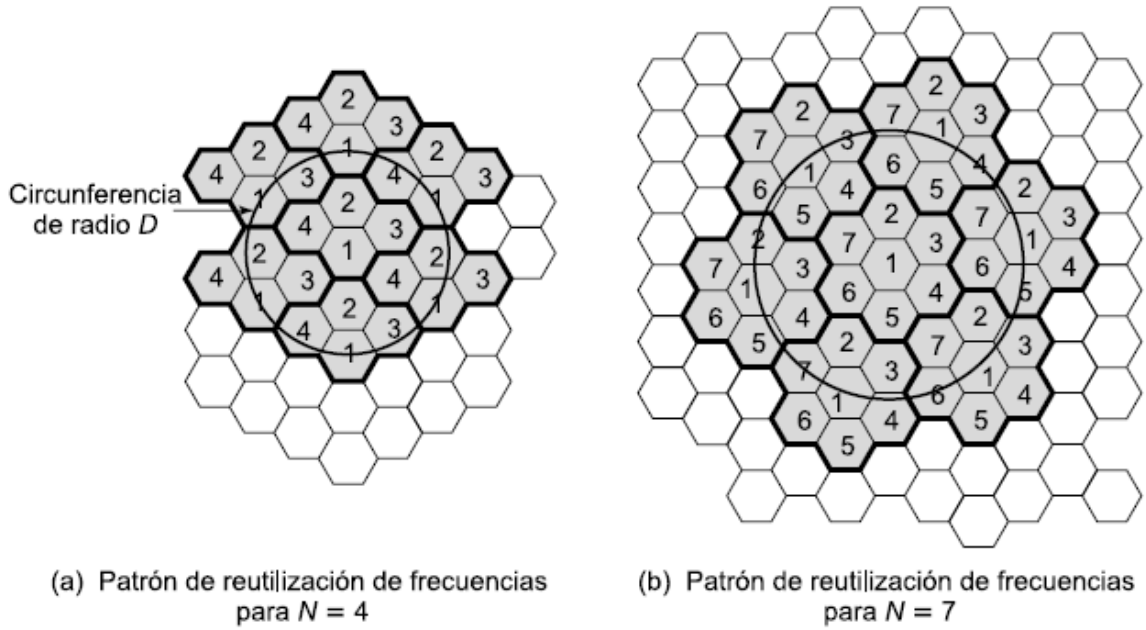



Figura 10. Ejemplo de patrones de reutilización de frecuencias (celdas de geometría hexagonal)
Fuentes: Stallings (2004)

En cuanto a los parámetros comúnmente utilizados para la reutilización de frecuencias tenemos:

D: distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (cocanales).

R: radio de la celda

d: distancia entre los centros de celda adyacentes (d = $\sqrt{3R}$ )

N: número de celdas en cada patrón repetitivo (factor de reutilización)

Donde para un patrón de celdas hexagonal N solo son posibles los valores:

$$\mathbf{N = I^2 + J^2 + (I \times J),\ I, J = 0, 1, 2, 3\ldots}$$

Siendo los valores posibles: 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, y así sucesivamente.

Se verifica la relación siguiente:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$ **; entonces: D =** $\sqrt{3N}$ **x R**

También puede ser expresado como:

$$\frac{D}{d} = \sqrt{N}$$ **; entonces: D =** $\sqrt{N}$ **x d**

**Aumento de la capacidad**

Para el aumento de la capacidad del sistema motivado a un aumento de la demanda de tráfico de la red para que más usuarios puedan hacer uso del sistema, es posible que las frecuencias disponibles para gestionar llamadas en cada celda sean insuficientes. Es por ello se mencionan a continuación una serie de técnicas o alternativas para el aumento de dichas capacidades del sistema:

- Adición de nuevos canales: Esta acción es tomada cuando existen canales en reserva que previamente en el diseño inicial no fueron utilizados.
- Uso de frecuencias prestadas: Acción que se basa en la posibilidad de que celdas congestionadas pueden tomar prestadas frecuencias de las celdas adyacentes si así fuese necesario.
- División de celdas: Dado que las características topográficas donde se realiza el despliegue de las celdas no son uniformes en la práctica, para conseguir un aumento de las capacidades de la red. Las celdas en zona de alto tráfico pueden dividirse en celdas más pequeñas.

- Sectorización de celdas: Esta técnica se basa en la división de la celda en sectores en forma de cuña, donde cada uno de los sectores dispone de su propio conjunto de canales. Se emplean generalmente 3 o 6 sectores por celda, mediante antenas direccionales.
- Micro-celdas: Hace referencia a la configuración de celdas más pequeñas que pueden estar ubicadas en tejados o laterales de edificios, colinas entre otros.

A continuación, se presentan los parámetros típicos para el diseño de celdas:

| | Macrocelda | Microcelda |
|---|---|---|
| Radio de la celda | 1 a 20 km | 0,1 a 1 km |
| Potencia de transmisión | 1 a 10 W | 0,1 a 1 W |
| Variación media del retardo de propagación | 0,1 a 10 μs | 10 a 100 ns |
| Velocidad máxima | 0,3 Mbps | 1 Mbps |

Figura 11. Parámetros típicos para macro-celdas y micro-celdas
Fuente: Stallings (2004)

**Efectos de Propagación en Radio Móvil**

Ciertas complejidades que no son propias en las comunicaciones por cable o en las comunicaciones inalámbricas se mencionan a continuación en el caso de las comunicaciones móviles:

- Potencia de la señal:
  - La potencia de la señal entre la estación base y la unidad móvil debe ser suficiente para mantener la calidad de la señal en el equipo receptor.

    - La potencia de la señal de la celda no debe interferir demasiado con canales de otras celdas que utilizan la misma banda de frecuencia.
    - La potencia de la señal varia como una función de la distancia entre la estación base y cualquier punto dentro de la celda.
    - A medida de que la unidad móvil se desplaza dentro de la celda la potencia de la señal varía dinámicamente.
- Desvanecimiento: Aun estando dentro del rango efectivo la potencia de la señal, dado los efectos de la propagación se puede interrumpir la señal y generar errores como consecuencia de dicho fenómeno.

Es importante destacar que los efectos de propagación son dinámicos y difíciles de predecir. De allí la importancia de aplicar modelos de propagación basándose en datos empíricos y aplicarlo a un entorno dado que pueda orientar sobre el tamaño de celda requerido.

A continuación, se describe uno de los modelos más ampliamente utilizados:

***Modelo Okumura Hata***

Desarrollado Okumura et al. Y refinado por Hata. El modelo Okumura-Hata obtuvo varios resultados siendo el principal un conjunto de curvas que proporcionan: el nivel de atenuación media relativa respecto al espacio libre en función de la frecuencia, la distancia entre el transmisor y receptor, y las alturas de las antenas para la estación base. Obtuvo adicionalmente algunos factores de corrección específicos para analizar diferentes tipos de trayectos. La ecuación del modelo de Okumura-Hata para entornos urbanos está definida por la siguiente figura:

$$L_{dB} = 69{,}55 + 26{,}16 \log f_c - 13{,}82 \log h_t - A(h_r) + (44{,}9 - 6{,}55 \log h_t) \log d$$

donde

$f_c$ = frecuencia de la portadora en MHz desde 150 hasta 1.500 MHz.

$h_t$ = altura de la antena emisora (estación base) en m, desde 30 hasta 300 m.

$h_r$ = altura de la antena receptora (estación móvil) en m, desde 1 hasta 10 m.

$d$ = distancia de propagación entre las antenas en km, de 1 a 20 km.

$A(h_r)$ = factor de corrección para la altura de la antena móvil.

Figura 12. Formula perdida de trayectoria Okumura-Hata para entornos urbanos.
Fuente: Stallings (2004)

Pérdidas de la trayectoria en un área sub-urbana:

$$\mathbf{L_{db}\ (suburbano) = L_{db}\ (urbano) - 2\ [\log (f_c/28)]^2 - 5{,}4}$$

Pérdidas de la trayectoria en zonas abiertas:

$$\mathbf{L_{db}\ (abierto) = L_{db}\ (urbano) - 4.78\ (\log f_c)^2 - 18.733\ (\log f_c) - 40.98}$$

Factor de corrección A ($h_r$), para el caso de una ciudad pequeña o mediana:

$$\mathbf{A\ (h_r) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_r - (1.56 \log f_c - 0.8)\ dB}$$

Factor de corrección A ($h_r$), para el caso de una ciudad grande:

$$\mathbf{A\ (h_r) = 8.29\ [\log (1.54 \times h_r)]^2 - 1.1\ dB\ para\ f_c <= 300\ MHz}$$

$$\mathbf{A\ (h_r) = 3.2\ [\log (11.75 \times h_r)]^2 - 4.97\ dB\ para\ f_c >= 300\ MHz}$$

Este modelo está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el cálculo de pérdidas de propagación. La UIT en su recomendación M.1641-1 propone utilizar una altura de antena de recepción igual a 1.5 m, valor típico en aplicaciones móviles.

### 2.2.2. Tecnologías LTE

De acuerdo en un estudio realizado por Calle (2014) con relación a un Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE-*Advanced* en el marco de las XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Realizadas en Quito (Ecuador) presento algunos fundamentos teóricos asociados a las tecnologías antes mencionadas con el fin de lograr la mayor comprensión de ambas tecnologías.

En cuanto a la definición de la tecnología LTE, Calle (2014) afirma que:

> LTE nace con el objetivo de superar a sistemas previos en velocidad de transmisión, capacidad, eficiencia y movilidad, para lo cual se ha desplegado un conjunto de técnicas tanto a nivel de hardware como de software, para que de esta forma LTE sea considerada una tecnología superior a cualquier otra. (p. 254)

Con respecto a la la tecnologia LTE-*Advance*Calle (2014) menciona que:

> LTE A*dvanced* es una mejora de LTE, lo que le posibilita utilizar las mismas bandas de frecuencia y adicionar otras, compartir la misma arquitectura, el mismo plano de usuario; sin embargo gracias a las nuevas técnicas y mejoras en varios aspectos que incorpora LTE-*Advanced*, es posible incrementar el rendimiento, mejorar la calidad de la señal, incrementar la cobertura, disminuir la latencia y alcanzar mayores velocidades de transmisión como las propuestas por el IMT *Advanced* para tecnologías 4G. (p. 254)

De acuerdo a los conceptos antes expuestos se puede inferir entonces que LTE-*Advanced* no es realmente una nueva tecnología, sino que añade características a su predecesor LTE para alcanzar los parámetros exigidos por 4G. Es por ello que a que en esta sección se describirá la tecnología LTE y en

su momento las características que añade LTE-A para una mejor comprensión de las bases teóricas que sustentaran el presente trabajo de investigación.

Por otro lado, es importante destacar que todos los servicios en LTE-A incluyendo los servicios de voz son soportados por el protocolo de internet (IP), basado completamente en la conmutación de paquetes a diferencia de otras tecnologías predecesoras que se basan en mayor o menor medida aun en la conmutación de circuitos.

También es relevante mencionar con el fin de evitar alguna confusión en el lector, que algunas corrientes afirman que LTE-A es realmente una tecnología 4G mientras que otras ya engloban a LTE dentro de esta categoría y enmarcan a LTE-A en la categoría 5G, lo que quizás pudiera entenderse como una cuestión semántica o de estrategias de mercadeo corporativo para el lanzamiento de nuevos productos y servicios.

En la figura 9, se muestra una panorámica de la evolución tecnológica celular en cual refleja un mercado dinámico en términos evolutivos.

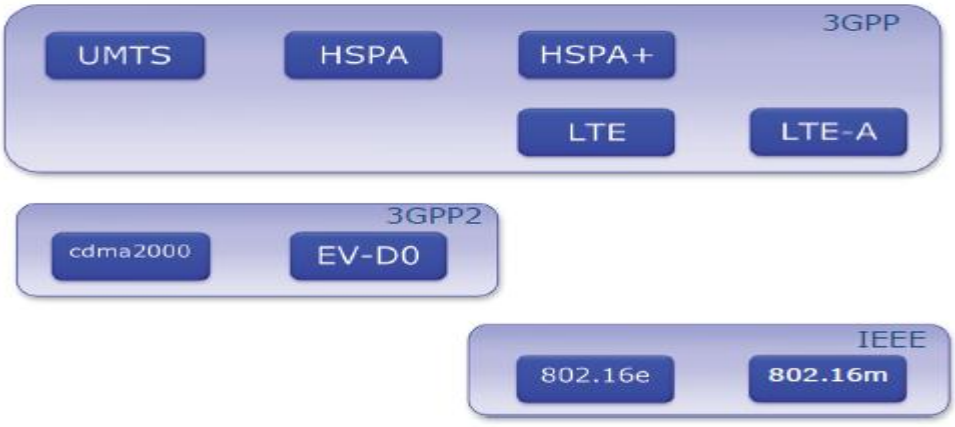



Figura 13. Panorámica de sistemas móviles celulares 3G/4G
Fuente: Agusti (2010)

### 2.2.3. Características LTE

A continuación, se exponen los requerimientos básicos de LTE de acuerdo a por la Networks (2014):

| MÉTRICA | REQUERIMIENTO |
|---|---|
| Velocidad Máxima | DL: 326Mbps<br>UL: 86.4Mbps<br>(para un espectro de 20MHz) |
| Soporte de Movilidad | Hasta 500 Km/h. Optimizado a bajas velocidades de 0 a 15 Km/h |
| Latencia del Plano de Control<br>(Tiempo de transición al estado activo) | Menos de 100ms para pasar de idle a active |
| Latencia del Plano de Usuario | Menos de 5ms |
| Capacidad del Plano de Control | Más de 200 usuarios por celda (para un espectro de 5Mhz) |
| Cobertura<br>(Tamaño de las celdas) | De 5 a 100km (pequeña degradación a partir de los 30km) |
| Flexibilidad Espectral | 1.4, 3, 5, 10, 15, y 20MHz |
| Modos de Operación | TDD y FDD |

Figura 14. Requerimientos LTE
Fuente: Networks (2014)

De acuerdo a Calle (2014) entre los principales elementos de LTE se pueden destacar:

- Arquitectura de Red: Forman parte de ella entidades y protocolos de red asociados.
- Interfaz Radio de LTE: Esta interfaz permite la interconexiòn, el envìo de trafico y la señalizaciòn entre los UE y las eNBs, para posteriormente la informaciòn transmitida sea canalizada por la red troncal.

Tecnologias de Nivel Fisico: Son todas aquellas tecnologias empleadas para el UL (*Uplink*) como para el DL (*Downlink*).

El sistema MIMO: Se basa en la utilizaciòn de multiples antes para mejorar e incrementar las velocidades de transmisiòn en el UL y en el DL.

### 2.2.4. Arquitectura LTE

Cox (2012) afirma que la tecnologia LTE utiliza la conmutaciòn de paquete para el transporte de datos. A continuciòn se presenta el esquema de la arquitectura LTE a traves de la figura 15:

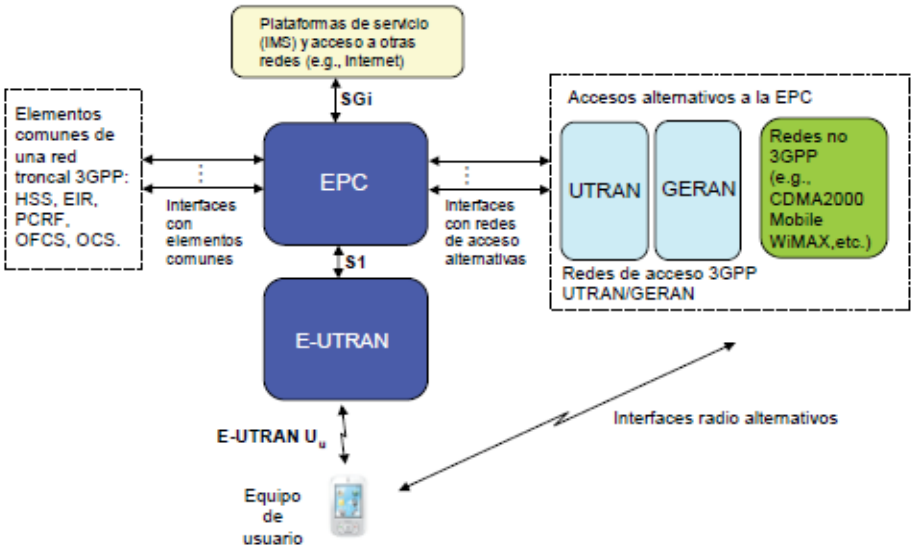



Figura 15. Arquitectura LTE
Fuente: Agusti (2010)

La red de acceso E-UTRAN y la red tronal EPC, ofrecen servicios para el transporte de datos basados en paquetes IP, entre el UE (Equipo de Usuario), redes de paquetas externas y internet. Tambien es de acotar que la arquitectura de LTE y LTE *Advanced* es la misma. Su diferencia fundamental esta en la arquitectura E-UTRAN donde se incorpora una arquitectura adicional basada en *relay nodes*.

#### *Red de Acceso Radio E-UTRAN*

De acuerdo a Cox (2012) la red de acceso E-UTRAN brinda la conectividad entre el UE y la EPC.

Calle ( 2014) expone en su trabajo Estudio y Analisis Tecnico entre las Tecnologias LTE y LTE Advanced que La arquitectura E-UTRAN corresponde a la red de acceso formada por los eNBs (*evolvedNode B*) encargadas de la conectividad entre el UE (Equipo de Usuario) y la EPC (*EvolvedPacketCore*).

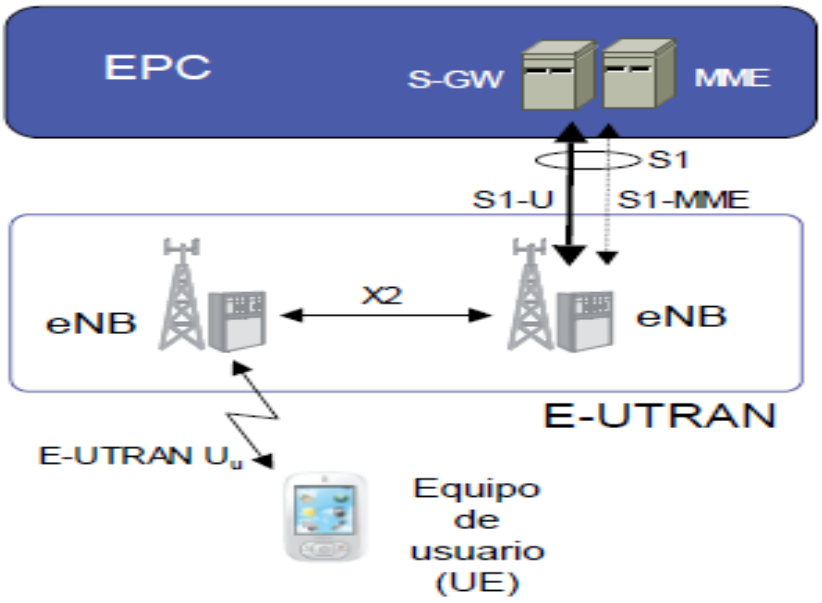



Figura 16. Red de Acceso E-UTRAN
Fuente: Agusti (2010)

En la figura 16 se puede visualizar la entidad eNB, la cual representa el componente clave de E-UTRAN. Esta entidad es la encargada de brindar conectividad entre el UE y la red troncal EPC. E-UTRAN dispone de varias interfaces para lograr dicha conectividad, entre ellas destacan como podemos visualizar en la figura antes mencionada:

- E-Utran$U_u$: Es una interfaz utilizada para conectarse a los UE a través de los protocolos AS (*Access Stratum*) encargados de gestionar los recursos de radio.
- Interfaz X2: Utilizada para conectar los eNBs entre sí con el fin de realizar el intercambio de señalización para la gestión de los recursos

radio y el tráfico de los usuarios cuando se desplazan de un nodo a otro a través del *handover*.

- S1: Permite conectarse a la red troncal EPC. Adicionalmente esta interfaz está dividida en:
    - S1 MME: Utilizada para el plano de control: protocolos para la gestión de la interfaz.
    - S1 U: Plano de usuario. Esta interfaz engloba protocolos para él envió de trafico de usuario a través de la interfaz.

***La arquitectura EPC***

De acuerdo a Cox (2012), Representa al núcleo del sistema y está formado por 3 entidades: MME (*Mobility Maganement Entity*), S-GW (*Serving Gateway*) y P-GW (*Packet Data Network Gateway*) junto con la base de datos principal HSS (*Home Subscriber Server*) forman los elementos básicos para la proporcionar los servicios de conectividad IP entre los UE conectados a través de E-*UTRAN*. Ver figura 17:

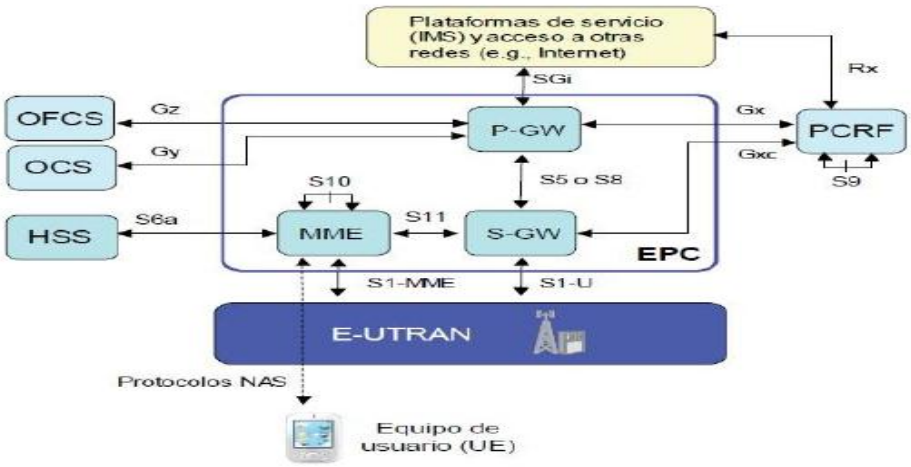



Figura 17. Arquitectura EPC
Fuente: Agusti (2010)

***IMS (IP Multimedia Subsystem):***

Forma parte del núcleo LTE donde residen los servidores, bases de datos y *gateway*. Proporciona mecanismos de control para aprovisionar servicios basados en IP. IMS permite la interacción con redes de conmutación de circuito como PSTN o redes celulares con otras tecnologías. A continuación, se presenta el esquema simplificado del subsistema IMS.

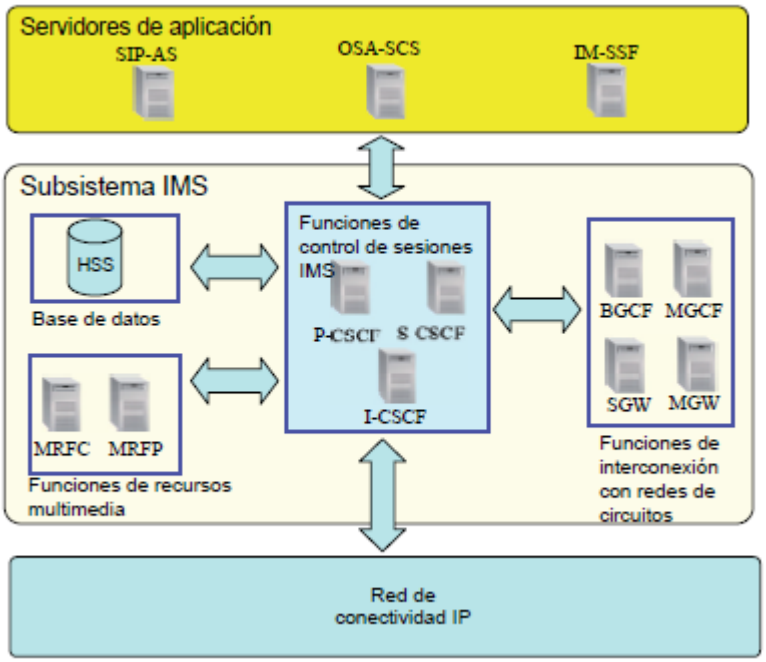



Figura 18. Arquitectura simplificada del sistema IMS
Fuente: Agusti (2010)

***UE: Equipo de usuario***

Es el dispositivo que permite acceder a los usuarios a la interfaz radio. Entre los elementos que lo componen destacan:

- Módulo USIM (UTMS *Subscriber Identification*)**:** Su función es la identificación del usuario dentro de la red independientemente del

equipo utilizado. Al existir una separación de la USIM del equipo, facilita el cambio de equipo sin cambiar de identidad.

- Equipo: Permite la interacción del usuario con los con los servicios que provee la red.

### 2.2.5. Interfaz Radio de LTE:

De acuerdo a Cox (2012) y Taha (2012) la interfaz radio permite la interconexiòn entre el UE y los eNBs. Dicha interfaz permite la interconexiòn, el envìo de trafico y la señalizaciòn entre los UE y las eNBs, para posteriormente mediante la interfaz S1 (ver figura 19) la informaciòn transmitida sea canalizada por la red troncal.

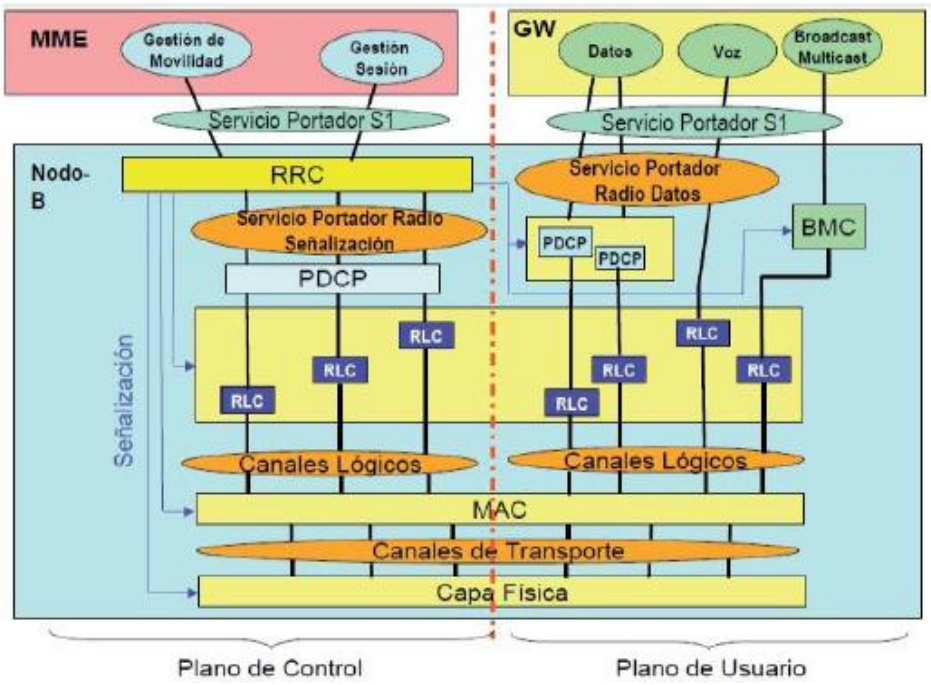



Figura 19. Interfaz Radio LTE
Fuente: Agusti (2010)

La interfaz radio soporta tres tipos de mecanismos de transferencia de informacion en el canal:

- Difusion de señalizacion de control: Realiza difusiòn (*broadcast*) en la zona de cobertura de la celda, para que los UE puedan detectar a los eNB, conocer la potencia maxima a utilizar en la celda, entre otros.
- Señalizaciòn de control dedicada: Utiliza una conexiòn dedicada para gestionar los servicios RB y realizar la señalizaciòn con la red troncal EPC. Mediante un protocolo llamado RRC (*Radio Resource Control*) se gestiona el establecimiento o liberaciòn de servicios RB para controlar los mecanismos de movilidad handover que permiten que un UE cambie de celda, manteniendo activos la conexiòn de control y los servicios RB.
- Transferencia de Paquetes IP: Ofrece servicios de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un UE denominados servicios portadores de radio RB (*Radio Bearer*). Entre algunas funciones destaca: la compresiòn de cabecera de paquetes IP para reducir un numero de bytes enviados y asi optimizar el trafico de la interfaz radio.

Se describe a continuaciòn en el siguiente esquema generico, los elementos y protocolos que forman parte de la interfaz radio:

### *Protocolos de la Interfaz Radio*

De acuerdo a Calle (2014), los protocolos de la interfaz radio permiten que los equipos de usuario (UE) se comuniquen con los eNB a traves de la interfaz aire.

Una torre de protocolos sustenta el envio de paquetes IP entre el eNB y el UE. Este conjunto de protocolos esta formado por una capa de enlace y una capa

fisica, la capa de enlace esta formada por tres sub-capas las cuales se describen a continuaciòn:

- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*)
- RLC (*Radio Link Control*)
- MAC (*Medium Access Control*)

Adicionalmente esta arquitectura se divide en dos planos:

- Plano de control: Controla las transferencias de datos en la red y las conexiones de los UE con la UTRAN.
- Plano de usuario: Controla todos los protocolos responsables de la transferencia de datos de usuario.

Es importante destacar que la interrelación de los dos planos y diferentes protocolos se logra a través de los canales lógicos, de transporte y físicos.

Los planos de control y de usuario de LTE y LTE-A son idénticos ya que utilizan la misma torre de protocolos en las interfaces y entidades de red.

Figura 20. Protocolos Interfaz Radio
Fuente: Calle (2014)

### *Capa Fisica*

Calle (2014) nos indica que esta capa se encarga de la trasmision a traves del canal radio. Entre algunas de sus funciones se encuentran:

- La codificación del canal
- La modulación y procesado asociado a MIMO

Dentro de los servicios que ofrece se puede destacar la transferencia a la capa MAC o canales de transporte, utilizando diferentes esquemas de transmisión y modulación.

| | |
|---|---|
| Uplink (UE a eNB) | Transmisión: SC-FDMA<br>Modulación: QPSK y 16QAM. También 64QAM en función de la capacidad del UE |
| Downlink (eNB a UE) | Transmisión: OFDMA<br>Modulación: QPSK, 16QAM y 64QAM |

Figura 21. Esquema de Transmisión
Fuente: Agusti (2010)

Los esquemas de modulación a utilizar dependerán de la relación SNR. A mayor SNR se podrán utilizar esquemas de modulación de mayor orden. En ambos esquemas la separación entre sub-portadoras es de 15 KHz.

A continuación, se presenta un esquema de modulación general:

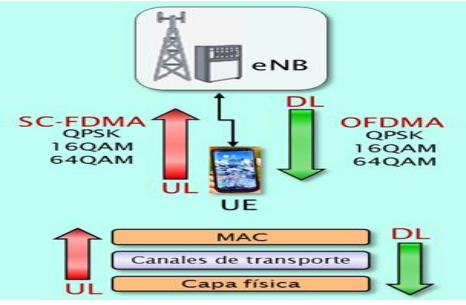



Figura 22. Esquemas de Modulación
Fuente: Agusti (2010)

Es importante destacar de acuerdo a Calle (2014) que LTE-A usa el esquema de acceso a clusteres DFT-S-OFDM que es una evoluciòn de SC-FDMA por lo que emplea multiples portadoras.

### *Frecuencia de Operación de LTE*

Según lo descrito por Calle (2014) LTE opera en las bandas altas de UHF, ubicada entre los 450 MHz y los 3.5 GHz. El estandar LTE define hasta 40 bandas de operaciòn para trabajar en modo FDD (Duplexaciòn por diviciòn de frecuencia) y TDD (Duplexaciòn por divisiòn de tiempo). LTE-A aparte de poder utilizar las bandas LTE adiciona 5 bandas de la 18 a la 22 manteniendo la compatibilidad con versiones anteriores.

Canles soportados por la bandas LTE:

Los operadores de LTE pueden adquirir canales con ancho de banda variables de acuerdo a sus necesidades. Este tipo de ancho de banda se consiguen mediante unos recursos fisicos llamados PRB. Con respecto al ancho de banda de los canales LTE tenemos: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz. A continuación, se presenta las bandas asignadas para LTE y LTE-A:

| Banda de operación | Uplink | | Downlink | | Ancho de banda tanto en *uplink* como en *downlink* [MHz] | Espaciamiento entre *uplink* y *downlink* [MHz] | Modo Dúplex |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Low [MHz] | High [MHz] | Low [MHz] | High [MHz] | | | |
| 1 | 1920 | 1980 | 2110 | 2170 | 60 | 130 | FDD |
| 2 | 1850 | 1910 | 1930 | 1990 | 60 | 20 | FDD |
| 3 | 1710 | 1785 | 1805 | 1880 | 75 | 20 | FDD |
| 4 | 1710 | 1755 | 2110 | 2155 | 45 | 355 | FDD |
| 5 | 824 | 849 | 869 | 894 | 25 | 20 | FDD |
| 6 | 830 | 840 | 875 | 885 | 10 | 35 | FDD |
| 7 | 2500 | 2570 | 2620 | 2690 | 70 | 50 | FDD |
| 8 | 880 | 915 | 925 | 960 | 35 | 10 | FDD |
| 9 | 1749.9 | 1784.9 | 1844.9 | 1879.9 | 35 | 60 | FDD |
| 10 | 1710 | 1770 | 2110 | 2170 | 60 | 340 | FDD |
| 11 | 1427.9 | 1452.9 | 1475.9 | 1500.9 | 25 | 23 | FDD |
| 12 | 698 | 716 | 728 | 746 | 18 | 12 | FDD |
| 13 | 777 | 787 | 746 | 756 | 10 | 21 | FDD |
| 14 | 788 | 798 | 758 | 768 | 10 | 20 | FDD |
| 15 | 1900 | 1920 | 2600 | 2620 | 20 | 680 | FDD |
| 16 | 2010 | 2025 | 2585 | 2600 | 15 | 560 | FDD |
| 17 | 704 | 716 | 734 | 746 | 12 | 18 | FDD |
| 18 | 815 | 830 | 860 | 875 | 15 | 30 | FDD |
| 19 | 830 | 845 | 875 | 890 | 15 | 30 | FDD |
| 20 | 832 | 862 | 791 | 821 | 30 | 71 | FDD |
| 21 | 1447.9 | 1462.9 | 1495.9 | 1510.9 | 15 | 33 | FDD |
| 22 | 3410 | 3500 | 3510 | 3600 | 90 | 10 | FDD |
| 33 | 1900 | 1920 | 1900 | 1920 | 20 | 0 | TDD |
| 34 | 2010 | 2025 | 2010 | 2025 | 15 | 0 | TDD |
| 35 | 1850 | 1910 | 1850 | 1910 | 60 | 0 | TDD |
| 36 | 1930 | 1990 | 1930 | 1990 | 60 | 0 | TDD |
| 37 | 1910 | 1930 | 1910 | 1930 | 20 | 0 | TDD |
| 38 | 2570 | 2620 | 2570 | 2620 | 50 | 0 | TDD |
| 39 | 1880 | 1920 | 1880 | 1920 | 40 | 0 | TDD |
| 40 | 2300 | 2400 | 2300 | 2400 | 100 | 0 | TDD |
| 41 | 3400 | 3600 | 3400 | 3600 | 200 | 0 | TDD |

Figura 23. Bandas Asignadas LTE (negro) LTE-A (rojo)
Fuente: Korowajczuk (2011)

### *Bloque de Recurso Fisico PRB*

De acuerdo a Agusti (2010) se puede definir como el minimo elemento de informaciòn que se asigna el eNB a un UE.

Este PRB en el dominio de la frecuencia contiene un bloque de 12 sub-portadoras las cuales estan separadas en un rando de 15 KHz entre si, y que en un conjunto ocupan 180 KHz de ancho de banda (12 x 15 KHz)

Se presenta a continuaciòn para una mayor comprensiòn de la esplicaciòn el esquema PRB de un canal LTE-A:

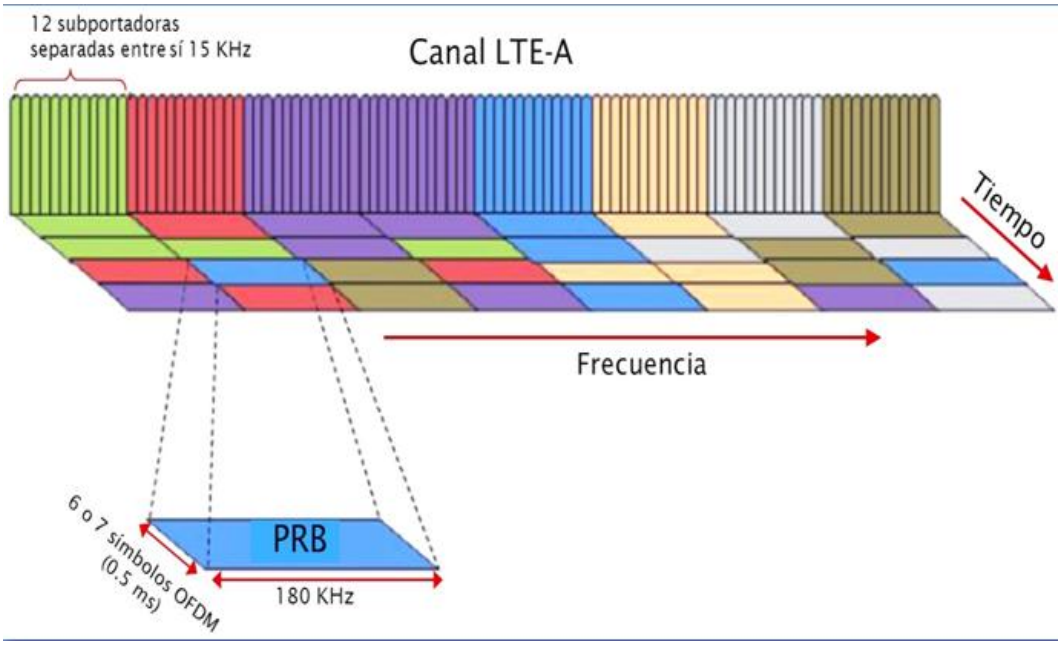



Figura 24. Esquema de un PRB
Fuente: Agusti,(2010)

En el dominio del tiempo un intervalo con 6 o 7 simbolos OFDM de 0.5 ms, corresponde a la duraciòn de un slot dentro de la trama LTE. Los recursos fisicos se distribuyen a traves de la estructura de la trama.

A continuaciòn en la siguiente figura se muestra el número de PRBs asociados a cada ancho de banda y su relación con el número de subportadoras, adicionalmente se presentan las velocidades pico globales en la interfaz aire para los distintos anchos de banda:

| **Ancho de Banda [MHz]** | 1.4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Número de *PRB*** | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| **Velocidad pico total [Mbps]** | ≈6 | ≈15 | ≈25 | ≈50 | ≈75 | ≈100 |
| **Velocidad pico bruta de usuario [Mbps]** | ≈5.1 | ≈12.8 | ≈21 | ≈42.5 | ≈63.7 | ≈85 |

Figura 25. Relación entre el número de PRBs, el número de sub-portadoras y la velocidad de transmisión para los diferentes anchos de banda que aneja LTE.
Fuente: Calle (2014)

***Velocidad de Transmisión de un PRB***

De acuerdo a Agusti (2010), la velocidad de transmisiòn pico de un PRB esta ubicado aproximadamente en 1Mbs. Un PRB dispone de 84 RE (Recurso Elemental).

***Cálculo de la Velocidad de un PRB***

El RE es una sub-portadora modulada en el tiempo de un símbolo. Un PRB está compuesto de 7 símbolos con 12 sub-portadoras asociadas a cada uno de ellos. Por consiguiente un PRB dispone de 84 RE (12x7) en donde se ubican los símbolos QPSK, 16QAM o 64 QAM. Utilizando una modulación de 64 QAM que transmite 6 bits/símbolo, un PRB puede transmitir hasta 504 bits (84x6) cada 0.5 ms, aproximadamente 1Mbps.

***Numero de PRB por Canal***

Para realizar este cálculo es necesario tomar en cuenta que un PRB tiene un ancho de banda de 180 KHz.

| Número de PRB y Sub-Portadoras en un Canal PRB | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho de Banda | 1.4 MHz | 3 MHz | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
| Número de PRB | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Número de Sub-Portadoras | 73 | 181 | 301 | 601 | 901 | 1201 |

Figura 26. Número de PRB y Sub-Portadoras en un Canal PRB
Fuente: (Agusti, 2010).

Es importante destacar que el número de sub-portadoras en un canal es 12 x (número de PRB) +1; una de las sub-portadoras la central (DC) no se utiliza para transmitir información, sino para para facilitar los mecanismos de ajuste y sincronización en frecuencia del receptor.

### *Velocidad de Transmisión de un Canal LTE*

Según lo afirmado por Calle (2014), La velocidad de transmisión pico de un canal llega hasta 100 Mbps. Con la tecnologia MIMO la velocidad de transmisiòn puede llegar a ser mucho mayor.

### *Velocidad Pico de un Canal LTE*

Para el cálculo de esta velocidad se debe considerar:

- La velocidad de transmisión pico de un PRB (1Mbps aproximadamente)
- Cantidad de PRB en el canal.

Para un sistema sin multiplexado espacial (MIMO), presentamos a continuación la siguiente figura:

| Velocidad Pico en Sistemas LTE sin MIMO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho de Banda | 1.4 MHz | 3 MHz | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
| Número de PRB | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Velocidad Pico Mbps | ≈6 | ≈15 | ≈25 | ≈50 | ≈75 | ≈100 |
| Velocidad Pico Bruta de Usuarios | ≈5,1 | ≈12,8 | ≈21 | ≈42,5 | ≈63,7 | ≈85 |

Figura 27. Velocidad Pico en Sistemas LTE sin MIMO
Fuente: (Agusti, 2010).

### 2.2.6. La Trama LTE

Según lo descrito por Agusti (2010) la trama LTE permite la distribución de los recursos físicos en el dominio del tiempo. Los recursos fisicos En el dominio temporal, se distribuyen a través de estructuras de tramas, aplicando para ambos enlaces UL y DL, pudiendo trabajar tanto para el modo FDD como el TDD, teniendo ciertas diferencias las tramas para cada modo.

#### *Estructura de la Trama*

Esta estructura se divide en tramas de 10 ms, compuestas a su vez por 10 sub-tramas de 1 ms y cada sub-trama formada por 2 slots de 0.5 ms. En cada slot se pueden transmitir 6 o 7 símbolos OFDMA, cada uno de ellos con una duración de 66,7 µs y un prefijo cíclico de 4,7 µs. A continuación, se presenta la siguiente figura descriptiva de la estructura de la trama:

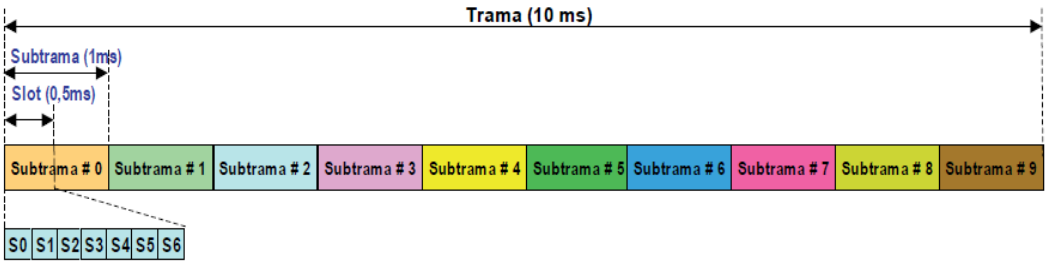



Figura 28.Estructura de Trama LTE
Fuente: Agusti (2010)

### 2.2.6. El sistema MIMO

De acuerdo al trabajo presentado por Calle (2014) se puede afirnar que MIMO es una tecnologia que se basa en la utilizaciòn de multiples antenas para mejorar e incrementar las velocidades de transmisiòn en el UL y en el DL. Esta tecnologia permite explotar tecnicas de multiplexaciòn espacial, de diversidad de transmisiòn-recepciòn, ademas de conformaciòn de haces de radiaciòn.

En cuanto a las velocidades que se pueden alcanzar con MIMO si se implementa la tecnica de 4 x 4 utilizando un ancho de banda de 20 MHz, la velocidad pico sera de 300 Mbps para LTE en el DL, y 75 Mbps en el UL. Cabe destacar que estas velocidades picos alcanzadas dependeran de algunas variables a considerar como:

- Calidad del canal radio
- Numero de usuarios simultaneos en la celda
- Tipo de despliegue realizado por el operador
- Tipos de servicio considerado
- Calidad QoS
- Capacidad del UE

Figura 29. Esquema MIMO
Fuente: (Agusti, 2010)

Para el caso de la tecnologia LTE-A se pueden llegar a prestaciones de 3Gbps en el DL y 1.5 Gbps en el UL, mediante la implementaciòn de las siguientes tecnicas:

- Agregaciòn de portadoras: Permite trabajar con un ancho de banda de 100 Mhz con el uso de 5 portadoras de 20 MHz.
- Tecnica MIMO 8 x 4: Consiste en la utilizaciòn de 8 capas en el DL y 4 en el UL.

## 2.3. Bases Legales

En esta sección se analizará la normativa nacional e internacional aplicables a las redes de telecomunicaciones y en específico a las redes de telefonía celular partiendo de la regulación que atañe a los 5 ámbitos siguientes: Diseño de celdas; para continuar precisando las normas de derecho inherente a la Ubicación de Radio Bases o eNB (*evolvedNodeB*) por sus siglas en inglés, P-GW (*Packet data network Gateway*), S-GW (*Serving-Gateway*), HSS (*Home Subscriber Server*) y PCRF (*Policy and Charging Rules Function*); a la determinación de ubicación y cantidad de MME (*Mobility Management Entity*); a la ubicación de torres, antenas y grados de cobertura de las mismas; y por último, al diseño de los enlaces entre todas las islas, que garantice un eficiente *handover* (movilidad) y conectividad total.

### 2.3.1. Regulación jurídica del Sistema de Telecomunicaciones LTE 4G y Enlaces Inalámbricos para las Islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla

**El proyecto y los órganos administrativos que intervienen en su regulación**:

El proyecto Sistema de Telecomunicaciones LTE 4G (evolución de largo plazo 4ta. generación de tecnologías de telefonía)de Voz, Datos, Videos y Enlaces Inalámbricos para las Islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, consiste en el diseño de una red de telefonía celular basada en la

tecnología LTE 4G *Advanced* para cada una de las islas (Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga, La Blanquilla), interconectadas a través de enlaces inalámbricos, con base en datos demográficos y demanda promedio. Adicionalmente, se desea convivir con las tecnologías 2g y 3g ya existentes en las islas; Así como la utilización de la tecnología de Radio Definido por Software o SDR, por sus siglas en inglés (*Software Defined Radio*) para la red de acceso y las soluciones E-UTRAN (*Evolved-UTRAN)* y EPC (*Evolved Packet System)*.

En Venezuela el órgano rector del sector es el Ministerio del Poder Popular para Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI), que tiene adscrito a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), instituto autónomo que tiene a su cargo el Fondo de Servicio Universal (FSU).

Adicionalmente, el Ministerio del Poder Popular para Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI), tiene adscritos órganos y empresas relacionados con las materias de su competencia (82 en total), entre los que cabe destacar en Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) al Centro Nacional de Tecnologías de la Información (CNTI), la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), la Fundación INFOCENTRO, el Centro Nacional de Desarrollo e Investigación de Telecomunicaciones (CENDIT), el Fondo de Investigación y Desarrollo de las Telecomunicaciones (FIDETEL), las empresas TELECOM Venezuela, y otros. Sobresalen operadores en telefonía fija y móvil, la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV) principal operador del país en telefonía fija, y MOVILNET, filial dedicada a la telefonía. Otras empresas públicas relacionadas con el sector son ALBATEL, Venezolana de Telecomunicaciones (VTELCA), Venezolana de Industria Tecnológica (VIT), ambas dedicadas a ensamblar dispositivos electrónicos, terminales para telefonía celular y equipos de computación.

Desde un punto de vista regulatorio completan el sector la Superintendencia Antimonopolio adscrita al Ministerio del Poder Popular para Economía y Finanzas, así como la superintendencia Nacional para la Defensa de los Derechos Socioeconómico (SUNDEE), adscrita a la Vicepresidencia de la República.

La organización tanto normativa como estructural en sus instituciones demuestra participación activa y directa del Estado coexistente con un modelo regulatorio.

Atendiendo la normativa legal que respaldan la implementación de los objetivos específicos y sus tareas asociadas presentaremos a continuación el sustento jurídico para cada uno de ellos:

***Elaborar el diseño de celdas para la red móvil***

En Venezuela para el uso y explotación del espectro radioeléctrico debe contarse con una concesión, conforme lo prevé el artículo 76 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOTEL) vigente: “Para realizar actividades de telecomunicaciones que impliquen el uso del espectro radioeléctrico los operadores deberán obtener previamente la concesión de uso correspondiente…” (CONATEL, 2011a).

La norma transcrita parcialmente, prevé que las concesiones pueden ser otorgadas mediante oferta pública o adjudicación directa. El procedimiento de oferta pública incluye una fase de precalificación y una de selección, que se realiza bajo las modalidades de subasta o en función de la satisfacción de mejores condiciones.

A continuación, se presentan las porciones del espectro radioeléctrico susceptibles de asignación en concesión de uso y explotación, de acuerdo a la Providencia por la cual se dicta la Reforma Parcial del Cuadro Nacional de

Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) artículo 11, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 1 del artículo 107 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones:

| Porciones |
| --- |
| Por debajo de 230 MHz |
| 235-240 MHz |
| 335-399,9 MHz |
| 410-440 MHz |
| 450-824 MHz |
| 851-869 MHz |
| 896-908 MHz |
| 915-953 MHz |
| 1710-1730 MHz |
| 1805-1825 MHz |
| 1885-1980 MHz |
| 2110-2170 MHz |
| 2200-2483,5 MHz |
| 2,5-2,690 GHz |

Figura 30. Bandas de Frecuencias (CUNABAF)
Fuente: CONATEL (2005b)

De acuerdo a información suministrada por Andriod Venezuela (2017) las bandas de operadoras en Venezuela están distribuidas en:

- Bandas 2G (GSM):
  - Digitel: 900 MHz.
  - Movistar: 850 MHz.
  - Movilnet 850 MHz.
- Banda 3G:
  - Digitel: 900 MHz.
  - Movistar: 1900 MHz.
  - Movilnet 1900 MHz.
- Banda 4G:
  - Digitel: Banda 3 LTE 1800 MHz.
  - Movistar 4: Banda 4 LTE 1700/2100 MHz.
  - Movilnet Banda 4 LTE 1700/2100 MHz.

***Ubicación de las eNb Evolved Node b (Radio Bases), P-GW Packet Data Network Gateway, S-GW Serving-Gateway, HSS Home Subscriber Server y PCRF Policy And Charging Rules Function.***

En esta fase del proyecto se determinará la ubicación de las eNB (Radio Bases) las cuales deben tener una ubicación física, y considerando que la tecnología LTE se basa en redes de paquetes de datos o tecnología IP se tiene que:

CONATEL (2011a), El tratamiento de las “Vías Generales de Comunicación” que hace la Ley Orgánica de Telecomunicaciones LOTEL 2011 de Venezuela; entiende por vías generales de telecomunicaciones los elementos que permiten emplazar los medios físicos necesarios para la prestación de servicios de telecomunicaciones; toda persona que de manera exclusiva o predominante posea o controle una vía general de telecomunicación, deberá permitir el acceso o utilización de la misma por parte de los operadores de telecomunicaciones que se lo soliciten, todos los operadores tienen el derecho de hacer uso de las vías generales de telecomunicación existentes. La coubicación resulta así obligatoria. La convergencia es pues un mandato expreso, contenido en el artículo 24 de la LOTEL (2011): “El Ministerio de Infraestructura, por órgano de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones propiciará la convergencia tecnológica y de servicios, siempre que con ello no se desmejore el acceso a los servicios y su calidad...” (CONATEL, 2011a).

Por otra parte, es importante contemplar lo concerniente a los límites de exposición de las antenas. Y que estos se encuentren dentro de los rangos permitidos de acuerdo a la Providencia Administrativa Sobre las Condiciones de Seguridad ante las Emisiones de Radiofrecuencias Producidas por Estaciones Radio eléctricas Fijas en el Rango de 3 KHZ a 300 GHZ, artículo 6:

"…Los operadores de estaciones radioeléctricas fijas deben asegurar que en las distintas zonas de acceso, el Nivel de Energía Recibida, generada por sus estaciones, no exceda el límite de exposición correspondiente a la frecuencia de operación de cada estación, según lo señalado en la tabla 1, de conformidad con los valores establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 2238 vigente…" (CONATEL, 2014c).

| Tipo de exposición | Gama de frecuencias | Intensidad de campo eléctrico, E (V/m) | Intensidad de campo magnético, H (A/m) | Densidad de potencia de onda plana equivalente, S ($W/m^2$) |
|---|---|---|---|---|
| Ocupacional | 3 - 65 kHz | 610 | 24,4 | – |
| | 0,065 -1 MHz | 610 | 1,6 /$f$ | – |
| | 1 - 10 MHz | 610 /$f$ | 1,6 /$f$ | – |
| | 10- 400 MHz | 61 | 0,16 | 10 |
| | 400 - 2000 MHz | $3f^{1/2}$ | $0{,}008f^{1/2}$ | $f$/40 |
| | 2 - 300 GHz | 137 | 0,36 | 50 |
| Población general | 3 - 150 kHz | 87 | 5 | – |
| | 0,15 - 1 MHz | 87 | 0,73 /$f$ | – |
| | 1 - 10 MHz | $87/f^{1/2}$ | 0,73 /$f$ | – |
| | 10 - 400 MHz | 28 | 0,073 | 2 |
| | 400 - 2000 MHz | $1{,}375f^{1/2}$ | $0{,}0037f^{1/2}$ | $f$/200 |
| | 2 - 300 GHz | 61 | 0,16 | 10 |

**NOTAS:**
1. Los valores límites señalados en esta tabla corresponden a valores eficaces (RMS) sin perturbaciones.
2. f es la magnitud de la frecuencia indicada en la columna *gama de frecuencias*. Se deben omitir las unidades al momento de hacer el cálculo del límite respectivo. Ejemplo: para f = 8 MHz, el límite de campo eléctrico para población ocupacional es 76,25 V/m.
3. El tiempo de promediación es de 6 minutos.

Figura 31. Condiciones de Seguridad ante las Emisiones de Radiofrecuencias Producidas por Estaciones Radio eléctricas Fijas en el Rango de 3 KHZ a 300 GHZ
Fuente: CONATEL (2014c)

Por otra parte, en Venezuela no existe una definición regulatoria para la Banda Ancha, en cuanto a Internet, como el resto de servicios de telecomunicaciones, es un "atributo" que se incorpora a la "Habilitación Administrativa", que es un título habilitante conceptualmente único y que se da para prestar telecomunicaciones en general, referidas en la LOTEL (2011), articulo 4, entendidas las mismas como:

"…toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos, u otros medios electromagnéticos afines, inventados o por inventarse".(CONATEL, 2011a).

Existen otras normativas que influyen en Internet, así, se dictó el 10 de mayo de 2000 el Decreto Presidencial 825 que declara el acceso y el uso de Internet

como política prioritaria para el desarrollo cultural, económico, social y político de la República Bolivariana de Venezuela y posteriormente la Ley Sobre Acceso e Intercambio Electrónico de Datos, Información y Documentos entre los Órganos y Entes del Estado (2012) y la Ley de Infogobierno CONATEL (2013d)

En este sentido, se establece incorporar en el desarrollo de sus actividades, objetivos relacionados con el uso de Internet, su utilización para el funcionamiento operativo de los organismos públicos tanto interna como externamente, hacer uso preferente de Internet en relaciones con los particulares, para la prestación de servicios comunitarios que ofrezca facilidades y soluciones a las necesidades de la población.

***Determinación de ubicación y cantidad de MME (Mobility Management Entity)***

El MME o entidad de administración de movilidad, se encarga de suministrar las funcionalidades de plano de control sobre la red del EPC (Envolved Pack Core).

Esta fase contempla la planificación de la cantidad de equipo MME a utilizar de acuerdo a la demanda operativa requerida.

Los MME son equipo hardware contentivos de software que funcionan como enrutadores y equipos de conmutación, los cuales hacen posible la interconexión entre las antenas base con el núcleo informático que opera a nivel de las centrales utilizando la infraestructura de red convencional para su interconexión, por lo que estarían sujeto a la normativa de internet anteriormente reseñada no existiendo ningún impedimento jurídico para interconectar equipo informáticos a través de medio guiados (cables de cobre

o fibra óptica), dada su naturaleza tecnológica basada en equipos (hardware) de redes de datos.

Adicionalmente para los requerimientos de la interconexión requerida se sustentó por lo estipulado en el Reglamento de Interconexión Publicado en Gaceta Oficial Nº 5735, Extraordinario 11 de noviembre de 2004, Decreto 3225, de fecha 08 de noviembre de 2004, en lo concerniente al artículo 6 de dicho reglamento referente a la obligatoriedad de interconexión en caso de ser requerido:

> "Todo aquel operador que preste servicios de telecomunicaciones al público, mediante una red pública de telecomunicaciones, está obligado a permitir la interconexión a aquellos operadores de la misma naturaleza que lo soliciten…" (CONATEL, 2004e).

Y para tal efecto en la fase de implementación dicho proyecto se sustenta en el artículo 131 LOTEL (2011) en cuanto a las necesidades de interconexión: "La iniciativa de solicitar la interconexión puede partir de cualquiera de los operadores involucrados en la misma…" (CONATEL, 2011a).

***Ubicación de torres, antenas y grados de cobertura de las mismas.***

En esta etapa se contempla la ubicación física de torres y antenas, actividad sustentada por lo contemplado en la LOTEL (2011) concerniente a las vías generales de telecomunicaciones entendiendo por esta lo referido en el artículo 125:

> "…elementos que permiten emplazar los medios físicos necesarios para la prestación de servicios de telecomunicaciones…toda persona que de manera exclusiva o predominante posea o controle una vía general de telecomunicación, deberá permitir el acceso o utilización de la misma por parte de los operadores de telecomunicaciones que se lo soliciten…" (CONATEL, 2011a).

También se atiende lo relativo al tema de las vías generales de telecomunicaciones en lo referente a la coubicación para el emplazamiento de los medios físicos para la prestación de servicios de comunicaciones, que la LOTEL (2011) establece como obligatoria de acuerdo al artículo 127: “Las vías generales de telecomunicaciones podrán ser utilizadas por personas distintas a quien las posea o controle…” (CONATEL, 2011a).

Otros aspectos a ser tomados en cuenta es lo relativo a lo contenido en la Providencia Administrativa Sobre las Condiciones de Seguridad ante las Emisiones de Radiofrecuencias Producidas por Estaciones Radio eléctricas Fijas en el Rango de 3 KHZ a 300 GHZ [17] con respecto a la instalación de estaciones radioeléctricas fijas contenidas en la mencionada providencia referidas en el artículo 9:

> “...La instalación y operación de estaciones radioeléctricas fijas está condicionada a que el Nivel de Exposición Porcentual, en cada zona de acceso, sea menor o igual al cien por ciento (100 %), de conformidad con lo establecido en el artículo 6 de la presente Providencia Administrativa…” (CONATEL, 2014c).

Adicionalmente esta lo relacionado a la coexistencia de antenas transmisora, en caso de coexistir con otras antenas en las torres, que de acuerdo a lo referido en el artículo 10 establece:

> “…cuando un operador de estaciones radioeléctricas fijas requiera emplazar antenas transmisoras sobre una infraestructura de soporte, tales como: torres, mástiles, edificaciones, entre otras, en la cual se encuentren instaladas antenas transmisoras pertenecientes a otros operadores, deberá realizar el estudio y verificación del Nivel de Exposición Porcentual en cada zona de acceso…” (CONATEL, 2014c).

También a lo referente a la altura y distancias mínimas que deben ser tomadas en cuenta para la instalación de las antenas transmisoras de acuerdo al artículo 11: ”...Los operadores de los servicios telefonía móvil…que instalen estaciones radioeléctricas fijas deben considerar los valores establecidos…” (CONATEL, 2014c).

***Diseño De Los Enlaces Entre Todas Las Islas Que Garantice Un Eficiente Handover (Movilidad) Y Conectividad Total.***

En esta fase se desarrollan y diseñan los enlaces puntos a punto inalámbricos con el fin de lograr la conectividad y movilidad del diseño de la red celular entre todas las islas y la ciudad de Cumaná. Por lo tanto se deberá contar con los permisos necesarios para la operación de dichas antenas otorgadas por el ente regulador CONATEL de acuerdo a lo estipulado al Capítulo I Del Procedimiento para la Concesión de Uso y Explotación del Espectro Radioeléctrico, lo cual estipula que para el uso y explotación del espectro radioeléctrico debe contarse con una concesión, conforme lo prevé el artículo 76 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones vigente LOTEL (2011): "Para realizar actividades de telecomunicaciones que impliquen el uso del espectro radioeléctrico los operadores deberán obtener previamente la concesión de uso correspondiente…" (CONATEL, 2011a).

Adicionalmente, dicho objetivo de realizar el diseño de los enlaces entre todas las islas que garanticen la movilidad y conectividad total, estará cumpliendo por lo dispuesto en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones LOTEL (2011) en lo referido en el artículo 130: "Los operadores de redes de telecomunicaciones adoptarán diseños de arquitectura abiertas de red, para permitir la interconexión e interoperabilidad de sus redes…" (CONATEL, 2011a).

También a lo concerniente a la interconexión de redes para una eficiente movilidad de acuerdo a lo referido en el artículo 129: "Los operadores de redes de telecomunicaciones tienen la obligación de interconectarse con otras redes públicas de telecomunicaciones con el objetivo de establecer entre los usuarios de sus servicios, comunicaciones inter-operativas y continuas en el tiempo…" (CONATEL, 2011a).

***Regulaciones Internacionales***

Entre algunas organizaciones relacionadas con la tecnología celular LTE se puede mencionar a: ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), encargada de la estandarización de la industria de las telecomunicaciones de Europa, realizando una contribución significativa en la legislación europea mediante la producción de muchas normas que se utilizan en la aplicación de las directivas europeas. Además aparece registrada en el proyecto 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*), término correspondiente a un grupo que une seis(6) organizaciones pertenecientes a América del Norte, Europa y Asia, que estandarizan a nivel mundial el sector de Telecomunicaciones, definiendo las tecnologías 3GPP, como por ejemplo LTE.

Con respecto a la regulación de la tecnología LTE, dado que el grupo antes mencionado está compuesto por compañías europeas, asiáticas y de América del norte, por cada una de las anteriores mencionadas se encargará su respectiva entidad reguladora nacional o regional de hacer lo propio para el tema de la tecnología LTE. Por ejemplo, para Europa, la CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) será quien regule la tecnología LTE, así la FCC (*Federal Communications Commission*) hará lo propio en Norte América.

En cuando a regulaciones especificas regionales por organismos como el MERCOSUR, relacionado al diseño de celdas presentados en esta propuesta en cuando a las emisiones de ondas de radiofrecuencia, se puede mencionar el Documento MERCOSUR/GMC/REC Nº 65/97 “Manual De Procedimientos De Coordinación De Frecuencias De Transmisión Y Coordinación De Frecuencias Del Servicio De Telefonía Móvil Celular”. El cual establece una serie de recomendaciones, y los procedimientos a ser aplicados para la coordinación en las bandas de frecuencia detalladas en el Anexo A del mismo

documento, entre los servicios celulares, Que de acuerdo a la Sección II (Principios Generales) podemos destacar lo establecido en su artículo 1:

> "El área de servicio de cada prestador de servicio móvil celular, y por consiguiente, el área de cobertura de sus estaciones radio bases, debe limitarse al máximo de su área de concesión minimizando su penetración de su señal en los territorios de los países vecinos" (MERCOSUR, 2014).

Por otra parte, la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) establece una serie de recomendaciones relacionados al uso del espectro de los diferentes países de América Latina en su informe: "Análisis de las Recomendaciones de la UIT sobre el espectro en la región América Latina" (2017) (5G AMERICAS, Análisis de las Recomendaciones de Espectro de la UIT en América Latina, 2017b) para Venezuela. Estableciendo que de "Los 324 MHz de espectro adjudicados a operadores para servicios móviles representan el 24,92% del recurso recomendado por ITU-RM 2078 para 2015 y solo un 18,84% de la recomendación de la ITU para el 2020" Siendo el gran reto para nuestro país el incremento del uso del espectro radioeléctrico mediante la introducción de nuevas tecnologías que permitan su explotación.

La ley Orgánica de Telecomunicaciones LOTEL(2011) en conjunto con los diferentes reglamentos, decretos ley y providencias relacionados al sector de las telecomunicaciones introducen mayores controles al sector, por lo que el ente regulador CONATEL pasa a regular no sólo aspectos referidos a las tecnologías de la información, protocolos de comunicaciones para la transmisión de datos, ancho de banda, asignación, uso y disposición de frecuencias, conformación de redes, la conexión de los usuarios, interconexión de operadores, y coordinación de enlaces satelitales; lo cual ofrece todo el soporte legal que sustenta la viabilidad jurídica del proyecto propuesto: Diseño de un Sistema de Telecomunicaciones LTE-A y Enlaces Inalámbricos para las Islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, en lo relacionado al: espectro radioeléctrico, vía generales de comunicaciones e interconexión a utilizar por la tecnología de acuerdo a los estándares

internacionales y a las normas nacionales estudiadas en este trabajo en lo concerniente a la tecnología celular LTE.

Se puede concluir que una vez evaluada cada una de las etapas de dicho proyecto desde una perspectiva jurídica, que, no se determinó ningún aspecto directo e indirecto que pudiese limitar o hacer inviable jurídicamente el desarrollo de la actual propuesta.

# CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

En este capítulo se exponen los métodos e instrumentos que se emplearon en la presente investigación para la contextualización del tipo de estudio y el diseño de la investigación abordando al mismo tiempo los diferentes elementos que conforman el marco metodológico que sustento dicho trabajo; como parte del método científico, que de acuerdo a Arias (2012) expone: "El método científico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis" (p. 19).

## 3.1. Tipo de Investigación

En este apartado se hace referencia al tipo de investigación que se realizó, entendido desde el punto de vista del nivel de investigación al grado de profundidad con que se aborda el objeto de estudio.

De acuerdo a Tamayo y Tamayo (2003) la investigación aplicada: "…busca confrontar la teoría con la realidad" (p. 43); Adicionalmente Tamayo y Tamayo expone que:

> La investigación aplicada, movida por el espíritu de investigación fundamental, ha enfocado la atención sobre la solución de teorías… se refiere a resultados inmediatos y se halla interesada en el perfeccionamiento de los individuos implicados en el proceso de investigación. (p. 43).

Es por ello, que el presente trabajo de investigación: "Diseño de un Sistema de Telecomunicaciones Basado en la Tecnología LTE-*Advanced* para La Interconexión y Cobertura Total Entre Las Islas: Margarita, Coche, Cubagua,

La Tortuga y La Blanquilla" realizado a través de un simulador de radio enlaces para el análisis y estudio funcional del diseño; en función de sus objetivos, está enmarcado como una investigación de tipo **aplicada pre-experimental,** dado que busca resultados inmediatos del diseño basado en teorías y técnicas pre-existentes de la tecnología LTE-A, buscando el perfeccionamiento del diseño de red propuesto en un ambiente simulado, con alcances de diseño experimental enmarcado dentro de la sub-categoría pre-experimental por ser una prueba o ensayo que se realiza antes de una posible y futura implementación real (fuera de los alcances de la presente investigación).

### 3.2. Diseño de la Investigación

Se entiende a esta etapa de la investigación, como la referida a la definición de la estrategia general que se adoptó para responder al problema planteado.

De acuerdo a Martin (1986):

> "Un diseño de investigaciòn se define como un plan global de investigaciòn que integra de un modo coherente y adecuadamente correcto tècnicas de regogida de datos a utilizar, anàlisis previstos y objetivos … el diseño de una investigaciòn intenta dar de una manera clara y no ambigua respuestas a las preguntas planteadas en la misma" (p. 67).

En la presente investigación de acuerdo a su objetivo principal que es el de "Diseñar una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla" a realizar a través de un simulador de radio enlaces para el análisis y estudio funcional del diseño, estuvo enmarcado baja la estructura de un diseño pre-experimental perteneciendo a la categoría de diseños experimentales, entendiendo que de acuerdo a Arias (2012) define al diseño experimental como: "…un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar

los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). “ (p. 34), lo cual enmarca el actual proyecto de investigaciòn dentro de esta categoria, inicialmente por ser un diseño a ser implementado a traves de un simulador de radio enlaces, pudiendo modificarse las variables dependiente como por ejemplo la interferencias intermodales a traves de variables independiente, como la ubicaciòn de las antenas, frecuencia de operaciòn, de acuerdo al diseño de celdas.

Adicionalmente para dar mas argumentaciòn a la clasificaciòn del diseño con mas precisiòn, Arias (2012) nos define los diseños pre-experimentales como: “…una especie de prueba o ensayo que se realiza antes del experimento verdadero…” (p. 35), puediendo estar representada dicho concepto de prueba por el diseño de la red a traves del simulador de radio enlace y el experimento verdadero la implementaciòn del diseño de red propuesto en condiciones reales, estando este ultimo objetivo fuera de los alcances del actual trabajo investigaciòn como ya se menciono anteriormente. Hernandez, Fernandez, y Batista (2014) nos dice sobre el diseño pre-experimental:

> “Tampoco hay una referencia previa de cual era (variable independiente), antes del estimulo, el nivel que tenia el grupo en la variable dependiente, ni grupo de comparaciòn. El diseño adolece de los de los requisitos … para lograr el control experimental: tener varios grupos de comparaciòn…” (p. 136).

Siendo esta ultima cita una gran influencia para caterorizar la presente investiaciòn dentro de los alcances pre-experimentales.

### 3.3. Unidad de Análisis

La unidad de análisis para el trabajo de investigación “Diseño de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para las islas de: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, interconectadas a través de enlaces inalámbricos entre las isla” estará conformada por todos los

elementos que componen las áreas de conocimientos especificadas en los alcances de la investigación entre los que destacan: el diseño de celda, determinación de cantidad e ubicación de las eNBs, P/S-GW, HSS, PCRF, MME, antenas y grados de cobertura de las mismas. Relacionándose a nivel macro con las áreas de conocimiento:

- Principios de redes celulares
- Organización de una red celular
- Funcionamiento de sistemas celulares LTE-A
- Efectos de la propagación en radio móvil
- Estadística (Información geográfica y poblacional del Estado Nueva Esparta e islas incluidas en el diseño).
- Demanda de trafico
- Redes NGN
- Funcionamiento y operación de Software de Radio Enlace
- Métodos de optimización recomendados en LTE

### 3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

De acuerdo a Ramirez (2006) “El instrumento de recolecciòn de datos es un dispositivo de sustrato material que sirve para registrar los datos obtenidos a traves de diferentes fuentes” (p. 137).

De acuerdo a ello a continuación se describen las diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación:

- En primer lugar, se empleó la revisión documental: Referido a la consulta bibliográfica y documental secundaria relacionada al ámbito de estudio relacionados a los objetivos de la investigación como pueden ser las fuentes impresas, electrónicas y audio-visuales que

contribuyeron al enriquecimiento de los fundamentos y bases teóricas necesario para el cumplimiento de los requisitos del momento teórico de la investigación. También se incorporó la observación documental de presentación resumida, resumen analítico, técnicas operacionales documentales común a todas las ciencias como: subrayado bibliográfico, de citas, notas de referencia bibliográficas, ampliación de texto, construcción y presentación de índices, de cuadros, gráficos, figuras, trabajo escrito entre otros.

- En segundo lugar, se utilizó la técnica de observación directa en la realidad objeto de estudio.
- En tercer lugar se empleó la técnica de entrevista con expertos con el fin de indagar con personas con mayor experticia técnica en relación al caso de estudio, a fin de optimizar el desarrollo del diseño propuesto.
- En cuarto y último lugar, se empleó la utilización de un software especializado para la simulación de radio enlaces (Xirio-online), para la simulación del diseño y la obtención de datos en cuanto a las prestaciones del mismo.

### 3.5. Fases de la Investigación

En relación a los objetivos planteados para el “Diseño, de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para las islas de: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, interconectadas a través de enlaces inalámbricos entre las islas” se presentan las diferentes fases que tuvo el desarrollo:

- Fase I: Esta fase contemplo la identificación del área de estudio, el planteamiento del problema, la definición de los fundamentos teóricos, la metodología planteada y la información referente a donde se desarrolló la investigación.

- Fase II: En ella se enmarco la presentación de datos y premisas iníciales para el dimensionamiento de la red.
- Fase III: Referida al diseño de ingeniería de la solución o red LTE-A.
- Fase IV: En esta fase se realizó la evaluación del diseño a través del simulador de radio enlace.
- Fase V: Fase de presentación de resultados de acuerdo a la evaluación obtenida en la fase IV.
- Fase VI: Hará referencia a la documentación de información como conclusiones y recomendaciones que se consideren pertinentes según los resultados obtenidos en fases anteriores.

### 3.6. Procedimiento por Objetivos

Se presenta a continuación los procedimientos y actividades asociadas a los objetivos específicos para el desarrollo de cada uno de ellos, con el fin de lograr el "Diseño de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para las islas de: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga, y La Blanquilla, interconectadas a través de enlaces inalámbricos entre las isla":

Objetivos Específicos:

- Elaborar el diseño de celdas de la red Móvil.
  - Recabar información sobre datos y premisas iníciales para el dimensionamiento de la red LTE-A, lo cual incluye:
    - Datos demográficos y superficie general donde será desplegada la red.
    - Mapa de división político territorial del estado Nueva Esparta e islas que incluyen el diseño.
    - Datos de distribución poblacional, municipal y parroquial de zonas incluidas en el diseño.

- Datos y mapas de ciudades importantes y concentración de zonas urbanas a ser tomadas en cuenta para el dimensionamiento de la red.
- Bases técnicas para la planificación 4G LTE-A.

  - Analizar información recabada en la sección de marco teórico para el diseño de celdas.
  - Exponer a través de un cuadro resumen los datos y premisas iníciales en los que se basara el diseño.
  - Elaborar cuadro resumen los parámetros básicos de funcionamiento de LTE-A.
  - Describir banda de frecuencia en la que operara el diseño de red celular.

❖ Determinar cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF, MME).
  - Analizar información de objetivo anterior referido a los datos y premisas iníciales para el diseño de la red-celular.
  - Determinar ubicación de las eNBs; tomando en cuenta el análisis de las premisas iníciales desde el punto de vista: geográficos, poblacional y de parámetros técnicos propios de operación de la tecnología LTE-A.
  - Creación del estudio a través del software de simulación de radio enlace, mediante la ubicación y configuración de las eNBs; de acuerdo al diseño establecido para el despliegue de la red.
  - Realizar cuadro esquema de planificación, para la ubicación de las centrales móviles que contendrán las entidades (P/S-GW, HSS y PCRF).
  - Determinar ubicación y cantidad de centrales móviles y MME requeridas por el diseño.

- Describir ubicación de torres, antenas y grados de cobertura de las mismas, que contempla el diseño de la red LTE-A.

❖ Diseñar enlaces entre todas las islas que garantice un eficiente *handover* y conectividad total.

- Analizar información de objetivos anteriores; referido a los datos y premisas iníciales para el diseño de la red-celular e ubicación de eNBs y centrales móviles contentivas de los P/S-GW, HSS y PCRF, con el fin de contextualizar el diseño de enlaces entre las islas.
- Determinar cantidad de radio enlaces requeridos para la interconexión de todas las islas.
- Determinar ubicación de los radio enlaces que interconectaran las islas: La Blanquilla, La Tortuga, Coche y Cubagua con la Isla de Margarita.
- Describir parámetros técnicos que tendrá cada enlace punto a punto.
- Crear e integrar radio-enlaces al estudio (software de radio enlaces); de acuerdo a la ubicación y configuración de los radio enlaces requeridos.

❖ Evaluar el diseño elaborado a través de un simulador de radio-enlaces.

- Configurar parámetros en software de simulación de radio enlace para generar estudio multi-transmisores:
  - Selección de cartografía del estudio y método de cálculo.
  - Configuración de área de cálculo.
  - Configuración de los rangos de señal.
- Generar a través del software de radio enlace el estudio de cobertura multi-transmisor.

- Realizar un análisis resumido del diseño de acuerdo a algunos métodos de optimización recomendados en LTE:
  - Análisis del Mejor Servidor.
  - Análisis del Solapamiento.
  - Análisis del RSRP.

## 3.7. Operacionalización de los Objetivos

A continuación, en la siguiente figura se presentan la operacionalización de los objetivos del presente trabajo de investigación:

| Objetivo General | Objetivos Especificos | Sinergia o Dimensiòn | Indicios o Indicadores | Instrumentos o Herramientas |
|---|---|---|---|---|
| Diseñar una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G Advanced para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla. | • Elaborar el diseño de celdas de la red Móvil | Principios de redes celulares - Organizaciòn de una red celular - Funcionamiento de sistemas celulares LTE-A - Efectos de la propagaciòn en radio movil - Informaciòn geografica y poblacional del Estado Nueva Esparta e islas incluidas en el diseño - Demanda de trafico - Premisas iniciales del diseño - Redes NGN - Funcionamiento y operaciòn de Software de Radio Enlace - Métodos de optimización recomendados en LTE | Cantidad de usuarios - Demanda de Trafico, Tipo de Celda - Tamaño o radio de la Celda - Tipo de Celda - Patron de reutilizaciòn de fecuencia (Cluster) - Velocidad maxima de transmisiòn | Revision Documental escrita y electronica - Entrevista con expertos -Internet - Revisiòn de material audio visual on-line - Observación directa en la realidad objeto de estudio (Datos obtenidos a traves del simulador de radioenlaces) |
| | • Determinar cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF, MME). | | Todas las anterios - Demanda de trafico de red de acceso - Cantidad de nodos y entidades (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF, MME) | Todas las anteriores |
| | • Diseñar enlaces entre todas las islas que garantice un eficiente handover y conectividad total | | Todas las anterios - Demanda de trafico de red de acceso - Velocidad de transmisiòn del enlace | Todas las anteriores |
| | • Evaluar el diseño elaborado a través de un simulador de radio-enlaces. | | Todas las anteriores - Análisis del Mejor Servidor - Análisis del Solapamiento - Análisis del RSRP | Todas las anteriores |

Figura 32. Operacionalización de los Objetivos

## 3.8. Estructura Desagregada de Trabajo

Se presenta seguidamente a través de la siguiente figura la estructura desagregada de trabajo, del diseño propuesto:

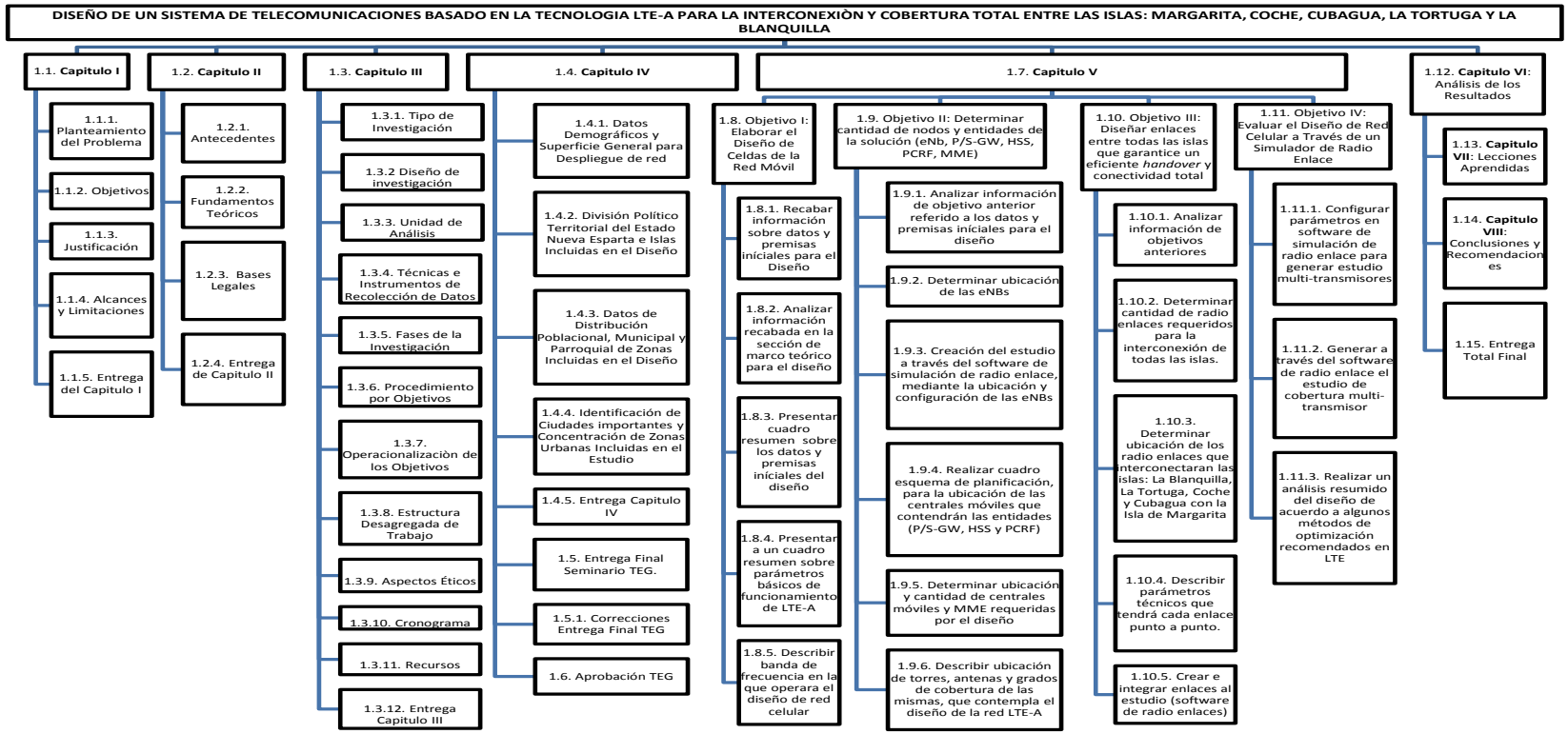



Figura 33. Estructura Desagregada de Trabajo (EDT) del Diseño LTE-A

## 3.9. Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación Diseño de un Sistema de Telecomunicaciones Basado en la Tecnología LTE-A para la Interconexión y Cobertura Total entre las Islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y La Blanquilla, estuvo sujeto a la siguiente declaratoria en cuanto a sus alcances éticos:

- El contenido de la presente investigación (desarrollo, procedimientos, metodología aplicada, resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones generadas) estarán disponibles para cualquier persona inherente al objeto de estudio
- Los aportes del juicio de expertos, fueron registrado en tiempo real y se mantendrá la confidencialidad de la fuente.
- Las bibliografías consultadas necesarias para el desarrollo de la presente investigación se presentó con sus respectivas y fieles referencias bibliográficas.
- El contenido del presente trabajo de investigación estará sujeto a las observancias contenidas de acuerdo a los fundamentos establecidos por el Colegio de Ingenieros de Venezuela en referencia al: Código de Ética Profesional (CIV, 2013):

## 3.10. Cronograma

- A continuación, se presenta el cronograma de actividades referente al proyecto de investigación utilizado, para cumplir con el objetivo general de: “Diseñar una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para la interconexión y cobertura total entre las islas: Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga Y La Blanquilla”, y sus objetivos específicos derivados:

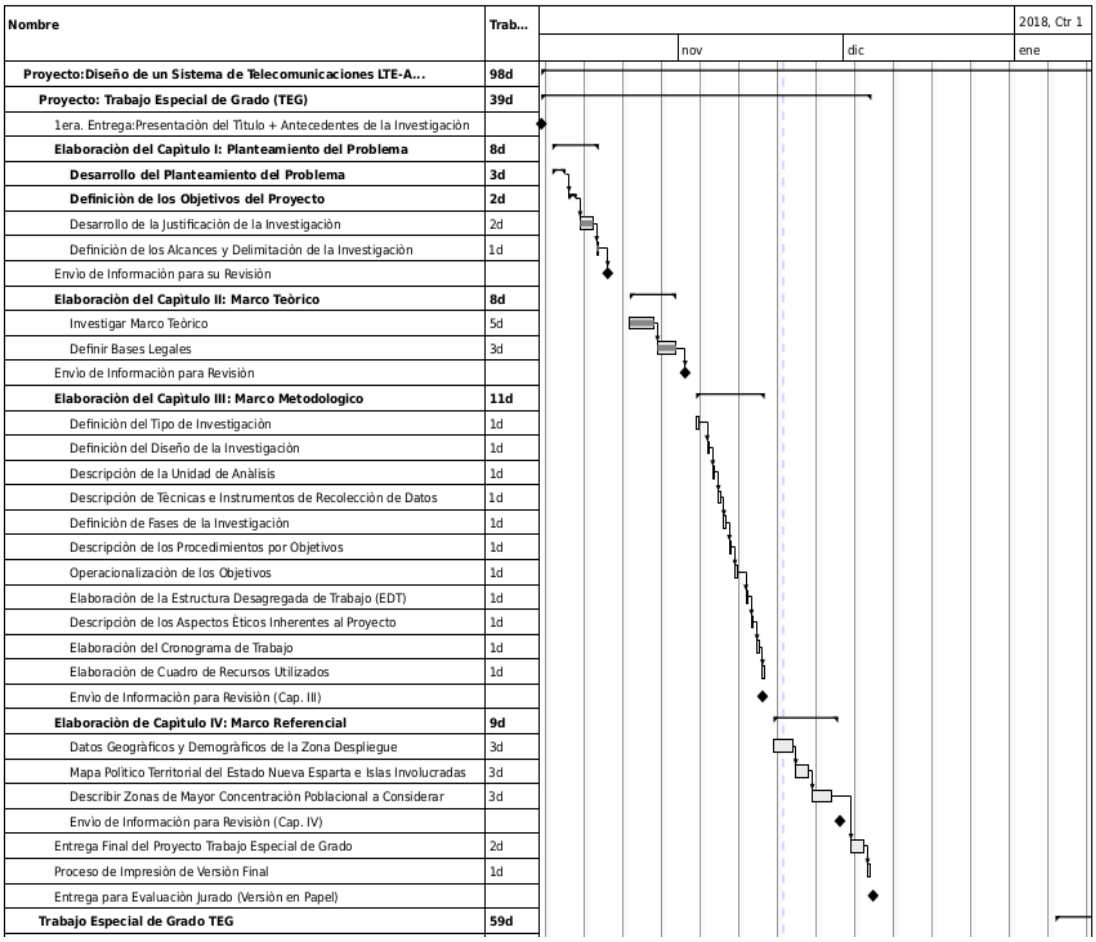



Figura 34. Cronograma Proyecto Trabajo Especial de Grado (PTEG)

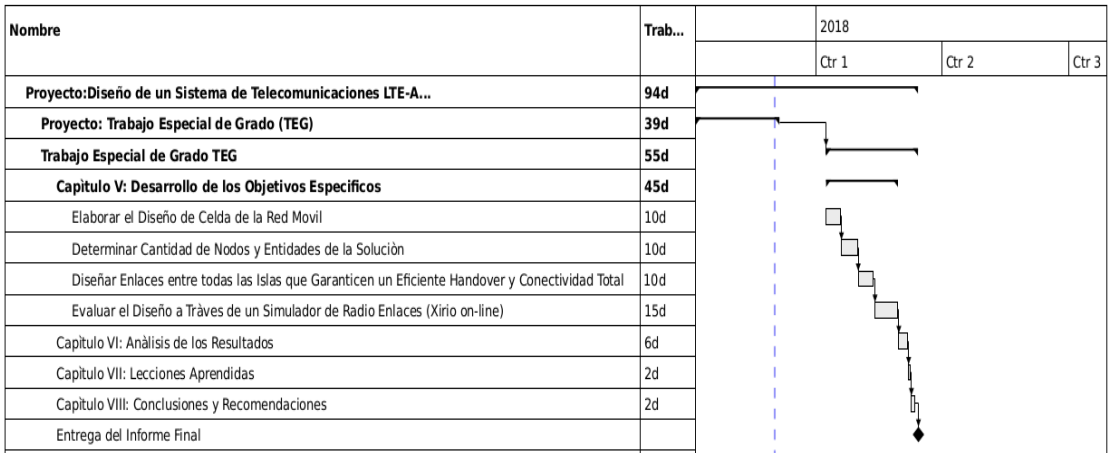



Figura 35. Cronograma Trabajo Especial de Grado (TEG)

## 3.11. Recursos

A continuación, se presenta en la siguiente figura los costos aproximados del presente trabajo de investigación:

| Descripción de Costo de Inversión | Unidad Métrica | Cantidad | Costo X Unidad BsF | Total Costo por BsF. |
|---|---|---|---|---|
| Matricula de Inscripción Cátedra: Seminario TEG | UC | 4 | 40.000,00 | 160.000,00 |
| Asesor | HH | 8 | 30.000,00 | 240.000,00 |
| Servicio telefónico – Internet | mes | 3 | 7.000,00 | 21.000,00 |
| Libros (Técnicos y Metodológicos) | C/U | 4 | 50.000,00 | 200.000,00 |
| Materiales de Oficina (Papel, Lápiz, Resaltadores, Cartuchos de Tinta) | C/U | 1 | 800.000,00 | 800.000,00 |
| Inscripción UE Estimada Cátedra: Trabajo Especial de Grado TEG | UC | 12 | 40.000,00 | 480.000,00 |
| Memorias informáticas para respaldo (USB) | C/U | 1 | 200.000,00 | 200.000,00 |
| Servicio de impresión | C/U | 120 | 2.000,00 | 240.000,00 |
| Servicio de encuadernado | C/U | 3 | 30.000,00 | 90.000,00 |
| | | | TOTALES BSF | 2.431.000,00 |

Figura 36. Matriz de Recursos de la Investigación. HH (Horas Hombre), UC (Unidades de Crédito).

# CAPITULO IV: MARCO REFERENCIAL

En este capítulo de presenta el marco referencial relacionado al contexto geográfico, poblacional, demográfico y estadístico relacionado a la zona de despliegue del diseño de la red LTE-A.

## 4.1. Ubicación General del Diseño.

El Proyecto se ubica en las islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga, La Blanquilla y la costa de la Ciudad de Cumana, estado Sucre Venezuela.

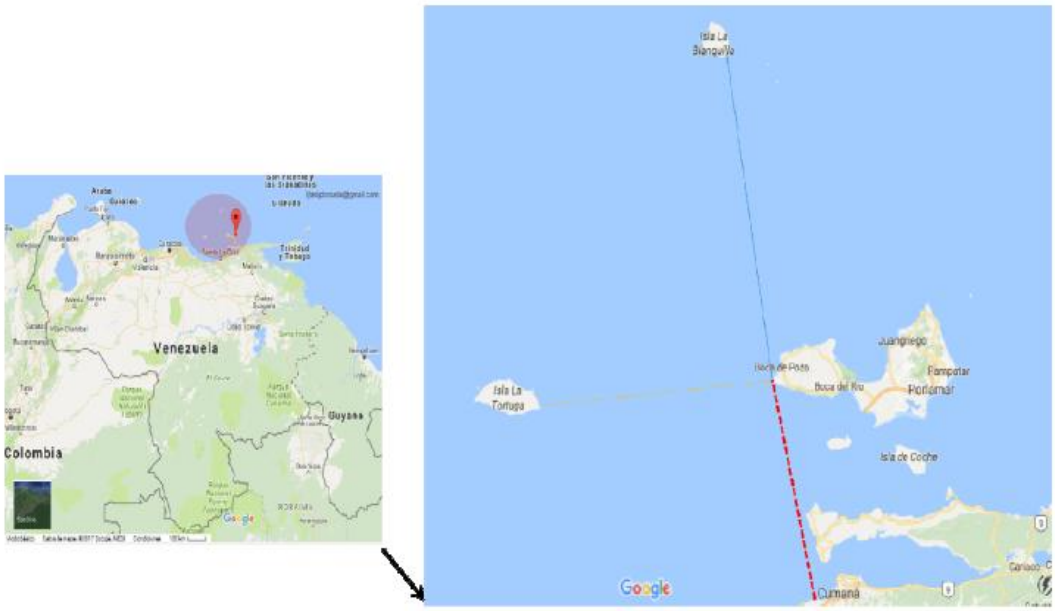



Figura 37.Ubicaciòn General del Proyecto

## 4.2. Datos Demográficos y Superficie General para Despliegue de Red.

Seguidamente se presenta datos geográficos y poblacionales para el despliegue del diseño de red los cuales incluyen al estado Nueva Esparta y algunas islas como La Blanquilla y La Tortugas las cuales forman parte de les Dependencias Federales.

### 4.2.2. Datos de División Político Territorial, Demografía y Poblacional del Estado Nueva Esparta

En la presente figura se presenta el cuadro sinóptico del Estado Nueva Esparta la cual contiene datos referentes a los límites fronterizos del estado, capital, superficie total, total municipios y total parroquias:

**ESTADO NUEVA ESPARTA**
**FICHA Y CUADRO SINÓPTICO**
**XIV CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2011**

| | |
|---|---|
| **LÍMITES:** | NORTE: MAR CARIBE |
| | SUR: ESTADO SUCRE |
| | ESTE: MAR CARIBE |
| | OESTE: MAR CARIBE |
| **CAPITAL:** | LA ASUNCIÓN |
| **SUPERFICIE:** | 1.150 $Km^2$ |
| **POBLACIÓN CENSO 2011:** | 491.610 |
| **MUNICIPIOS[1]:** | 11 |
| **MUNICIPIOS CAPITALES Y PARROQUIAS** | 19 |

Figura 38. Estado Nueva Esparta: Ficha y Cuadro Sinóptico
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014)

***División político territorial del estado Nueva Esparta:***

Se presenta a continuación una figura descriptiva de la división política territorial del estado Nueva Esparta dividido por municipios lo cual incluye las islas de Coche y Cubagua:

Figura 39. Estado Nueva Esparta: División Político Territorial
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014)

***Distribución poblacional por municipio del estado Nueva Esparta:***

En la figura siguiente se presenta la distribución poblacional por municipios pertenecientes al estado Nueva Esparta:

ESTADO NUEVA ESPARTA
CUADRO 2.2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA POBLACIÓN (VALORES RELATIVOS), SEGÚN MUNICIPIO
CENSOS 2001 – 2011

| MUNICIPIO | 2001 | | 2011 | |
|---|---|---|---|---|
| | TOTAL | % | TOTAL | % |
| TOTAL | 373.851 | 100,0 | 491.610 | 100,0 |
| ANTOLÍN DEL CAMPO | 20.325 | 5,4 | 28.294 | 5,8 |
| ARISMENDI | 23.097 | 6,2 | 28.309 | 5,8 |
| DÍAZ | 47.257 | 12,6 | 71.466 | 14,5 |
| GARCÍA | 45.606 | 12,2 | 68.490 | 13,9 |
| GÓMEZ | 30.237 | 8,1 | 40.409 | 8,2 |
| MANEIRO | 35.400 | 9,5 | 48.952 | 10,0 |
| MARCANO | 28.256 | 7,6 | 35.691 | 7,2 |
| MARIÑO | 84.534 | 22,6 | 97.667 | 19,9 |
| PENÍNSULA DE MACANAO | 20.935 | 5,6 | 26.423 | 5,4 |
| TUBORES | 29.962 | 8,0 | 36.924 | 7,5 |
| VILLALBA | 8.242 | 2,2 | 8.985 | 1,8 |

Figura 40. Estado Nueva Esparta: Distribución Poblacional por Municipio
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014)

***Distribución poblacional del Estado Nueva Esparta por municipio y parroquia:***

La siguiente figura presenta una distribución más desagregada para una distribución poblacional por municipio y parroquia que permita mayor grado de información para el dimensionamiento del diseño de red LTE-A:

**ESTADO NUEVA ESPARTA**
**CUADRO A1. POBLACIÓN TOTAL POR SEXO, SEGÚN MUNICIPIO Y PARROQUIA**
**CENSO 2011**

| MUNICIPIO Y PARROQUIA | POBLACIÓN TOTAL |
|---|---|
| **TOTAL** | **491.610** |
| **ANTOLÍN DEL CAMPO** | **28.294** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL LA PLAZA DE PARAGUACHÍ) | 28.294 |
| **ARISMENDI** | **28.309** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL LA ASUNCIÓN) | 28.309 |
| **DÍAZ** | **71.466** |
| PARROQUIA CAPITAL DÍAZ | 43.117 |
| PARROQUIA ZABALA | 28.349 |
| **GARCÍA** | **68.490** |
| PARROQUIA CAPITAL GARCÍA | 19.712 |
| PARROQUIA FRANCISCO FAJARDO | 48.778 |
| **GÓMEZ** | **40.409** |
| PARROQUIA CAPITAL GÓMEZ | 15.681 |
| PARROQUIA BOLÍVAR | 1.871 |
| PARROQUIA GUEVARA | 4.935 |
| PARROQUIA MATASIETE | 5.381 |
| PARROQUIA SUCRE | 12.541 |
| **MANEIRO** | **48.952** |
| PARROQUIA CAPITAL MANEIRO | 25.551 |
| PARROQUIA AGUIRRE | 23.401 |
| **MARCANO** | **35.691** |
| PARROQUIA CAPITAL MARCANO | 20.421 |
| PARROQUIA ADRIÁN | 15.270 |
| **MARIÑO** | **97.667** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL PORLAMAR) | 97.667 |
| **PENÍNSULA DE MACANAO** | **26.423** |
| PARROQUIA CAPITAL PENÍNSULA DE MACANAO | 11.851 |
| PARROQUIA SAN FRANCISCO | 14.572 |
| **TUBORES** | **36.924** |
| PARROQUIA CAPITAL TUBORES | 24.416 |
| PARROQUIA LOS BARALES | 12.508 |
| **VILLALBA** | **8.985** |
| PARROQUIA CAPITAL VILLALBA | 5.082 |
| PARROQUIA VICENTE FUENTES | 3.903 |

**NOTA:** DIVISIÓN POLÍTICO TERRITORIAL OPERATIVA PARA FINES ESTADÍSTICOS
**FUENTE:** INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, INE

Figura 41. Estado Nueva Esparta: Distribución Poblacional por Municipio y Parroquia
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014)

***Distribución demográfica del estado Nueva Esparta:***

Se presenta seguidamente la figura de la distribución demográfica del Estado Nueva Esparta con el fin de facilitar el diseño de celdas en cuanto a número de habitantes aproximados por zona de despliegue.

Figura 42. Estado Nueva Esparta: Distribución Demográfica
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014)

### 4.2.3. Datos de División Político Territorial, Demografía y Poblacional para las islas La Tortuga y La Blanquilla

Las islas La Tortuga y La Blanquilla las cuales están incluidas en el diseño de red LTE-A, forman parte de las Dependencias Federales de la República

Bolivariana de Venezuela, de acuerdo a Instituto Nacional de Estadistica INE (2013):

> La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999, conforme a la Gaceta Oficial Nº 5453 Extraordinaria, del 24 de marzo de 2000, establece en su artículo 17 lo siguiente: "Las Dependencias Federales son las Islas Marítimas no integrada en el territorio de un estado, así como las islas que se formen o aparezcan el mar territorial…". Las Dependencias Federales no tienen estructuras de municipios y parroquias, por lo que el INE para fines estadísticos asignó códigos a cada Dependencia Federal de acuerdo a las islas habitadas para el censo 2011. (p. 165).

Se presentan a continuación los siguientes datos:

***División Político Territorial de las Dependencias Federales***:

A continuación, en la siguiente figura se presenta el mapa de la división político territorial de las Dependencias Federales de la cuales forman parte las islas La Tortuga y La Blanquilla:

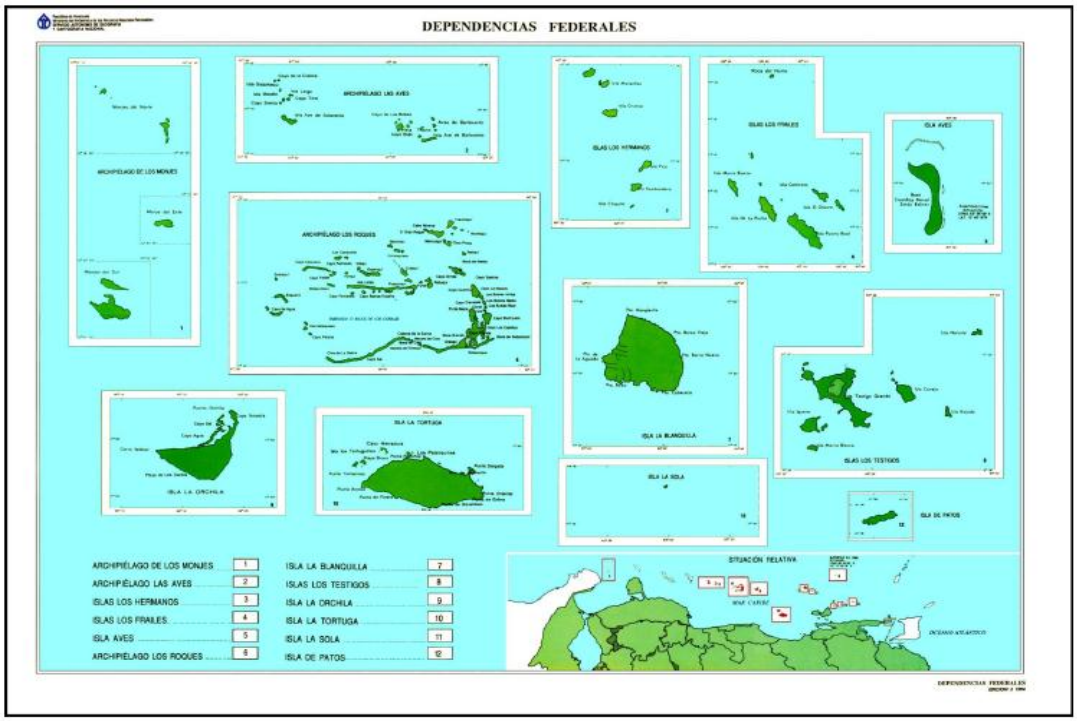


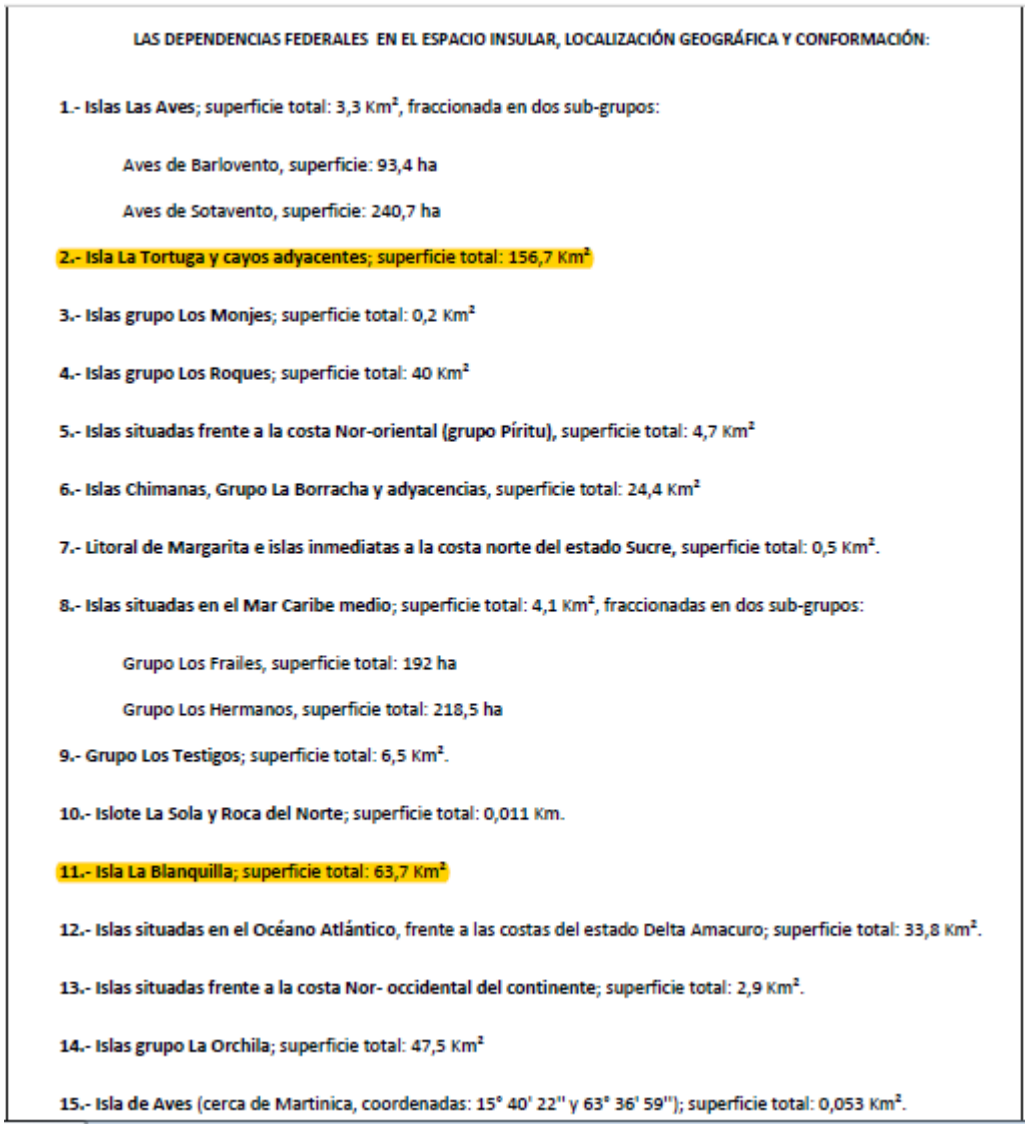
Figura 43. Dependencias Federales: Mapa de División Político Territorial
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

Figura 44. Isla la Tortuga: División Político Territorial
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

Figura 45. Isla La Blanquilla: División Político Territorial
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

***Dependencias Federales Localiza Geográfica y Conformación:***

Se presenta seguidamente en la siguiente figura las Dependencias Federales en el espacio insular, localización geográfica y conformación, la cual incluye y presenta de forma resaltada la información referente a las Islas: La Tortura y La Blanquilla:



**LAS DEPENDENCIAS FEDERALES EN EL ESPACIO INSULAR, LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CONFORMACIÓN:**

**1.- Islas Las Aves**; superficie total: 3,3 Km², fraccionada en dos sub-grupos:

Aves de Barlovento, superficie: 93,4 ha

Aves de Sotavento, superficie: 240,7 ha

**2.- Isla La Tortuga y cayos adyacentes**; superficie total: 156,7 Km²

**3.- Islas grupo Los Monjes**; superficie total: 0,2 Km²

**4.- Islas grupo Los Roques**; superficie total: 40 Km²

**5.- Islas situadas frente a la costa Nor-oriental (grupo Píritu)**, superficie total: 4,7 Km²

**6.- Islas Chimanas, Grupo La Borracha y adyacencias**, superficie total: 24,4 Km²

**7.- Litoral de Margarita e islas inmediatas a la costa norte del estado Sucre**, superficie total: 0,5 Km².

**8.- Islas situadas en el Mar Caribe medio**; superficie total: 4,1 Km², fraccionadas en dos sub-grupos:

Grupo Los Frailes, superficie total: 192 ha

Grupo Los Hermanos, superficie total: 218,5 ha

**9.- Grupo Los Testigos**; superficie total: 6,5 Km².

**10.- Islote La Sola y Roca del Norte**; superficie total: 0,011 Km.

**11.- Isla La Blanquilla**; superficie total: 63,7 Km²

**12.- Islas situadas en el Océano Atlántico**, frente a las costas del estado Delta Amacuro; superficie total: 33,8 Km².

**13.- Islas situadas frente a la costa Nor- occidental del continente**; superficie total: 2,9 Km².

**14.- Islas grupo La Orchila**; superficie total: 47,5 Km²

**15.- Isla de Aves** (cerca de Martinica, coordenadas: 15° 40' 22'' y 63° 36' 59''); superficie total: 0,053 Km².

Figura 46. Dependencias Federales en el Espacio Insular, Localización Geográfica y Conformación
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

Cuadro N° 2. Isla La Tortuga y Cayos Adyacentes.

| ISLA Y CAYOS | N° | Nombre | ISLOTES | COORDENADAS | | Superficie (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Latitud | Longitud | |
| **TOTAL** | **1** | | | | | **15.508,0** |
| **ISLA LA TORTUGA** | 1 | Isla La Tortuga | | 10° 57' 00" | 65° 19' 00" | 15.508,0 |

| ISLA Y CAYOS | N° | Nombre | ISLOTES | COORDENADAS | | Superficie (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Latitud | Longitud | |
| **TOTAL** | **17** | | **24** | | | **160,3** |
| **CAYOS ADYACENTES 1/** | 1 | Cayo Boca de Palo | | 10° 54' 51" | 65° 23' 15" | 0,3 |
| | 2 | Cayo Chaguaramita | | 10° 54' 36" | 65° 21' 58" | 0,3 |
| | 3 | Cayo Chaguarama Este | | 10° 54' 44" | 65° 22' 42" | 0,5 |
| | 4 | Cayo Chaguarama Oeste | | 10° 54' 46" | 65° 22' 55" | 1,1 |
| | 5 | Cayo de Punta Rancho | 3 | 10° 58' 39" | 65° 17' 52" | 1,0 |
| | 6 | Cayo de Los Yaques | 4 | 10° 57' 00" | 65° 13' 00" | 7,2 |
| | 7 | Cayo El Espolón | | 10° 55' 41" | 65° 12' 44" | 0,2 |
| | 8 | Cayo Herradura | | 10° 59' 35" | 65° 22' 40" | 41,3 |
| | 9 | Cayo Cumaneses Chico | | 10° 55' 12" | 65° 12' 03" | 0,6 |
| | 10 | Cayo Cumaneses Grande | | 10° 55' 16" | 65° 12' 00" | 4,3 |
| | 11 | Cayo Los Mogotes Norte | | 10° 54' 48" | 65° 12' 10" | 0,3 |
| | 12 | Cayo Los Mogotes Sur | | 10° 54' 23" | 65° 11' 59" | 1,6 |
| | 13 | Cayo Punta Oriental | | 10° 53' 53" | 65° 12' 05" | 0,2 |
| | 14 | Isla El Vapor | | 10° 56' 04" | 65° 12' 35" | 0,3 |
| | 15 | Islotes Los Palanquines | 17 | 10° 59' 00" | 65° 20' 00" | 6,7 |
| | 16 | Tortuguillo del Este | | 10° 58' 11" | 65° 25' 11" | 44,6 |
| | 17 | Tortuguillo del Oeste | | 10° 57' 46" | 65° 25' 51" | 49,8 |

1/ 17 posiciones geográficas y 38 islotes

Figura 47. Isla La Tortuga y Cayos Adyacentes: Localización Geográfica y Conformación
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

Cuadro N° 11. Isla La Blanquilla.

| GRUPO | N° | Nombre | ISLOTES | COORDENADAS | | Superficie (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Latitud | Longitud | |
| **TOTAL** | **1** | | | | | **6.368,0** |
| **LA BLANQUILLA** | 1 | La Blanquilla | | 11° 51' 12" | 64° 36' 16" | 6.368,0 |

Figura 48. Isla La Blanquilla: Localización Geográfica y Conformación
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2013)

***Distribución poblacional de las Dependencias Federales:***

En las siguientes imágenes se presenta información relacionada a la distribución poblacional de las Dependencias Federales de las cuales forman parte las islas Las Tortuga y La Blanquilla:

**DEPENDENCIAS FEDERALES**
**CUADRO 2.1. POBLACIÓN Y DENSIDAD**
**CENSOS 2001 - 2011**

| CENSO | POBLACIÓN | DENSIDAD 1/ (Hab/Km²) |
|---|---|---|
| 2001 (22 Oct.) | 1.651 | 13,8 |
| 2011 (30 Oct.) | 2.155 | 18,0 |

LA SUPERFICIE DE LAS DEPENDENCIAS FEDERALES ES 120 $KM^2$

Figura 49. Dependencias Federales: Cuadro Población y Densidad
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014b)

**DEPENDENCIAS FEDERALES**
**CUADRO 2.2. POBLACIÓN TOTAL (VALORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS), SEGÚN ISLA**
**CENSOS 2001 – 2011**

| ISLA | 2001 | | 2011 | |
|---|---|---|---|---|
| | TOTAL | % | TOTAL | % |
| **TOTAL** | **1.651** | **100,0** | **2.155** | **100,0** |
| GRAN ROQUE | 1.143 | 69,2 | 1471 | 68,2 |
| LOS TESTIGOS | 173 | 10,5 | 172 | 8,0 |
| CHIMANAS | 335 | 20,3 | 512 | 23,8 |

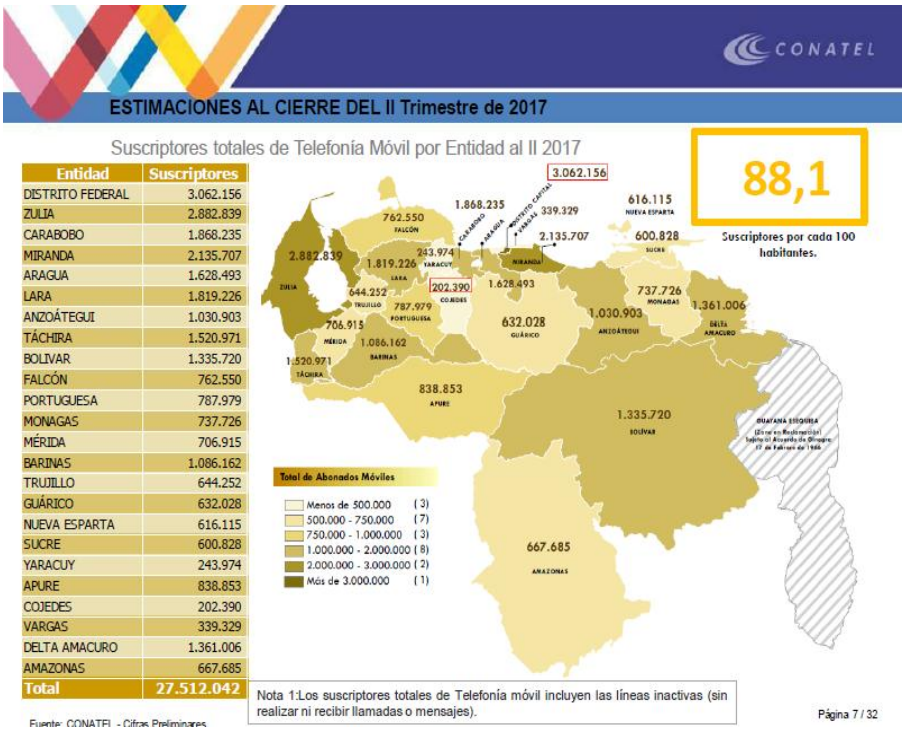
Figura 50. Dependencias Federales: Cuadro Población Total Según Islas
Fuente: Instituto Nacional de Estadistica INE (2014b)

Es importante destacar de acuerdo a la figura anterior, que las islas La Tortuga y La Blanquilla no presentan cantidad de habitantes residentes; por lo que su importancia en el diseño tal como se describió en el planteamiento del problema obedecerá a favorecer el potencial turístico, económico, y a los aspectos relacionados a la seguridad marítima de la zona de cobertura a contemplar en el diseño.

### 4.3. Contexto estadístico para el despliegue

Se presenta a continuación algunos datos estadísticos emanados a tomar en cuenta para el dimensionamiento del diseño.

En la siguiente figura se puede apreciar datos referidos al número de suscriptores de telefonía móvil el cual se ubica en un 88,1%:




| Entidad | Suscriptores |
|---|---|
| DISTRITO FEDERAL | 3.062.156 |
| ZULIA | 2.882.839 |
| CARABOBO | 1.868.235 |
| MIRANDA | 2.135.707 |
| ARAGUA | 1.628.493 |
| LARA | 1.819.226 |
| ANZOÁTEGUI | 1.030.903 |
| TÁCHIRA | 1.520.971 |
| BOLIVAR | 1.335.720 |
| FALCÓN | 762.550 |
| PORTUGUESA | 787.979 |
| MONAGAS | 737.726 |
| MÉRIDA | 706.915 |
| BARINAS | 1.086.162 |
| TRUJILLO | 644.252 |
| GUÁRICO | 632.028 |
| NUEVA ESPARTA | 616.115 |
| SUCRE | 600.828 |
| YARACUY | 243.974 |
| APURE | 838.853 |
| COJEDES | 202.390 |
| VARGAS | 339.329 |
| DELTA AMACURO | 1.361.006 |
| AMAZONAS | 667.685 |
| Total | 27.512.042 |

Fuente: CONATEL - Cifras Preliminares

Figura 51. Suscriptores totales de Telefonía Móvil por Entidad al II 2017
CONATEL (2017)

A continuación, se presenta la cantidad de suscriptores con teléfonos inteligentes estimados en 13.481.355 de una base de 27.512.042 representando el 49% del total de suscriptores. Adicionalmente se puede apreciar la representación de un 5.11% de los suscriptores con teléfonos inteligentes asociados a la tecnología LTE:

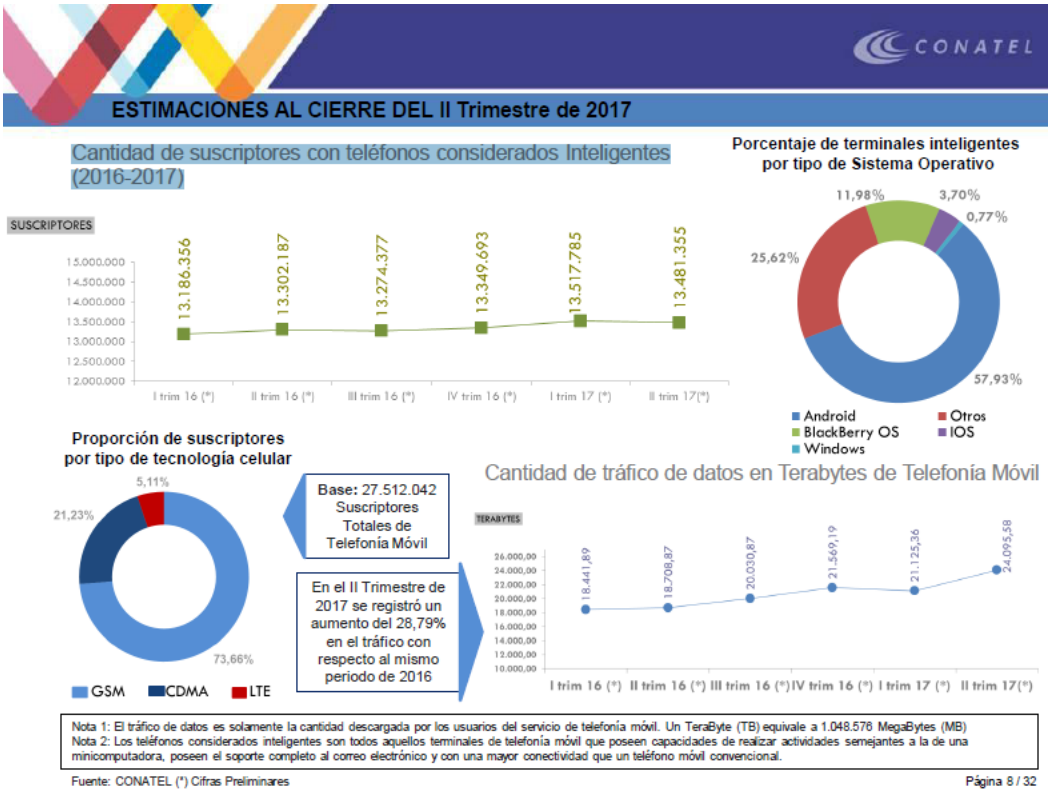



Figura 52. Cantidad de suscriptores con teléfonos considerados Inteligentes (2016-2017) CONATEL (2017)

# CAPITULO V: DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS

En este capítulo se procede al desarrollo de los procedimientos y actividades asociados a los objetivos específicos con el fin de lograr el diseño de una red de telefonía celular basada en la tecnología LTE 4G *Advanced* para las islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Tortuga y la Blanquilla interconectadas a través de enlaces inalámbricos entre las islas.

Con el fin de realizar un adecuado dimensionamiento se requiere realizar un análisis de cobertura y de capacidad. Por consiguiente, se deben detallar los requerimientos técnicos para el diseño, en cuanto a:

- Definir el área de cobertura de la red,
- Calcular el número de estaciones E-UTRAN y analizar el tráfico
- Realizar el análisis de las pérdidas utilizando el modelo Hokumura-Hata
- Calcular el radio de la estación base y el área de cobertura
- Asignar las frecuencias de operación.

Importante destacar que dentro del diseño se tomaron en cuenta factores como la limitación de frecuencias, la movilidad, la distribución de tráfico, la introducción de nuevos servicios, la interoperatividad con otras redes de acceso, entre otros, sumando a su vez otro factor de suma importancia como es el económico.

## 5.1. Diseño de celdas de la red móvil

En seguida se presentan algunos datos iníciales los cuales sirvieron de premisas para los cálculos de diseño en las diferentes etapas:

### 5.1.1. Datos Demográficos y de superficie general donde será desplegada la red

Tabla 1. Datos Demográficos y de superficie para el despliegue del diseño. Elaboración propia.

| DATOS DE SUPERFICIE Y DE DENSIDAD POBLACIONAL POR ISLAS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Entidad** | **Isla** | **Poblaciòn (Hab)** | **Superficie (Km2)** | **Largo (Km)** | **Ancho (Km)** | **Coordenadas** | **Punto mas alto** | **Densidad Poblacional (Hab x Km2)** |
| **Estado Nueva Esparta** | | **491.610** | **1.150** | | | | | **427,5** |
| | Margarita | 482.574 | 1.071 | | | 10° 57′ 0″ N, 64° 0′ 36″ W | 960 Mts | 450,6 |
| | Coche | 8.985 | 55 | 11 | 6 | 10° 46′ 36″ N, 63° 56′ 41″ W | 60 Mts | 163,4 |
| | Cubagua | 51 | 24 | 9,2 | 3,6 | 10° 49′ 8″ N, 64° 10′ 57″ W | | 2,1 |
| **Dependencias Federales** | | **105** | **220** | | | | | **0,5** |
| | La Blanquilla | 20 | 63,7 | | | 11° 51′ 12″ N, 64° 35′ 55″ W | 30 Mts | 0,3 |
| | La Tortuga | 85 | 156,7 | 12 | 25 | 10° 55′ 54″ N, 65° 18′ 29″ W | | 0,5 |

***División político territorial del estado Nueva Esparta municipio, superficie y población:***

División política territorial de Nueva Esparta 2011[12]

| Municipio | Capital | Superficie (km²) | Población (hab) |
|---|---|---|---|
| Antolín del Campo | Paraguachí | 72 | 28 294 |
| Arismendi | La Asunción | 52 | 28 309 |
| Antonio Díaz | San Juan | 166 | 71 466 |
| García | El Valle | 85 | 68 490 |
| Gómez | Santa Ana | 96 | 40 409 |
| Maneiro | Pampatar | 35 | 48 952 |
| Marcano | Juan Griego | 40 | 35 691 |
| Mariño | Porlamar | 39 | 97 667 |
| Macanao | Boca de Río | 331 | 26 423 |
| Tubores | Punta de Piedras | 180 | 36 924 |
| Villalba | Coche | 55 | 8985 |
| **Nueva Esparta** | **La Asunción** | **1150** | **491 610** |

Figura 53. División Político Territorial del estado Nueva Esparta
Instituto Nacional de Estadistica INE (2014a)

## *Densidad poblacional por municipio Estado Nueva Esparta*

Tabla 2. Densidad poblacional por municipio del Estado Nueva Esparta. Elaboración propia.

| MUNICIPIO Y PARROQUIA | POBLACIÓN TOTAL | SUPERFICIE Km2 | U: Densidad de usuarios (usuarios/Km2) |
|---|---|---|---|
| **TOTAL** | **491.610** | 1150 | **427,5** |
| | | | |
| **ANTOLÍN DEL CAMPO** | **28.294** | **72** | **393,0** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL LA PLAZA DE PARAGUACHÍ) | 28.294 | | |
| **ARISMENDI** | **28.309** | 52 | **544,4** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL LA ASUNCIÓN) | 28.309 | | |
| **DÍAZ** | **71.466** | 166 | **430,5** |
| PARROQUIA CAPITAL DÍAZ | 43.117 | | |
| PARROQUIA ZABALA | 28.349 | | |
| **GARCÍA** | **68.490** | 85 | **805,8** |
| PARROQUIA CAPITAL GARCÍA | 19.712 | | |
| PARROQUIA FRANCISCO FAJARDO | 48.778 | | |
| **GÓMEZ** | **40.409** | 96 | **420,9** |
| PARROQUIA CAPITAL GÓMEZ | 15.681 | | |
| PARROQUIA BOLÍVAR | 1.871 | | |
| PARROQUIA GUEVARA | 4.935 | | |
| PARROQUIA MATASIETE | 5.381 | | |
| PARROQUIA SUCRE | 12.541 | | |
| **MANEIRO** | **48.952** | 35 | **1398,6** |
| PARROQUIA CAPITAL MANEIRO | 25.551 | | |
| PARROQUIA AGUIRRE | 23.401 | | |
| **MARCANO** | **35.691** | 40 | **892,3** |
| PARROQUIA CAPITAL MARCANO | 20.421 | | |
| PARROQUIA ADRIÁN | 15.270 | | |
| **MARIÑO** | **97.667** | 39 | **2504,3** |
| NO TIENE PARROQUIA (CAPITAL PORLAMAR) | 97.667 | | |
| **PENÍNSULA DE MACANAO** | **26.423** | 331 | **79,8** |
| PARROQUIA CAPITAL PENÍNSULA DE MACANAO | 11.851 | | |
| PARROQUIA SAN FRANCISCO | 14.572 | | |
| **TUBORES** | **36.924** | 180 | **205,1** |
| PARROQUIA CAPITAL TUBORES | 24.416 | | |
| | | | |
| PARROQUIA LOS BARALES | 12.508 | | |
| **VILLALBA** | **8.985** | 55 | **163,4** |
| PARROQUIA CAPITAL VILLALBA | 5.082 | | |
| PARROQUIA VICENTE FUENTES | 3.903 | | |

**NOTA:** DIVISIÓN POLÍTICO TERRITORIAL OPERATIVA PARA FINES ESTADÍSTICOS

**FUENTE:** INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, INE

### 5.1.2. Datos y condiciones iniciales para el dimensionamiento de la Red

A continuación, se presentan los datos y algunas premisas iniciales para el dimensionamiento de la Red basado en la tecnología móvil LTE *Advance*.

Se elige para representar la célula la forma hexagonal por su parecido con la circular, que es el área de cobertura en un entorno de propagación ideal. Según los estudios de interferencia y reutilización de frecuencias es más apropiado utilizar la forma hexagonal; ya que es el polígono hexagonal el que proporciona la mayor superficie de célula por lo que, utilizando hexágonos, será mínimo el número de células necesario para la cobertura de un área determinada. En la siguiente figura se puede apreciar la colocación teórica de los transmisores, facilitando la reutilización de frecuencias entre células.

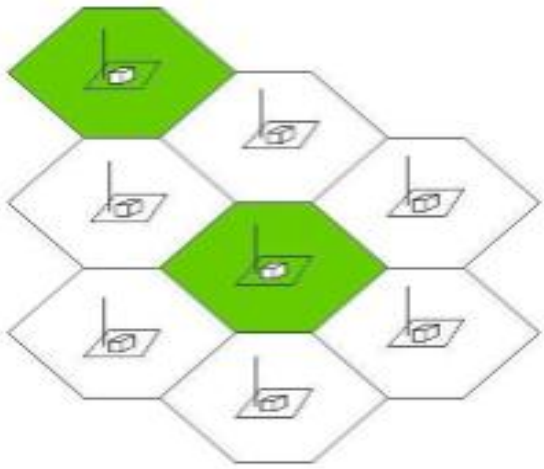


Figura 54. Estructura hexagonal celular
Fuente: Stallings (2004)

### 5.1.3. Parámetros básicos de la tecnología a implementar

En la siguiente tabla se describe una serie de parámetros bases para el diseño asociados a la tecnología móvil LTE-A en la cual se sustentó el diseño de la red:

Tabla 3. Parámetros Técnicos de la Tecnología LTE-A

Fuente: (Calle, 2014)

| **Parámetro** | | | **LTE-Advanced** | |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad de transmisión pico** | | DL | 1.2 Gbps (SU-MIMO 8X8, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz) | Agregación de portadora, MIMO |
| | | UL | 600 Mbps (SU-MIMO 4X4, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz) | |
| **Ancho de banda soportado** | | | Hasta 100 Mhz | Agregación de portadora |
| **Eficiencia espectral** | **Pico [bps/Hz]** | DL | 30 | 8x8 SU-MIMO |
| | | UL | 15 | 4x4 SU-MIMO |
| | **Promedio [bps/Hz]** | DL | 3.7 | CoMP, MIMO |
| | | UL | 2 | CoMP, MIMO, |
| | **Borde de la celda [bps/Hz]** | DL | 0.12 (MIMO 4x4) | CoMP, MIMO |
| | | UL | 0.07 (MIMO 2x4) | CoMP MIMO, |
| **Latencia en el plano de usuario** | | | < 10 ms | |
| **Latencia en el plano de control** | | | < 50 ms | |
| **Movilidad** | | | Optimizado para bajas velocidades (< 15 km/hr) hasta los 120 km/hr. Los enlaces se mantienen hasta velocidades de 350 km/hr. | |
| **Radio de cobertura de una celda** | | | 5 km | |
| **Número de usuarios en una celda** | | | 600 usuarios activos por celda en 5 MHz | |

### 5.1.4. Cálculo de tráfico Erlang

Seguidamente en la siguiente tabla se presentan algunas premisas iniciales para el cálculo de tráfico esperado Erlang, donde se puede apreciar y está estimado un parámetro de duración de llamada promedio de 59 segundos, un índice de cantidad de llamadas por hora de 0.73, una probabilidad de bloqueo de 1% y un tráfico por usuario de 0.012 mErl, como base para iniciar los cálculos hacia el dimensionamiento de la solución:

Tabla 4. Premisas iniciales para el cálculo de trafico *Erlang*. Elaboración propia.

| PREMISAS PARA EL CALCULO DE TRAFICO Erlang | | | BASES PARA EL CALCULO DE EL TRAFICO ERLANG |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Unidad** | |
| Duración promedio de una llamada | 59 | Seg | |
| Cantidad de llamadas por hora | 0,73 | Llms | |
| Probabilidad de bloqueo | 1 | % | |
| Trafico X usuario | 0,012 | mErl | **Formula** $\frac{[(Cantidad\ de\ Llamadas\ X\ hora)\ X\ (Duraciòn\ promedio\ de\ una\ llamada\ en\ segundos)]}{3600\ segundos}$ |

Adicionalmente para el cálculo de la "Estimación de Posibles Usuarios LTE" para cada sector, de acuerdo a datos estadístico suministrados por CONATEL (2017) "Suscriptores totales de Telefonía Móvil por Entidad al II-2017", se sabe que existen 88,1 suscriptores de telefonía móvil por cada 100 habitantes. De este total (88.1%) un 73.66% de los suscritores utilizan GSM como tecnología celular, lo que pudiese generar una estimación de un 40% de ese 73.66%, como un porcentaje (%) de Posibles Usuarios LTE, que serán la base para los cálculos de dimensionamiento de la red.

Seguidamente a manera de ejemplificación para el cálculo de cada uno de los sectores se tomó como ejemplo el municipio Mariño, el cual integra la ciudad de Porlamar por ser uno de los sectores que más densidad poblacional representa:

Tabla 5. Bases para la determinación del número de posibles suscriptores de LTE-A. Elaboración propia.

| BASE DE CALCULO PARA DETERMINACIÒN DE % DE POSIBLES USUARIOS LTE | | | |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Unidad** | **Formulas** |
| Municipio o Sector | **Mariño (Porlamar)** | | |
| Población | 97.667 | Hab | |
| % de Suscriptores moviles por cada 100 habitantes (CONATEL) 88,1 % | 86.045 | Susc | *(Poblacion) X 88,1% (suscriptores X cada 100 habitantes)* |
| Población con Tecnología GSM (CONATEL) 73,66% | 63.380 | Hab | *(Suscriptores moviles por cada 100 habitantes) X 73,66 % (Porcentaje de poblaciòn con GSM)]* |
| **% Estimación de Posibles Usuarios LTE 40%** | **25.352** | Hab | *(Población con Tecnología GSM) X 40% (Estimaciòn de posibles usuarios LTE)* |

Seguidamente se presenta las bases para el cálculo del tráfico Erlang a ser aplicado a cada sector, sirviendo como ejemplo el sector Mariño (Porlamar):

Tabla 6. Base de cálculo para el tráfico *Erlang*. Elaboración propia.

| **PREMISAS PARA EL CALCULO DE TRAFICO Erlang** | | | **BASES PARA EL CALCULO DE EL TRAFICO ERLANG** |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Unidad** | |
| Duración promedio de una llamada | 59 | Seg | |
| Cantidad de llamadas por hora | 0,73 | Llms | |
| Probabilidad de bloqueo | 1 | % | |
| Trafico X usuario | 0,012 | mErl | **Formula** $\frac{[(Cantidad\ de\ Llamadas\ X\ hora)\ X\ (Duraciòn\ promedio\ de\ una\ llamada\ en\ segundos)]}{3600\ segundos}$ |

| **CALCULO DE TRAFICO ESPERADO (Erlang)** | | | **Formula para el Calculo** |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Unidad** | |
| Municipio o Sector | **Mariño (Porlamar)** | | |
| Estimación de Posibles Usuarios LTE | **25.352** | Hab | |
| Trafico X usuario | 0,012 | mErl | $\frac{[(Cantidad\ de\ Llamadas\ X\ hora)\ X\ (Duraciòn\ promedio\ de\ una\ llamada\ en\ segundos)]}{3600\ segundos}$ |
| Trafico Erlang | 304,2 | Erl | *(Estimaciòn de posibles usuarios LTE) X (Trafico por usuario)* |
| Total canales | 328,00 | canales | Tabla Erlang-B. Fuente: A Robust and Efficient Algorithm for Evaluating Erlang's Formula Erlang B (2018) |

Seguidamente se presentan los cálculos relacionados a la cantidad de canales requeridos de acuerdo al tráfico y posibles usuarios LTE para cada uno de los sectores: a través de la siguiente tabla:

Tabla 7. Canales por sector según tráfico y tabla Erlang-B. Elaboración propia.

| MUNICIPIO | POBLACIÓN TOTAL | Ciudad o Poblaciòn de Referencia | Tipo de Zona | SUPERFICIE Km2 | U: Densidad de usuarios (usuarios/Km2) | Estimaciòn de Posibles Usuarios LTE 40% | Canales según tabla Erlang B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MARIÑO | 97.667 | Porlamar | Urbana | 39 | 2.504,3 | 25.352,19 | 328 |
| MANEIRO | 48.952 | Pampatar | Urbana | 35 | 1.398,6 | 12.707 | 172 |
| MARCANO | 35.691 | Juan Griego, Los Millanes | Urbana | 40 | 892,3 | 9.265 | 129 |
| GARCÍA | 68.490 | El Valle del Espiritu Santo, Villa Rosa, Villa Verde, San Antonio | Urbana | 85 | 805,8 | 17.778 | 235 |
| ARISMENDI | 28.309 | La Asunciòn | Sub-urbana | 52 | 544,4 | 7.348 | 105 |
| DÍAZ | 71.466 | San Juan, Cotoperiz, Plaza San Juan Bautista, Plaza Arismendi | Sub-urbana | 166 | 430,5 | 18.551 | 245 |
| GÓMEZ | 40.409 | Santa Ana, La Vecindad, | Sub-urbana | 96 | 420,9 | 10.489 | 145 |
| ANTOLÍN DEL CAMPO | 28.294 | Manzanillo, El Salado, Paraguachi | Sub-urbana | 72 | 393,0 | 7.344 | 105 |
| TUBORES | 36.924 | Punta de Piedra, El Guamache | Rural | 180 | 205,1 | 9.585 | 133 |
| VILLALBA | 8.985 | San Pedro de Coche, El Bichar | Rural | 55 | 163,4 | 2.332 | 39 |
| PENÍNSULA DE MACANAO | 26.423 | San Francisco | Rural | 331 | 79,8 | 6.859 | 99 |
| ISLA LA BLANQUILLA | 20 | | Turistica | 63,7 | 0,3 | 5 | 2 |
| ISLA LA TORTUGA | 15 | | Turistica | 156,7 | 0,1 | 4 | 2 |
| | | | | | | | |
| TOTAL | 491.645 | | | 1371,4 | 358,5 | 127.620 | 1.739 |

## Premisas para los cálculos de área celda con geometría hexagonal

A continuación, se presenta la base de cálculo para el dimensionamiento por área: el cual contempla entre otros:

- (R): Radio de la celda
- (A): Área de la celda
- N: número de celdas en cada patrón repetitivo (factor de reutilización)
- (D): Distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (co-canales): parámetro de mucha importancia para reducir las interferencias co-canal producto de celdas vecinas.
- (d): distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente.

Siguiendo con el ejemplo del sector Mariño (Porlamar) se presenta la siguiente tabla:

Tabla 8. Cálculos geométricos iniciales para una celda con geometría hexagonal. Elaboración propia.

| **Calculos iniciales para una celda con geometria hexagonal** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Unidad** | FORMULA | DONDE: |
| R: radio de la celda | 1,0 | *Km* | | |
| **A: Área** | **2,60** | $Km^2$ | $A = 1.5 \times R^2 \sqrt{3}$ | A: Área de la celda (geometría hexagonal)<br>R: Radio de la celda |
| **d: distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente** | **1,73** | **Km** | $d = \sqrt{3 \times R}$ | R: Radio de la celda |
| N: numero de celdas en cada patrón repetitivo (factor de reutilización) | 3 | *Celdas* | | |
| **D: distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (cocanales).** | **3,0** | **Km** | $D = \sqrt{3N} \times R$ | N: numero de celdas en cada patrón repetitivo (factor de reutilización)<br>R: radio de la celda |

Es importante destacar que de acuerdo a la densidad poblacional de cada sector se realizó una clasificación de zona para la determinación del radio de cada celda estimado en esta fase de dimensionamiento inicial, la cual se describe en la siguiente tabla:

Tabla 9. Criterio de clasificación de zona de acuerdo a densidad poblacional. Elaboraciòn propia.

| CLASIFICACIÒN DE ZONAS DE ACUERDO A DENSIDAD POBLACIONAL | | | |
|---|---|---|---|
| Zona | R: Radio de Cobertura de la Celda en Km | Tipo de Celda | Criterio |
| Urbana | 1 | micro-cèlula | Alta densidad poblacional |
| Sub-Urbana-I | 2 | cèlula | Mediana alta densidad poblacional |
| Sub-Urbana-II | 3 | cèlula | Mediana baja densidad poblacional |
| Rural I | 4 | Macro-cèlula | Baja densidad poblacional |
| Rural II | 6 | Macro-cèlula | Muy baja densidad poblacional |

Seguidamente se presenta en una matriz general la cual incluye todos los sectores los parámetros de cálculos relacionados para la determinación del total de estaciones base por cobertura:

- Población
- Densidad poblacional
- Trafico Erlang
- (R): Radio de la celda
- (A): Área de la celda
- N: número de celdas en cada patrón repetitivo (factor de reutilización)
- (D): Distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (co-canales): parámetro de mucha importancia para reducir las interferencias co-canal producto de celdas vecinas.
- (d): distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente, entre otros:

Tabla 10. Cálculos iniciales por sector estaciones base por cobertura. Elaboración propia.

| MUNICIPIO | POBLACIÓN TOTAL | Ciudad o Poblaciòn de Referencia | Tipo de Zona | SUPERFICIE Km2 | U: Densidad de usuarios (usuarios/Km2) | Estimaciòn de Posibles Usuarios LTE 40% | Canales según tabla Erlang B | Tipo de Celda | R: Radio de Cobertura de la Celda en Km 1 | N: numero de celdas en cada patron repetitivo (factor de reutilizaciòn) | S: Superficie de estaciòn base (Km2) | d: distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente | D: distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma | Numero de estaciones base por cobertura |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MARIÑO | 97.667 | Porlamar | Urbana | 39 | 2.504,3 | 25.352,19 | 328 | Hexagonal | 1 | 3 | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 15 |
| MANEIRO | 48.952 | Pampatar | Urbana | 35 | 1.398,6 | 12.707 | 172 | | 1 | 3 | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 13 |
| MARCANO | 35.691 | Juan Griego, Los Millanes | Urbana | 40 | 892,3 | 9.265 | 129 | | 1 | 3 | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 15 |
| GARCÍA | 68.490 | El Valle del Espiritu Santo, Villa Rosa, Villa Verde, San Antonio | Urbana | 85 | 805,8 | 17.778 | 235 | | 1 | 3 | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 33 |
| ARISMENDI | 28.309 | La Asunciòn | Sub-urbana | 52 | 544,4 | 7.348 | 105 | | 2 | 3 | 10,4 | 2,4 | 6,0 | 5 |
| DÍAZ | 71.466 | San Juan, Cotoperiz, Plaza San Juan Bautista, Plaza Arismendi | Sub-urbana | 166 | 430,5 | 18.551 | 245 | | 2 | 3 | 10,4 | 2,4 | 6,0 | 16 |
| GÓMEZ | 40.409 | Santa Ana, La Vecindad, | Sub-urbana | 96 | 420,9 | 10.489 | 145 | | 3 | 3 | 23,4 | 3,0 | 9,0 | 4 |
| ANTOLÍN DEL CAMPO | 28.294 | Manzanillo, El Salado, Paraguachi | Sub-urbana | 72 | 393,0 | 7.344 | 105 | | 3 | 3 | 23,4 | 3,0 | 9,0 | 3 |
| TUBORES | 36.924 | Punta de Piedra, El Guamache | Rural | 180 | 205,1 | 9.585 | 133 | | 4 | 3 | 41,6 | 3,5 | 12,0 | 4 |
| VILLALBA | 8.985 | San Pedro de Coche, El Bichar | Rural | 55 | 163,4 | 2.332 | 39 | | 4 | 3 | 41,6 | 3,5 | 12,0 | 1 |
| PENÍNSULA DE MACANAO | 26.423 | San Francisco | Rural | 331 | 79,8 | 6.859 | 99 | | 4 | 3 | 41,6 | 3,5 | 12,0 | 8 |
| ISLA LA BLANQUILLA | 20 | | Turistica | 63,7 | 0,3 | 5 | 2 | | 6 | 3 | 93,5 | 4,2 | 18,0 | 1 |
| ISLA LA TORTUGA | 15 | | Turistica | 156,7 | 0,1 | 4 | 2 | | 6 | 3 | 93,5 | 4,2 | 18,0 | 2 |
| TOTAL | 491.645 | | | 1371,4 | 358,5 | 127.620 | 1.739 | | | | | | | 121 |

## 5.1.5. Modelo de Propagación

Las condiciones de propagación para la cobertura celular no son de visión directa, existen variedad de obstrucciones entre el trasmisor y el receptor que

generan reflexiones y difracciones reduciendo la señal en cuanto a su intensidad. Las pérdidas de propagación tienen un carácter aleatorio por lo que puede hablarse de cobertura desde el punto de vista estadístico. Es por ello que en esta sección se evalúa el diseño a través del modelo Okumura-Hata, con el fin de determinar las pérdidas en sectores urbanos y sub-urbanos que apoyaran la viabilidad del diseño con respecto a su entorno desde el punto de vista de su propagación.

Es importante destacar que el modelo Okumura-Hata contiene resultados, siendo el principal un conjunto de curvas que proporcionan: el nivel de atenuación media relativa respecto al espacio libre en función de la frecuencia, la distancia entre el transmisor y receptor, y las alturas de las antenas para la estación base como algunos factores de corrección específicos para analizar diferentes tipos de trayectos. El modelo de Okumura-Hata, está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el cálculo de pérdidas de propagación. La UIT en su recomendación M.1641-1 propone utilizar una altura de antena de recepción igual a 1.5 m, valor típico en aplicaciones móviles.

De acuerdo al análisis de densidad poblacional según la clasificación de zona descrita en la siguiente tabla:

Tabla 11. Aplicación modelo Okumura Hata y factor de corrección según zona. Elaboración propia

| **CLASIFICACIÒN DE ZONAS DE ACUERDO A DENSIDAD POBLACIONAL** | | | |
|---|---|---|---|
| **Zona** | **R: Radio de Cobertura de la Celda Aproximado en Km** | **Tipo de Celda** | **Criterio** |
| Urbana | 1 | micro-cèlula | Alta densidad poblacional |
| Sub-Urbana-I | 2 | cèlula | Mediana alta densidad poblacional |
| Sub-Urbana-II | 3 | cèlula | Mediana baja densidad poblacional |
| Rural I | 4 | Macro-cèlula | Baja densidad poblacional |
| Rural II | 6 | Macro-cèlula | Muy baja densidad poblacional |

Evaluando la tabla anterior se pude observar la aplicación de 3 combinaciones del modelo Hata para el diseño, de acuerdo a la clasificación de zonas según densidad poblacional y radio de cobertura de las antenas. Dichas combinaciones del modelo se describen a continuación:

- Modelo HATA (Entorno urbano)-Factor de corrección (Ciudad grande)
- Modelo HATA (Entorno sub-urbano)-Factor de corrección (Ciudad pequeña o mediana) con radios de 2 y 3 Km.
- Modelo HATA (Abierto)-Factor de corrección (Ciudad pequeña) con radios de 4 y 6 Km.

Seguidamente se realizan los cálculos del primer modelo:

### Cálculo Modelo HATA (Entorno urbano)

Se presenta en la siguiente tabla el cálculo del modelo Hata entorno urbano:

Tabla 12. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno urbano. Elaboración propia.

| **Modelo de propagación de Okumura-Hata (Entorno Urbano)** | |
|---|---|
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hb: Altura de la antena transmisora en metros, válido para 30 m < hb < 200 m | 30 Mts |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| d: Distancia entre la estación base y el móvil expresada en Km (1 Km < d < 20 Km) | 1 Km |
| Lb: Pérdidas de propagación. | **123,58 dB** |
| **Formula:** $L_b = 69.55 + 26.16\log_{10}(f) - 13.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log_{10}(h_b))\log_{10} d$ | |
| **a(hm): Factor de correcciòn para ciudades grandes en áreas para f ≥ 400 MHz** | |
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| a(hm): Factor de correcciòn ciudades pequeñas en áreas urbanas | **3,27 mts** |
| $a(h_m) = 3.2(h_m \log_{10} 11.75)^2 - 4.97$ para $f \geq 400\ MHz$ | |

### Cálculo Modelo HATA (Entorno suburbano) con radio de celdas 2 Km:

Se presenta en la siguiente tabla el cálculo del modelo Hata entorno urbano:

Tabla 13. Cálculo perdidas modelo Hata entorno suburbano con d = 2 Km. Elaboración propia.

| **Modelo de propagación de Okumura-Hata (Entorno Suburbano)** | |
|---|---|
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hb: Altura de la antena transmisora en metros, válido para 30 m < hb < 200 m | 30 Mts |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| d: Distancia entre la estación base y el móvil expresada en Km (1 Km < d < 20 Km) | 2 Km |
| Ldb (urbano) | 134,18 dB |
| LdB (suburbano): Pérdidas de propagación. | **124,55 dB** |
| **Formula:** $L_{dB}(\text{suburbano}) = L_{dB}(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5{,}4$ | |
| **a(hm): Factor de correcciòn para ciudades pequeñas en áreas urbanas** | |
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| a(hm): Factor de correcciòn ciudades pequeñas en áreas urbanas | **0,05 mts** |
| $a(h_m) = (1.11\log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}(f) - 0.8)$ <br> $1 \le h_m \le 10\ \text{m}$ | |

## Cálculo Modelo HATA (Entorno suburbano) con radio de celdas 3 Km:

Tabla 14. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno suburbano con d = 3 Km. Elaboración propia.

| **Modelo de propagación de Okumura-Hata (Entorno Suburbano)** | |
|---|---|
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hb: Altura de la antena transmisora en metros, válido para 30 m < hb < 200 m | 30 Mts |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| d: Distancia entre la estación base y el móvil expresada en Km (1 Km < d < 20 Km) | 3 Km |
| Ldb (urbano) | 140,39 dB |
| LdB (suburbano): Pérdidas de propagación. | **130,75 dB** |
| **Formula:** $L_{dB}(\text{suburbano}) = L_{dB}(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5{,}4$ | |
| **a(hm): Factor de correcciòn para ciudades pequeñas en áreas urbanas** | |
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| a(hm): Factor de correcciòn ciudades pequeñas en áreas urbanas | **0,05 mts** |
| $a(h_m) = (1.11\log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}(f) - 0.8)$ <br> $1 \le h_m \le 10\ \text{m}$ | |

## Cálculo Modelo HATA (Entorno abierto) con radio de celdas 4 Km:

Tabla 15. Cálculo perdidas modelo Hata entorno suburbano con d = 4 Km. Elaboración propia.

| **Modelo de propagación de Okumura-Hata (Entorno Abierto)** | |
|---|---|
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hb: Altura de la antena transmisora en metros, válido para 30 m < hb < 200 m | 30 Mts |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| d: Distancia entre la estación base y el móvil expresada en Km (1 Km < d < 20 Km) | 4 Km |
| Ldb (urbano) | 144,79 dB |
| LdB (suburbano): Pérdidas de propagación. | **9,14 dB** |
| **Formula:** $L_{dB}(\text{abierto}) = L_{dB}(\text{urbano}) - 4{,}78(\log f_c)^2 - 18{,}733(\log f_c) - 40{,}98$ | |
| **a(hm): Factor de correcciòn para ciudades pequeñas en áreas urbanas** | |
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| a(hm): Factor de correcciòn ciudades pequeñas en áreas urbanas | **0,05 mts** |
| $a(h_m) = (1.11\log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}(f) - 0.8)$ <br> $1 \le h_m \le 10$ m | |

## Cálculo Modelo HATA (Entorno abierto) con radio de celdas 6 Km:

Tabla 16. Cálculo perdidas modelo Okumura-Hata entorno suburbano con d = 6 Km. Elaboración propia.

| **Modelo de propagación de Okumura-Hata (Entorno Abierto)** | |
|---|---|
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hb: Altura de la antena transmisora en metros, válido para 30 m < hb < 200 m | 30 Mts |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| d: Distancia entre la estación base y el móvil expresada en Km (1 Km < d < 20 Km) | 6 Km |
| Ldb (urbano) | 150,99 dB |
| LdB (suburbano): Pérdidas de propagación. | **15,34 dB** |
| **Formula:** $L_{dB}(\text{abierto}) = L_{dB}(\text{urbano}) - 4{,}78(\log f_c)^2 - 18{,}733(\log f_c) - 40{,}98$ | |
| **a(hm): Factor de correcciòn para ciudades pequeñas en áreas urbanas** | |
| f: Frecuencia de la portadora en MHz. | 800 MHz |
| hm: Altura de la antena receptora en metros, válido para 1 m < hm < 10 m | 1,5 Mts |
| a(hm): Factor de correcciòn ciudades pequeñas en áreas urbanas | **0,05 mts** |
| $a(h_m) = (1.11\log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}(f) - 0.8)$ <br> $1 \le h_m \le 10$ m | |

Se presenta a continuación la tabla resumen de la aplicación del Modelo Hata a cada uno de las clasificaciones de zona según densidad poblacional:

Tabla 17. Resumen de aplicación del Modelo Hata a las diferentes clasificaciones de zona. Elaboración propia.

| CLASIFICACIÒN DE ZONAS DE ACUERDO A DENSIDAD POBLACIONAL | | | MODELO OKUMURA HATA | | Factor de Correcciòn | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | R: Radio de Cobertura de la Celda en Km | Criterio | TIPO | Ldb | Tipo | A(hr) |
| Urbana | 1 | Alta densidad poblacional | Para Entorno Urbano | 123,58 | Ciudad Grande | 3,27 |
| Sub-Urbana-I | 2 | Mediana alta densidad poblacional | Para Sub-Urbano | 124,55 | Ciudad Pequeña o Mediana | 0,05 |
| Sub-Urbana-II | 3 | Mediana baja densidad poblacional | Para Sub-Urbano | 130,75 | Ciudad Pequeña o Mediana | 0,05 |
| Rural I | 4 | Baja densidad poblacional | Zonas Abiertas | 9,14 | Ciudad Pequeña o Mediana | 0,05 |
| Rural II | 6 | Muy baja densidad poblacional | Zonas Abiertas | 15,34 | Ciudad Pequeña o Mediana | 0,05 |

## 5.1.6. Parámetros de la Tecnología

Se presenta a continuación parámetros de la tecnología:

| Parameter | |
|---|---|
| Sectores por emplazamientos | 3 |
| Modelo de propagación | Okumura-Hata<br>Extended Hata |
| Banda de frecuencia de portadora | 800 1800, 2600 MHz |
| Ancho de banda de portadora | 2x 10, 15 y 20 MHz FDD |
| Eficiencia espectral | αS(SNIR);<br>donde<br>α factor de atenuación del codeset<br>S(SNIR)=log2(1+SNIR) |
| Ganancia Multiusuario | Downlink |
| | Uplink |
| Potencia BS | 800 MHz 46 dBm<br>1800 MHz 47 dBm<br>2600 MHz 49 dBm |
| Ganancia de antena eNB | 800 MHz 16 dBi<br>1800 MHz 18 dBi<br>2600 MHz 21 dBi |
| Ganancia de antena exterior (terminal de usuario) | 800 MHz 13.5 dBi<br>1800 MHz 14.5 dBi<br>2600 MHz 16 dBi |
| Atenuación por cables | 800 MHz 4 dB<br>1800 MHz 5 dB<br>2600 MHz 6 dB |
| Valores SINR medios | 800 MHz 21.4dB<br>1800 MHz 16,8 dB<br>2600 MHz 17,5dB |
| Valores SINR en el borde | 800 MHz 1,95dB<br>1800 MHz -4,7 dB<br>2600 MHz -11.16dB |
| Ruido térmico | 800 MHz -104 dBm<br>1800 MHz -102 dBm<br>2600 MHz -101 dBm |
| Margen de interferencias | 1 dB |
| Recursos consumidos por los canales de control | 0,8 dB |
| Técnicas de diversidad de antenas | SISO, SIMO, MIMO 2x2 and MIMO 4x4 |
| Shadow fading | Dense Urban 21,5 dB<br>Urban 19,5 dB<br>Suburban 9,2 dB<br>Rural 7,8 dB<br>Open 7,8 dB |
| Área de la Célula | $0,95*r^2*F$ |
| Proporción de tráfico en Hora Cargada | 20% |
| Relación de tráfico ascendiente respecto al descendiente en hora cargada | 20% |
| F (sólo utilizado para el estudio de las zonas rurales de España) | Suburban: 0,13<br>Rural: 0,26<br>Open:0,20 |

Figura 55. Variables de entrada modelo técnico
Fuente: Analysys mason (2017)

### 5.1.7. Banda de Operación Escogida y Modo de Funcionamiento de la Tecnología Móvil

De acuerdo a la tabla de bandas disponibles para la tecnología LTE y LTE-A se escogió la banda de operación número 20 ubicada en el rango de los 800 MHz, la cual se muestra a continuación para efectos de la simulación experimental del diseño y cálculos para el dimensionamiento:

Tabla 18. Bandas disponibles para la tecnología LTE y LTE-A

Fuente: Calle (2014)

| Banda de operación | Uplink | | Downlink | | Ancho de banda tanto en *uplink* como en *downlink* [MHz] | Espaciamiento entre *uplink* y *downlink* [MHz] | Modo Dúplex |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Low [MHz] | High [MHz] | Low [MHz] | High [MHz] | | | |
| 1 | 1920 | 1980 | 2110 | 2170 | 60 | 130 | FDD |
| 2 | 1850 | 1910 | 1930 | 1990 | 60 | 20 | FDD |
| 3 | 1710 | 1785 | 1805 | 1880 | 75 | 20 | FDD |
| 4 | 1710 | 1755 | 2110 | 2155 | 45 | 355 | FDD |
| 5 | 824 | 849 | 869 | 894 | 25 | 20 | FDD |
| 6 | 830 | 840 | 875 | 885 | 10 | 35 | FDD |
| 7 | 2500 | 2570 | 2620 | 2690 | 70 | 50 | FDD |
| 8 | 880 | 915 | 925 | 960 | 35 | 10 | FDD |
| 9 | 1749.9 | 1784.9 | 1844.9 | 1879.9 | 35 | 60 | FDD |
| 10 | 1710 | 1770 | 2110 | 2170 | 60 | 340 | FDD |
| 11 | 1427.9 | 1452.9 | 1475.9 | 1500.9 | 25 | 23 | FDD |
| 12 | 698 | 716 | 728 | 746 | 18 | 12 | FDD |
| 13 | 777 | 787 | 746 | 756 | 10 | 21 | FDD |
| 14 | 788 | 798 | 758 | 768 | 10 | 20 | FDD |
| 15 | 1900 | 1920 | 2600 | 2620 | 20 | 680 | FDD |
| 16 | 2010 | 2025 | 2585 | 2600 | 15 | 560 | FDD |
| 17 | 704 | 716 | 734 | 746 | 12 | 18 | FDD |
| 18 | 815 | 830 | 860 | 875 | 15 | 30 | FDD |
| 19 | 830 | 845 | 875 | 890 | 15 | 30 | FDD |
| 20 | 832 | 862 | 791 | 821 | 30 | 71 | FDD |
| 21 | 1447.9 | 1462.9 | 1495.9 | 1510.9 | 15 | 33 | FDD |
| 22 | 3410 | 3500 | 3510 | 3600 | 90 | 10 | FDD |
| 33 | 1900 | 1920 | 1900 | 1920 | 20 | 0 | TDD |
| 34 | 2010 | 2025 | 2010 | 2025 | 15 | 0 | TDD |
| 35 | 1850 | 1910 | 1850 | 1910 | 60 | 0 | TDD |
| 36 | 1930 | 1990 | 1930 | 1990 | 60 | 0 | TDD |
| 37 | 1910 | 1930 | 1910 | 1930 | 20 | 0 | TDD |
| 38 | 2570 | 2620 | 2570 | 2620 | 50 | 0 | TDD |
| 39 | 1880 | 1920 | 1880 | 1920 | 40 | 0 | TDD |
| 40 | 2300 | 2400 | 2300 | 2400 | 100 | 0 | TDD |
| 41 | 3400 | 3600 | 3400 | 3600 | 200 | 0 | TDD |

La banda de 800 MHz está recientemente asignada al uso de móviles de cuarta generación, su uso proporciona mayor penetración dentro de edificios (debido a que la frecuencia es más baja que en las otras bandas utilizadas para 4G) y además, su implantación proporciona una mayor cobertura

geográfica. La utilización de la banda de 800 MHz conllevará mejoras tanto al usuario como a las operadoras.

En cuanto a la frecuencia de transmisión del sector (*downlink*) se escoge un valor dentro de la banda de 800 MHz, perteneciente a la banda UHF, que irá asociada a su correspondiente frecuencia de transmisión del terminal (*uplink*). Se elige utilizar la banda 20, ya que es la más alejada de las bandas de televisión y es previsible que sea más difícil que provoquen interferencias en nuestra red. Por lo tanto, se ha tomado la decisión de escoger como frecuencia de transmisión del sector el rango 832-862 MHz, y como frecuencia de transmisión del terminal el rango 791-821 MHz, pertenecientes a la banda 20.

Tabla 19. Banda de operación del diseño. Elaboración propia.

| **BANDAS DE OPERACIÒN FRECUENCIA LTE-A ESCOGIDA** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ch/Bloque | Banda de Operaciòn | $F_o$ (Mhz) | $F_f$ (MHz) | $F_c$ (MHz) | BW (MHz) | Enlace |
| | 20 | 832 | 862 | 847 | 30 | UL |
| | 20 | 791 | 821 | 806 | 30 | DL |

En cuando al modo de funcionamiento, se escoge FDD (Duplexaciòn por División de Frecuencia), ya que proporciona mayor eficiencia espectral, pero, por otro lado, TDD tiene la aplicación adicional de poder ser usado como tecnología de transmisión de acceso (*blackhaul*). Es claro que FDD y TDD tienen sus propias fortalezas y debilidades. Aunque FDD es generalmente más apropiado para aplicaciones como llamadas de voz, que tienen un tráfico simétrico. Esto se debe a que el tráfico en ambas direcciones es siempre constante y emplear TDD sería desperdiciar ancho de banda en constante cambio de uno a otro sentido. Por tanto TDD es mejor en las aplicaciones que tienen el tráfico asimétrico, por ejemplo, la navegación vía Internet; TDD es capaz de dar un equilibrio dinámico a la carga de datos si esto fuese necesario.

Otra de las ventajas que tiene FDD consiste en la planificación de sitios para las estaciones base, pues en el caso de FDD, al usar distintas bandas de frecuencias para los enlaces ascendentes y descendentes, no se requiere una planificación espacial entre estaciones base; sin embargo, en el caso de TDD deben de ser tomadas en cuenta consideraciones espaciales con el fin de evitar que las estaciones vecinas interfieran unas con otras

### 5.1.8. Reutilización de frecuencias

Dado que LTE alcanza tasas de bits elevadas con alta eficiencia espectral, recomienda reutilizar las frecuencias portadoras en todas las células (factor de reutilización =1). No obstante, esta intensa reutilización puede producir en los bordes de las células una interferencia excesiva. Una de las alternativas ante esta problemática es dividir el ancho de banda total en varios bloques y usar bloques de frecuencias diferentes en células contiguas según un determinado patrón de reutilización como el ejemplificado en la siguiente figura:

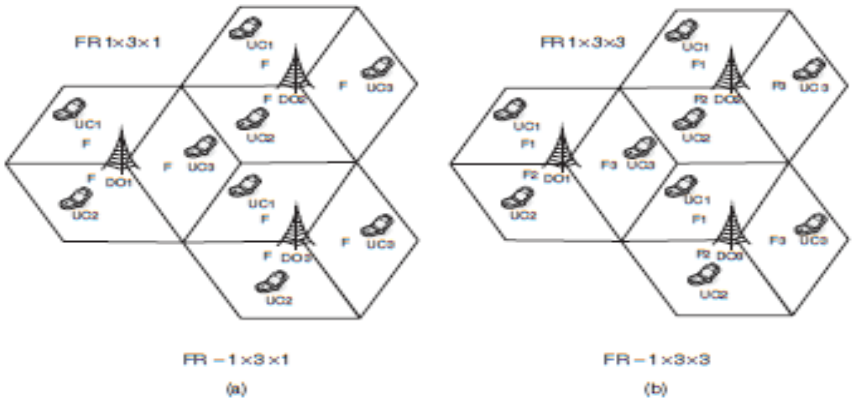



Figura 56. Reusó de frecuencia (factor 3)
Fuente: Taha A & (2012)

Para cumplir con esta recomendación a continuación se presenta una tabla de división de la frecuencia original de 30 MHz de ancho de banda en 3 bloque

de 10 MHz para una asignación en un patrón de reutilización de 3. Siendo la posible distribución la descrita a continuación:

Tabla 20. Tabla de asignación de bandas para reutilización de frecuencias factor (3). Elaboración propia.

| DIVISION DE BANDAS DE OPERACIÒN DE FRECUENCIA ORIGINAL PARA LA REUTILIZACIÒN DE FRECUENCIA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FACTOR DE REUTILIZACIÒN:** | | | **3** | | | |
| **ANCHO DE BANDA:** | | | **10** MHz | | | |
| Banda de Operaciòn | Sub-Banda de Operaciòn | Fo (Mhz) | Ff (MHz) | Fc (MHz) | BW (MHz) | Enlace |
| **20** | **20-1** | **791** | **801** | **796** | **10** | **DL** |
| | 20-1 | 832 | 842 | 837 | 10 | UL |
| | | | | | | |
| **20** | **20-2** | **801** | **811** | **806** | **10** | **DL** |
| | 20-2 | 842 | 852 | 847 | 10 | UL |
| | | | | | | |
| **20** | **20-3** | **811** | **821** | **816** | **10** | **DL** |
| | 20-3 | 852 | 862 | 857 | 10 | UL |

### 5.1.9. Ancho de banda

El elemento de recurso RE (*Resource Element*), en LTE es la estructura más pequeña de modulación a utilizar en esta tecnología. Este RE es una sub-portadora de 15 KHz por cada símbolo. Los RE conforman un bloque de recursos RB (*Resource Block*). Un RB está estructurado en el dominio de la frecuencia por 12 sub-portadoras y en el dominio del tiempo con 6 o 7 símbolos. En la Banda 20 de LTE están habilitados los canales de 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, y 15 MHz. Se presenta a continuación tabla de número máximo de bloque de recursos (RD) y velocidades alcanzadas de acuerdo al ancho de banda en MHz:

Tabla 21. Número máximo de RB.

Fuente: (Telefonica Movistar, 2017).

| Canalización (MHz) | 1.4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Velocidad Pico Total (Mb/s) | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Velocidad Pico Bruta por Usuario (Mb/s) | 5.1 | 12.8 | 21 | 42.5 | 63.7 | 85 |

Celdas con factor de reutilizaciòn (3)

Como complemento a la información presentada se presenta a continuación la tabla de recursos físicos PRB para una modulación de 10 MHz, lo cual servirá para ilustrar las velocidades alcanzadas de acuerdo a la eficiencia espectral producto del esquema de modulación seleccionado:

Tabla 22. Recursos físicos PRB con 64-QAM a 10 MHz. Elaboración propia.

| ANALISIS DEL BLOQUE DE RECURSOS FISICOS (PRB) CON MODULACIÒN 64-QAM (ANCHO DE BANDA 10 MHZ) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | Simbolos | X | 12 | Subportadoras | : | 84 | Recursos |
| **84** | **Recursos** | **X** | **6** | **bits/simbolos (64-QAM)** | : | 504 | bits |
| 504 | bits | / | 0,5 | seg | : | 1008 | bps |
| | | | | | | | |
| 1 | PRB | | | ancho de banda | : | 180 | KHz |
| 1 | PRB | | | espaciado | : | 15 | KHz |
| 1 | PRB | | | Total | : | 195 | KHz |
| | | | | | | | |
| **10000** | **KHz** | **:** | | **ancho de banda** | | | |
| 10000 | KHz | / | 195 | KHz (PRB total) | : | 51,3 | PRB |
| 51,3 | PRB | X | 1008 | bps | : | 51692,3 | Kbps |
| 51692,3 | Kbps | - | 15,0 | % | : | 43938,5 | Kbps |
| 43938,5 | Kbps | / | 1024 | Bits | : | 42,9 | Mbps |

### 5.1.10. Cálculo del área de cobertura

Es importante destacar como base de sustentación de las fórmulas utilizadas para los cálculos a presentar a continuación; que los mismos se basaron en información recabada de Telefonica Movistar (2017).

Para el cálculo del área se utilizó la fórmula:

$$A = \frac{3\sqrt{3}\,x\,R^2}{2}$$, donde; R: radio de la celda.

Para el cálculo del radio de la celda se utilizó la formula descrita a continuación:

$R = 10^{\frac{(P-139.24)}{35.22}}$, donde P representa la atenuación compensable (dB) o perdidas en el espacio.

Para la (P) atenuación compensable (dB) se tiene:

P = A – B + C – I – L + K + H – O; donde:

- A: Potencia de transmisor eNB (dBm)
- B: Perdidas en los cables de conexión y conectores (dBi)
- C: Ganancia antena transmisora TX (dBi)
- L: Margen de desvanecimiento (dB)
- K: Ganancia de la antena RX (UE) (dB)
- H: IM Margen de interferencia (dB)
- O: Perdidas por penetración (dB)
- I: Sensibilidad en el receptor RX (dB)

Para el cálculo (I) sensibilidad en el receptor se utilizó la siguiente formula:

I: F + G + H, donde;

- F: potencia de ruido térmico en recepción (dB)
- G: Relación SINR (Relación señal interferencia ruido)
- H: IM (dB) Margen de interferencia

Es importante destacar que F: potencia de ruido térmico en recepción es un valor calculado y presenta la siguiente formula:

$$F = -174 + E + 10 \log (Bw\ (Hz)), \text{ siendo:}$$

- E: Factor de ruido (UE) equipo de usuario (dB)
- Bw (Hz): Ancho de banda del canal a utilizar

Dados que algunos datos forman parte de las premisas iniciales representados en la Figura 55 (Variables de entrada modelo técnico), otros son calculados, los cuales se han representado a través de sus respectivas formulas; quedan solo los datos que fueron extraídos de tablas de simulación como lo son: H: IM (dB) Margen de interferencia y G: Relación SINR (Relación señal interferencia ruido), los cuales estarán sustentados por los datos extraídos a través de la siguiente tabla:

Tabla 23. Tipos de modulación LTE. Elaboración propia.

| CQI | Modulación | M | Razón de Código | Eficiencia espectral | SNR(dB) | IM(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | QPSK | 4 | 0,00000 | 0,0000 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | QPSK | 4 | 0,07617 | 0,1523 | -9,5 | 2,5 |
| 2 | QPSK | 4 | 0,11719 | 0,2344 | -7,5 | 2,5 |
| 3 | QPSK | 4 | 0,18848 | 0,3770 | -5,2 | 2,5 |
| 4 | QPSK | 4 | 0,30078 | 0,6016 | -2,9 | 2,5 |
| 5 | QPSK | 4 | 0,43848 | 0,8770 | -0,8 | 2,5 |
| 6 | QPSK | 4 | 0,58789 | 1,1758 | 1,0 | 2,5 |
| 7 | 16QAM | 16 | 0,36914 | 1,4766 | 2,5 | 3,0 |
| 8 | 16QAM | 16 | 0,47852 | 1,9141 | 4,4 | 3,0 |
| 9 | 16QAM | 16 | 0,60156 | 2,4063 | 6,3 | 3,0 |
| 10 | 64QAM | 64 | 0,45508 | 2,7305 | 7,5 | 4,0 |
| 11 | 64QAM | 64 | 0,55371 | 3,3223 | 9,5 | 4,0 |
| 12 | 64QAM | 64 | 0,65039 | 3,9023 | 11,4 | 4,0 |
| 13 | 64QAM | 64 | 0,75391 | 4,5234 | 13,4 | 4,0 |
| 14 | 64QAM | 64 | 0,85254 | 5,1152 | 15,3 | 4,0 |
| 15 | 64QAM | 64 | 0,92578 | 5,5547 | 16,6 | 4,0 |

Una vez descrito los datos y formulas a utilizar para los cálculos de potencia de ruido térmico en el receptor, sensibilidad, balance del enlace entre otros los cuales formaran la base para la determinación del radio y área de la celda

se presenta a continuación la matriz de cálculo para el enlace de 10 MHz con modulación 64-QAM:

Tabla 24. Balance del enlace descendente (10 MHz) para el cálculo del área celda. Elaboración propia.

| PRX: BALANCE DEL ENLACE | | | |
|---|---|---|---|
| **PARAMETROS BASE** | | | |
| **Parametro** | **Valor** | **FORMULA** | **OBS** |
| BW (Hz): Ancho de banda del canal | **10 MHz** | | Canal tomado de 10 MHz para un factor de reuso de frecuencias 3 |
| Modulaciòn | **64-QAM** | | |
| Eficiencia espectral | 6 bits/simb | | |
| **BALANCE ENLACE DESCENDENTE** | | | |
| A: potencia de transmisión de la estaciòn base (dBm). | 46 dBm | | Depende de la estaciòn base: Wide area (sin limite), Local area (15-24 dBm), Home (11-20 dBm). Dato obtenido de tabla de variables de entorno (Figura.55) |
| B: Perdidas en los cables de conexiòn y conectores | 4 dBi | | En funciòn de la frecuencia y longitud del cable.Con amplificadores pueden ser muy reducidos (1-6 dB). Dato obtenido de tabla de variables de entorno (Figura.55) |
| C: Ganancia de la antena Tx para el trayecto (dBi). | 16 dBi | | Depende de la frecuencia y modo de explotaciòn. Rango de 15 a 21 dBi. Dato obtenido de tabla de variables de entorno (Figura.55) |
| D: PIRE (Potencia equivalente en el aire) | 58 dB | **D = A - B + C** | |
| E: Factor de ruido de ruido de UE (equipo de usuario) | 5 dB | | Depende de banda y separación dúplex (6-11 dB). Dato ontenido bajo supuesto. |
| F: Potencia de ruido termico en recepciòn | -99,0 dB | **F = -174 + E + 10 Log (BW (Hz))** | Depende de la anchura de banda asignada (número de bloques de recursos). |
| G: Relaciòn SINR (Relaciòn señal interferencia ruido) | 16,6 dB | | Depende de tasa binaria y condiciones de explotaciòn (Dato obtenido a traves de tablas de simulaciòn) para una modulaciòn de: 64-QAM con una eficiencia espectral de: 6 bits/simbolos |
| H: IM (dB) Margen de interferencia | 4 dB | | Dato a tener en cuenta para la interferencia intercelular de otras eNBs sobre (UE). (Dato obtenido a traves de tablas de simulaciòn) |
| I: Sensibilidad del receptor | -78,4 dB | **I = F + G + H** | |
| K: Ganancia antena RX (UE) | 13,5 | | Dato obtenido de tabla de variables de entorno (Figura.55) |
| L: Margen log-normal para 90% ubicaciones (Margen de desvanecimiento) | 10 dB | | Estimaciòn |
| O: Perdidas por penetracion | 18 dB | | Estimaciòn |
| P: Atenuación compensable (dB) | 125,9 dB | **P = A - B + C - I - L + K + H - O** | |
| R: Radio de la celda | **0,42 Km** | $10^{\frac{P-139,24}{35,22}}$ | |
| S: Area de la celda | **0,45 Km2** | $A = \frac{3\sqrt{3}(R)^2}{2}$ | |

De acuerdo a los datos obtenidos de atenuación compensable: 125.9 dB, radio de 0.42 Km y un área de 0.45 Km2 se puede evidenciar la viabilidad del enlace.

### 5.1.11. Balance de ganancias y pérdidas del enlace de acuerdo al modelo Hata

En este apartado se tienen en cuenta varios factores de pérdidas y de ganancias como son la potencia de trasmisión, las ganancias de las antenas, las pérdidas del sistema, otras ganancias y los márgenes de desvanecimientos con el fin de realizar un análisis teórico del enlace en términos de energía y alcanzar el valor de potencia recibida ($PRX$):

- $PRX = PTX + GTX - LProp + GRX$
- $\mathrm{PT}X$: potencia de transmisión (dBm)
- $\mathrm{GTX}$: ganancia de la antena de transmisión (dBi)
- $\mathrm{LProp}$: pérdidas debidas a la propagación (dBm)
- $\mathrm{GRX}$: ganancia de la antena receptora (dBi)

Con el fin de que se cumpla: $P_{rx} >= SENS_{RX}$ (Sensibilidad receptor), para ello presentamos la siguiente tabla contentiba de la sencibilizaciòn de referencia para QAM-64 datos obtenidos mediante Cálculos a presentar mas adelante:

Tabla 25. Sensibilización de referencia para QAM-64 a 10 MHz. Elaboración propia.

| **Sensibilidad de Referencia para QAM-64 a 800 MHz** | |
|---|---|
| Frecuencia | **10 Mhz** |
| Sensibilidad | **-78,4** |

Seguidamente en la siguiente tabla se procede a realizar el bance del enlace para los diferentes tipos de zona de acuerdo a constantes extraídas de la Figura 55. (Variables de entrada modelo técnico) y cálculo de pérdidas de trayectoria bajo el modelo Okumura-Hata realizado en sección Modelo de propagación versus el valor de sensibilidad obtenido de la tabla 26:

Tabla 26. Cálculo balance de ganancias y pérdidas del enlace con respecto al modelo Okumura-Hata. Elaboración propia.

| **PRX: BALANCE DEL ENLACE** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PTX: potencia de transmisión (dBm). | 46 dBm | **Fomula** $PRX = PTX + GTX - LProp + GRX$ | | | |
| GTX: ganancia de la antena de transmisión (dBi). | 16 dBi | **Se Cumple:** $P_{RX} \geq SENS_{RX}$ | | | |
| GRX : ganancia de la antena receptora (dBi). | 13,5 dBi | | | | |
| LProp: pérdidas debidas a la propagación Modelo Okumura Hata (dBm). | ZONA | Lprop | **PRX** | **SENS RX 64-QAM A 10 MHz (dB)** | **PRX > SENS RX 64-QAM A 10 MHz (dB)** |
| | urbana | 123,58 dB | **-48,08 dB** | **-78,4** | **Viable** |
| | sub-urbana I | 124,55 dB | **-49,05 dB** | | **Viable** |
| | sub-urbana II | 130,75 dB | **-55,25 dB** | | **Viable** |
| | rural I | 9,14 dB | **66,36 dB** | | **Viable** |
| | rural II | 15,34 dB | **60,16 dB** | | **Viable** |

### 5.1.12. Cálculo de cantidad de usuarios

A continuación, se presenta tabla de $N_{RB}$ (Bloque de recursos) de acuerdo al tipo de modulación empleado y matriz de demanda de servicios por zona respectivamente:

Tabla 27. Tasas binarias máximas

Fuente: (Calle, 2014)

| | TASAS BINARIAS MÁXIMAS (Mb/s) CP NORMAL | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BW (MHz) | 1,4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| $N_{RB}$ | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| R(QPSK) | 2,016 | 5,040 | 8,400 | 16,800 | 25,200 | 33,600 |
| R(16QAM) | 4,032 | 10,080 | 16,800 | 33,600 | 50,400 | 67,200 |
| R(64QAM) | 6,048 | 15,120 | 25,200 | 50,400 | 75,600 | 100,800 |
| MIMO 2X2 64QAM | 12,096 | 30,240 | 50,400 | 100,800 | 151,200 | 201,600 |

Tabla 28. Matriz de demanda de servicio estimada. Elaboración propia.

| **Matriz de Demanda de Servicio Promedio Estimada por Densidad Poblacional y Zona** | |
|---|---|
| | |
| DS-Urbano | 747,10 Kbps |
| Internet | 128,00 Kbps |
| VoIP | 107,10 Kbps |
| PYME | 512,00 Kbps |
| | |
| DS-Suburbano | 491,10 Kbps |
| Internet | 128,00 Kbps |
| VoIP | 107,10 Kbps |
| PYME | 256,00 Kbps |
| DS-Rural | 235,10 Kbps |
| X1: Internet | 128,00 Kbps |
| X2: VoIP | 107,10 Kbps |

Seguidamente se presentan los cálculos para la determinación de la cantidad de usuarios por celda de acuerdo a la demanda de servicios por zona en la banda de 10 MHz (por sector):

Tabla 29. Matriz de cálculo de total usuarios por Celda a 10 MHz (64-QAM) según demanda de servicios. Elaboración propia.

| **Cálculo de total de usuarios por Celda a 10 MHz (64-QAM), según demanda de trafico** | | | |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Formulas** | |
| Banda de operación | 800 MHz | $C = A \times B \times 12 \times 2 \times 7 \times 10^3$ | |
| Ancho de banda del canal | 10 MHz | | |
| Modulación | 64 QAM | | |
| (A): Bits por símbolos | 6 | $E = DT$ | |
| (B): Cantidad de bloques de recursos | 50 | | |
| (C): Capacidad de la celda en Mbps | 50,4 Mbps | $F = \frac{C\ (kbps)}{(1+D) \times DT(kbps)}$ | |
| (D): Relación pico promedio | 0,85 | | |
| | (DT) Demanda de Trafico Estimado | E:Promedio del enlace de bajada en B del throughput por usuario | **F: Suscriptores que soporta cada Celda segùn demanda Kbps** |
| (DT) DS-Urbano | 747,10 Kbps | 747,10 Kbps | **36** |
| Internet | 128,00 Kbps | | |
| VoIP | 107,10 Kbps | | |
| PYME | 512,00 Kbps | | |
| | | | |
| (DT) DS-Suburbano | 491,10 Kbps | 491,10 Kbps | **55** |
| Internet | 128,00 Kbps | | |
| VoIP | 107,10 Kbps | | |
| PYME | 256,00 Kbps | | |
| | | | |
| (DT) DS-Rural | 235,10 Kbps | 235,10 Kbps | **116** |
| Internet | 128,00 Kbps | | |
| VoIP | 107,10 Kbps | | |
| | | | |

Para facilitar el cálculo de la cantidad de eNBs a instalar por sector, se presenta seguidamente la matriz de clasificación de celdas para eNBs:

Tabla 30. Matriz de clasificación de tipo de celdas según demanda de tráfico, frecuencia de operación y técnica de modulación. Elaboración propia.

| MATRIZ RESUMEN DE CLASIFICACIÒN DE CELDAS PARA eNBs 10 MHz | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A: Relaciòn pico promedio: 0,85** | | | | | | | |
| **CODIGO** | TIPO | DEMANDA DE TRAFICO (Kbps) | | RADIO (Km) | AREA (Km2) | CAPACIDAD CELDA (Mbps) | **SUSCRITORES X CELDA** |
| 10QAM64-UR | 10MHZ-QAM64-URBANO | DS-Urbano | 747,1 | 0,42 | 0,45 | 50,40 | **36** |
| 10QAM64-SU | 10MHZ-QAM64-SUBURBANO | DS-Suburbano | 491,1 | | | | **55** |
| 10QAM64-RU | 10MHZ-QAM64-RURAL | DS-Rural | 235,1 | | | | **116** |
| SUSCRITORES X CELDA = [(CAPACIDAD (Kbps)] / [(1 + Relaciòn pico promedio) x (DEMANDA DE TRAFICO) ] | | | | | | | |

Seguidamente se presentan los cálculos finales del dimensionamiento presentando los parámetros siguientes a tomar en cuenta en la fase de simulación y optimización del dimensionamiento preliminar realizado:

- Sector
- Superficie en Km2
- Tipo de zona
- Estimación de posibles usuarios LTE-A
- Código de configuración de celda
- Radio de la celda
- Factor de reutilización
- Superficie de cobertura de la eNB
- Distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente
- distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (cocanales)
- Usuarios por Clúster
- Usuarios por celda
- Total, eNBs por sector

A continuación de se presenta la matriz base (II) para la fase de simulación, cálculo de entidades y enlaces entre las islas e optimización de la solución:

Tabla 31. Matriz base para el dimensionamiento de la red LTE-A. Elaboración propia.

| MATRIZ BASE (II): PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA SOLUCIÒN (10 MHz QAM-64) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUNICIPIO | Ciudad o Poblaciòn de Referencia | SUPERFICIE Km2 | Canales según tabla Erlang B | Codigo de congiguraciòn de celda | R: Radio de Cobertura de la Celda en Km | N: numero de celdas en cada patron repetitivo (factor de reutilizaciòn) | S: Superficie de estaciòn base (Km2) | d: distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente | D: distancia mínima entre los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia (cocanales). | Capacidad Usuarios por Celda de acuerdo a demanda de trafico | Capacidad Usuarios por Celda de acuerdo a capacidad física (PRB) | Capacidad Usuarios por Celda | Capacidad de Usuarios por Cluter | TOTAL eNBs POR SECTOR |
| MARIÑO | Porlamar | 39 | 328 | 10QAM64-UR | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 36 | 50 | 36 | 108 | 10 |
| MANEIRO | Pampatar | 35 | 172 | 10QAM64-UR | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 36 | 50 | 36 | 108 | 5 |
| MARCANO | Juan Griego, Los Millanes | 40 | 129 | 10QAM64-UR | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 36 | 50 | 36 | 108 | 4 |
| GARCÍA | El Valle del Espiritu Santo, Villa Rosa, Villa Verde, San Antonio | 85 | 235 | 10QAM64-UR | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 36 | 50 | 36 | 108 | 7 |
| ARISMENDI | La Asunciòn | 52 | 105 | 10QAM64-UR | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 36 | 50 | 36 | 108 | 3 |
| DÍAZ | San Juan, Cotoperiz, Plaza San Juan Bautista, Plaza Arismendi | 166 | 245 | 10QAM64-SU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 55 | 50 | 50 | 150 | 5 |
| GÓMEZ | Santa Ana, La Vecindad, | 96 | 145 | 10QAM64-SU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 55 | 50 | 50 | 150 | 3 |
| ANTOLÍN DEL CAMPO | Manzanillo, El Salado, Paraguachi | 72 | 105 | 10QAM64-SU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 55 | 50 | 50 | 150 | 3 |
| TUBORES | Punta de Piedra, El Guamache | 180 | 133 | 10QAM64-RU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 116 | 50 | 50 | 150 | 3 |
| VILLALBA | San Pedro de Coche, El Bichar | 55 | 39 | 10QAM64-RU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 116 | 50 | 50 | 150 | 1 |
| PENÍNSULA DE MACANAO | San Francisco | 331 | 99 | 10QAM64-RU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 116 | 50 | 50 | 150 | 2 |
| ISLA LA BLANQUILLA | | 63,7 | 2 | 10QAM64-RU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 116 | 50 | 50 | 150 | 1 |
| ISLA LA TORTUGA | | 156,7 | 2 | 10QAM64-RU | 0,42 | 3 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 116 | 50 | 50 | 150 | 1 |
| TOTAL | | 1.371 | 1.739 | | | | | | | | | | | 48 |

## 5.2. Cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF y MME)

### 5.2.1. Ubicación de los eNb

Con el fin de optimizar el diseño en la fase de planificación se realizó un análisis sobre información dada en secciones anteriores sobre datos de población y superficie, densidad poblacional, mapa político administrativo, geográfico, topográfico y de ciudades y poblados más importantes de las zonas a dar cobertura, y en especial en aquellas zonas donde se encuentra la mayor concentración demográfica, con el objetivo de mantener la mayor relación costo beneficio bajo una filosofía de “Cobertura total” y manejo eficiente de los recursos, no proveyendo de cobertura a zonas despobladas y desérticas que forman parte de las islas de Margarita, Coche, Cubagua, La Blanquilla y La Tortuga. Para tal fin se utilizó la herramienta de simulación de estudio de cobertura de redes inalámbrica de nombre Xirio On-Line que en su versión gratuita nos proveyó de cierta cantidad limitado de estudios, una resolución aceptable, con algunas limitaciones por ser usado bajo la modalidad gratuita pero suficiente para ejemplarizar e ilustrar los alcances del presente trabajo.

Se describe a continuación como método de planificación, las acciones relevantes en esta etapa, acuerdo al siguiente orden:

- Se dividieron las zonas de cobertura por sectores seleccionando para cada estudio las zonas de mayor densidad poblacional para el cálculo de la cantidad de eNb necesarias de acuerdo a la extensión del área y densidad poblacional utilizando como apoyo la herramienta Xirio On-Line.

- Se presenta un cuadro resumen con el total de sectores seleccionados para la instalación de las eNbs, así como de sus coordenadas de ubicación cartográfica.

A continuación, se presenta la selección de puntos de interés escogidos mediante la herramienta Xirio On-Line.

Figura satelital de la Selección de Puntos generales de referencia para la ubicación para las eNbs Isla de Margarita

Figura 57. Ubicación Espacial de las eNbs Isla de Margarita
Fuente: Online, Xirio (2017)

La selección de cada de cada uno de los puntos, se basó en el análisis de mapas cartográficos, división geo-políticos, información de ciudades importantes y cuadros de densidad poblacional provistos en la sección anterior de: Datos y premisas iniciales para el dimensionamiento de la red. Como resultados de dicho estudio se le asignaron nombres a los puntos de interés por sector, tomando en cuenta la densidad poblacional y el área de cobertura

estimado con un radio de 0.42 km, una distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente de 1.1 Km aproximadamente y una distancia mínima entre el centro los centros de celdas que utilizan la misma frecuencia de 1.3 Km para cada antena para evitar la interferencia co-canal según los cálculos teóricos previamente realizados y validados luego con el estudio de cobertura particular a cada sector.

Se presenta a continuación un extracto del cuadro resumen con la ubicación de las eNbs y coordenadas de ubicación extraídas una por una de la herramienta Xirio-Online presentadas en el anexo I (Ubicación Geo-referencial de las eNBs por Municipio y Sector):

Tabla 32. Ubicación de eNbs por Sector de las Islas: Margarita, Municipio Mariño. Elaboración propia.

| UBICACIÒN DE LAS eNBs POR MUNICIPIO Y SECTOR | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | SECTOR | TIPO DE ZONA | NOMBRE eNB | UBICACIÒN | | CODIGO DE CELDA | BANDA DE OPERACIÒN |
| | | | | | Latitud | Longitud | | |
| MARGARITA | MARIÑO | Porlamar | Urbana | MA-001-BA | 10º58'42.37"N | 063º49'34.72"W | 10QAM64-UR | BA |
| | | Porlamar | Urbana | MA-002-BB | 10º58'08.78"N | 063º49'35.99"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-003-BC | 10º58'28.79"N | 063º50'06.66"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-004-BC | 10º57'33.51"N | 063º49'34.68"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-005-BA | 10º57'51.71"N | 063º50'08.21"W | 10QAM64-UR | BA |
| | | Porlamar | Urbana | MA-006-BB | 10º58'11.43"N | 063º50'38.58"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-007-BC | 10º58'31.00"N | 063º51'06.86"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-008-BC | 10º57'33.95"N | 063º50'39.61"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-009-BA | 10º57'53.00"N | 063º51'11.67"W | 10QAM64-UR | BA |
| | | Porlamar | Urbana | MA-010-BB | 10º58'18.03"N | 063º51'37.82"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-011-BB | 10º57'16.67"N | 063º51'12.99"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-012-BC | 10º57'38.36"N | 063º51'40.69"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-013-BA | 10º57'02.65"N | 063º51'45.85"W | 10QAM64-UR | BA |
| | | Porlamar | Urbana | MA-014-BB | 10º57'25.70"N | 063º52'16.69"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-015-BC | 10º56'50.44"N | 063º52'20.17"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-016-BA | 10º57'17.74"N | 063º52'53.00"W | 10QAM64-UR | BA |
| | | Porlamar | Urbana | MA-017-BB | 10º56'41.64"N | 063º52'56.85"W | 10QAM64-UR | BB |
| | | Porlamar | Urbana | MA-018-BC | 10º57'05.76"N | 063º53'29.14"W | 10QAM64-UR | BC |
| | | Porlamar | Urbana | MA-019-BA | 10º56'24.19"N | 063º53'29.92"W | 10QAM64-UR | BA |
| TOTAL | eNBs | 19 | | | | | | |

Es importante destacar que de acuerdo al análisis realizado a través de la herramienta Xirio-Online se ubicaron un total de 147 eNBs para todo el diseño, el cual compone 11 municipios y cuatros islas de acuerdo al cuadro resumen descrito a continuación:

Tabla 33. Resumen Total eNBs por Municipio. Elaboración propia.

| ISLA | MUNICIPIO | TIPO DE ZONA | Total eNBs |
|---|---|---|---|
| MARGARITA | Mariño | Urbana | 19 |
| MARGARITA | Maneiro | Urbana | 13 |
| MARGARITA | Arismendi | Urbana | 8 |
| MARGARITA | Antolin del Campo | Sub-urbana | 9 |
| MARGARITA | Garcia | Urbana | 11 |
| MARGARITA | Diaz | Sub-urbana | 28 |
| MARGARITA | Marcano | Urbana | 14 |
| MARGARITA | Gomez | Sub-urbana | 13 |
| MARGARITA | Tubores | Rural | 10 |
| MARGARITA | Peninsula de Macanao | Rural | 9 |
| CUBAGUA | Tubores | Rural | 2 |
| COCHE | Villalba | Rural | 9 |
| LA BLANQUILLA | | Turistica | 1 |
| LA TORTUGA | | Turistica | 1 |
| **TOTAL** | **eNBs** | **147** | |

.

### 5.2.3. Ubicación de los eNB, S-GW, P-GW, HSS Y PCRF

En este esquema de planificación los nodos S-GW, P-GW, HSS, PCRF y MME están contenidos en las estaciones móviles a determinar en cantidad y ubicación más adelante. Estas estaciones móviles proveerán de servicios a una cantidad determinada de eNBs.

Seguidamente se presenta la arquitectura del núcleo de paquetes evolucionado (EPC) (*Thecorenetwork)* con el fin de contextualizar la idea de la cantidad de nodos requeridos en este proyecto:

La arquitectura de núcleo de paquetes evolucionado (EPC) que será ilustrada a continuación. Hay unos componentes que no serán mostrados en el

diagrama para su sencilla ilustración. Como por ejemplo: el Equipo de Registro de Identidad (EIR) y Control de Políticas y Tarificación Función de Reglas (PCRF). Cabe destacar que este último componente (PCRF) estará contemplado en las estaciones móviles que servirán de enlaces con las eNb. Ver figura. Esquema EPC:

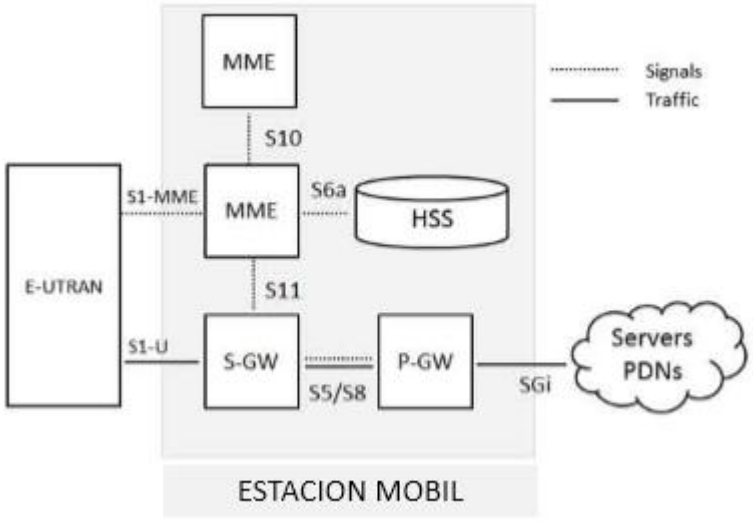



Figura 58. Esquema EPC (Estación móvil)
Fuente: Calle (2014)

En seguida se muestra una breve descripción de cada uno de los componentes mostrados en la arquitectura anterior la cual se encuentra ampliada en secciones anteriores:

- **El Servidor de Abonado (HSS)**: Componente ha sido arrastrado del UMTS y GSM y es una base de datos central que contiene información acerca de todos los abonados del operador de red.
- **El paquete de red de datos (PDN) de puerta de enlace (P-GW)**: Se comunica con el mundo exterior, es decir. redes de datos por paquetes PDN, utilizando la interfaz SGI. Cada red de datos de paquete se identifica por un nombre de punto de acceso (APN). La pasarela PDN

tiene el mismo papel que el nodo de soporte GPRS (GGSN) y el nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN) con UMTS y GSM.

- **La pasarela de servicio (S-GW)**: Actúa como un router, y los datos hacia delante entre la estación base y la pasarela PDN.
- **La entidad de gestión de movilidad (MME)**: Controla el funcionamiento de alto nivel del móvil por medio de mensajes y Servidor de Abonado de señalización (HSS).
- **El Control de Políticas y Normas de la función de carga (PCRF)**: Es un componente que no se muestra en el diagrama anterior, pero es responsable del control de la política de toma de decisiones, así como para el control de las funcionalidades de carga basados en el flujo de la función de control de aplicación de políticas (PCEF), que reside en la P-GW.
- **La interfaz entre el Gateway PDN**: Se conoce como S5 / S8. Esto tiene dos implementaciones ligeramente diferentes, a saber, S5 si los dos dispositivos están en la misma red, y S8 si están en redes diferentes.

Se `presenta a continuación el cuadro de las ubicaciones de las centrales móviles con su eNB de referencia, total de eNBs que controlan, las cuales integran los nodos P/S-GW, HSS y PCRF. Ver siguiente cuadro:

Tabla 34. Cantidad de centrales móviles, eNB, S-GW, P-GW, HSS y PCRF. Elaboración propia.

| | | | DATOS DE UBICACIÒN CENTRAL MOVIL | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | TIPO DE ZONA | Nombre | eNB Referencia | Ubicaciòn | | Total eNBs |
| | | | | | Latitud | Longitud | |
| MARGARITA | Mariño | Urbana | CT-MARIÑO | MA-009-BA | 10º57'53.00"N | 063º51'11.67"W | 19 |
| MARGARITA | Maneiro | Urbana | CT-MANEIRO | MRO-026-BB | 11º00'03.97"N | 063º48'45.52"W | 13 |
| MARGARITA | Arismendi | Urbana | CT-ARISMENDI | ADI-034-BA | 11º01'22.07"N | 063º50'36.11"W | 8 |
| MARGARITA | Antolin del Campo | Sub-urbana | CT-ANTOLIN | ADC-047-BA | 11º08'13.10"N | 063º51'57.06"W | 9 |
| MARGARITA | Garcia | Urbana | CT-GARCIA | VES-056-BA | 10º56'52.41"N | 063º55'33.36"W | 11 |
| MARGARITA | Diaz | Sub-urbana | CT-DIAZ-I | DAZ-064-BA | 10º56'44.22"N | 063º57'48.23"W | 6 |
| | | | CT-DIAZ-II | DAZ-083-BA | 11º01'01.74"N | 063º57'39.43"W | 8 |
| | | | CT-DIAZ-III | DAZ-072-BC | 10º58'16.44"N | 063º59'24.33"W | 14 |
| MARGARITA | Marcano | Urbana | CT-MARCANO | MNO-092-BB | 11º04'14.47"N | 063º58'04.15"W | 14 |
| MARGARITA | Gomez | Sub-urbana | CT-GOMEZ | GMZ-110-BC | 11º05'23.30"N | 063º56'38.59"W | 13 |
| MARGARITA | Tubores | Rural | CT-TUBORES | TBR-121-BC | 10º54'00.46"N | 064º05'31.85"W | 10 |
| CUBAGUA | Tubores | Rural | | | | | 2 |
| COCHE | Villalba | Rural | CT-VILLALBA | VBA-131-BB | 10º46'52.79"N | 063º59'50.28"W | 9 |
| MARGARITA | Peninsula de Macanao | Rural | CT-MACANAO-I | PMO-137-BB | 10º57'49.44"N | 064º10'52.60"W | 4 |
| MARGARITA | Peninsula de Macanao | Rural | CT-MACANAO-II | PMO-141-BC | 11º00'26.79"N | 064º22'38.28"W | 5 |
| LA BLANQUILLA | | Turistica | | | | | 1 |
| LA TORTUGA | | Turistica | | | | | 1 |
| **TOTAL** | | | **14** | | | | **147** |

| | | | TOTAL | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CADA CENTRAL MOVIL INTEGRA:** | **1** | P-GW | **CENTRALES MOVILES** | **14** | P-GW | 14 |
| | | S-GW | | | S-GW | 14 |
| | | HSS | | | HSS | 14 |
| | | PCRF | | | PCRF | 14 |
| | | MME | | | MME | 14 |

Seguidamente se presenta la ubicación de las centrales móviles en el simulador de acuerdo a las coordenadas presentadas en tabla anterior:

Figura 59. Ubicación de centrales móviles en simulador
Fuente: Xirio Online (2017)

## 5.3. Diseño de enlaces entre todas las islas que garanticen un eficiente *handover* y conectividad total

Para la planificación de los enlaces de cada una de las islas se realizaron los estudios respectivos para cada uno de los radio enlaces para las islas: La Blanquilla, La Tortuga, Coche y Cubagua con la Isla de Margarita

Solución inalámbrica (Radio enlaces):

En seguida se presenta la ubicación y longitud de los radio enlaces propuestos a través del siguiente cuadro:

Tabla 35. Ubicación de radio-enlaces. Elaboración propia.

| UBICACIÒN DE ANTENAS DE RADIO ENLACES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NOMBRE ENLACE | TIPO | COORDENADAS | | | | | | | | LONG. ENLACE (Km) |
| | | ANTENA (Transmisor) | | | | ANTENA (Receptor) | | | | |
| | | ISLA | Estaciòn | Latitud | Longitud | ISLA | Estaciòn | Latitud | Longitud | |
| (1) ENLACE CUBAGUA-MARGARITA CENTRAL MOVIL TBR-121-BC (CT) | A | CUBAGUA | TBR-126-BB | 10º49'27.94"N | 064º09'52.03"W | MARGARITA | Receptor I TBR-121-BC (CT) | 10º54'00.46"N | 064º05'31.85"W | 11,51 |
| (2) Enlace Repetidor TBR-127-BC a Torre Enlace 1 Cubagua | B | | Transmisor TBR-127-BC (Cubagua) | 10º48'10.87"N | 064º12'48.03"W | CUBAGUA | Receptor Torre 1 (Cubagua) | 10º49'15.56"N | 064º11'40.11"W | 2,865 |
| (3) ENLACE REPETIDOR CUBAGUA-MARGARITA CENTRAL MOVIL TBR-121-BC (CT) | B | | Transmisor Torre 1 (Cubagua) | 10º49'15.56"N | 064º11'40.11"W | MARGARITA | Receptor II TBR-121-BC (CT) | 10º54'00.46"N | 064º05'31.85"W | 14,2 |
| (4) ENLACE CT MOVIL COCHE- CT MOVIL MARGARITA TBR-121-BC (CT) | C | COCHE | Transmisor VBA-131-BB (CT) COCHE | 10º46'52.79"N | 063º59'50.28"W | MARGARITA | Receptor III TBR-121-BC (CT) | 10º54'00.46"N | 064º05'31.85"W | 16,74 |
| (5) ENLACE LA TORTUGA-MARGARITA (PENINSULA DE MACANAO) | B | LA TORTUGA | Transmisor LTO-114-BC | 10º59'47.30"N | 065º22'33.86"W | MARGARITA | Receptor I PMO-141-BC (CT-II) | 11º00'37.64"N | 064º22'15.54"W | 109,16 |
| 4-ENLACE LA BLANQUILLA-MARGARITA (PENINSULA DE MACANAO) | C | LA BLANQUILLA | Transmisor LBA-143-BB | 11º49'22.11"N | 064º35'31.65"W | MARGARITA | Receptor II PMO-141-BC (CT-II) | 11º00'37.64"N | 064º22'15.54"W | 93,19 |

| TIPO DE ENLACE | CATEGORIA | SUBCATEGORIA | ANCHO DE BANDA | OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|
| A | BANDA ANCHA INALAMBRICA | WIMAX FIJO 5,6 GHz | 10 MHz | Enlaces bidireccionales (basado en técnicas de polarización vertical-horizontal) |
| B | | WIMAX FIJO 3,5 GHz | 10 MHz | |
| C | | WIMAX FIJO 5,8 GHz | 10 MHz | |

Para la obtención de dichos datos se hizo uso de la herramienta de estudios de cobertura Xirio Online. Se Presenta seguidamente un ejemplo ilustrativo usado en la configuración del radio enlace Isla Cubagua-Margarita:

**Radio enlace (1) Enlace Cubagua-Margarita TBR-126-BB**:

Este enlace tiene como objetivo conectar la estación base (TBR-126-BB) de la isla de Cubagua con la central móvil TBR-121-BC (CT) de la isla de margarita Municipio Tubores.

Paso 1. Creación del estudio (Radio-Enlace) **Enlace Cubagua-Margarita TBR-126-BB**:

En este paso se seleccionó enlace como categoría de estudio, se categorizo como servicio banda ancha inalámbrica, en la sub-categoría de WIMAX fijo de 5.6 GHz, con un ancho de banda de 10 MHz. Ver siguiente figura:

Figura 60. Creación de estudio enlace punto a punto
Fuente: Xirio Online (2017)

Paso 2. Propiedades del estudio Radio-Enlace:

A continuación, se le dio nombre al estudio y se describió una pequeña descripción del mismo, y se procede a seleccionar el extremo 1 para su configuración. Ver la siguiente figura:

Figura 61. Propiedades del estudio de Enlace
Fuente: Xirio Online (2017)

Paso 3. Determinación de las propiedades del extremo 1:

En este paso se procedió a escoger el nombre “Transmisor Cubagua-TBR-126-BB” y se incluyeron las coordenadas dejándolos valores por defecto igual como la altura de la antena entre otros datos

Figura 62. Propiedades del transmisor del enlace punto a punto
Fuente: Xirio Online (2017)

Paso 4. Determinación de las propiedades del extremo 2:

Seguidamente se procedió a escoger el nombre “Receptor (1) Margarita TBR-121-BC (CT)” correspondiente a la central móvil del municipio Tubores isla de Margarita, e igualmente al caso anterior se incluyeron las coordenadas dejándolos valores por defecto igual.

Figura 63. Propiedades del receptor enlace punto a punto
Xirio Online (2017)

Paso 5. Visualización de las propiedades del estudio: A continuación, se procedió a visualizar como quedo la configuración de los dos (2) extremos y parámetros de cálculo para la presentación del estudio:

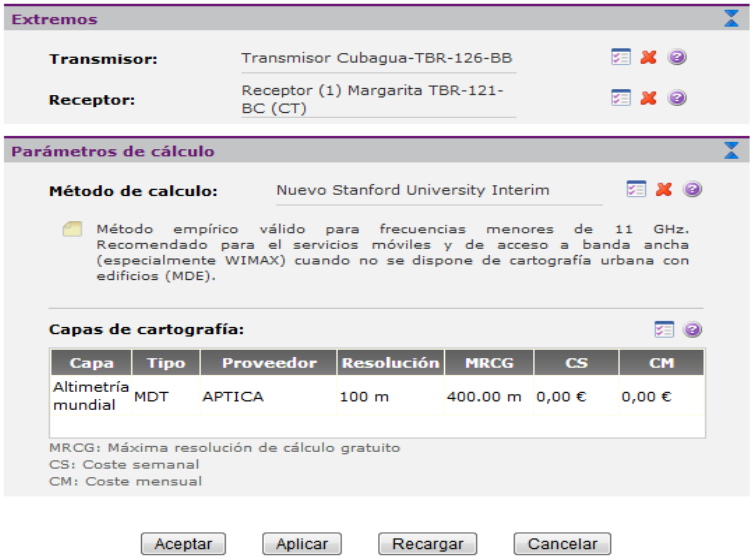



Figura 64. Parámetros de cálculo
Fuente: Xirio Online (2017)

Paso 6. Cálculo de estudio para presentación de viabilidad del enlace:

Figura 65. Cálculo del estudio de radio enlace
Fuente: Xirio Online (2017)

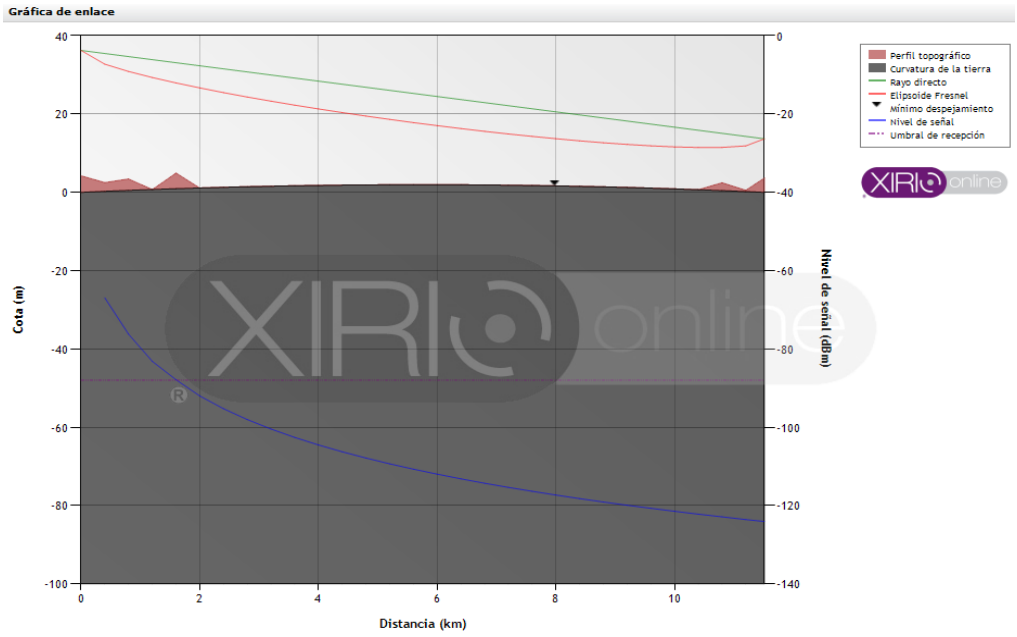



Figura 66. Grafica del enlace punto a punto
Fuente: Xirio Online (2017)

Paso 6. Presentación del radio enlace punto a punto **Enlace Cubagua-Margarita TBR-126-BB** en el simulador **Xirio-Online:**

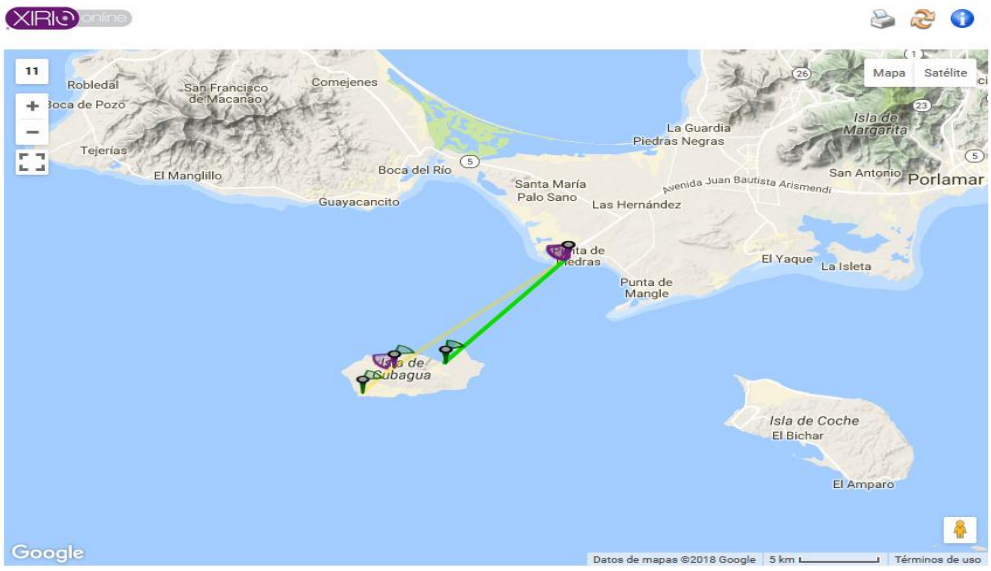



Figura 67. Vista en Xirio Online de radio enlace Cubagua-Margarita TBR-121-BC (CT)
Fuente: Xirio Online (2017)

Se presenta simulación de enlaces punto a punto islas Coche y Cubagua con la isla de Margarita central móvil municipio Tubores TBR-121-BC (CT):

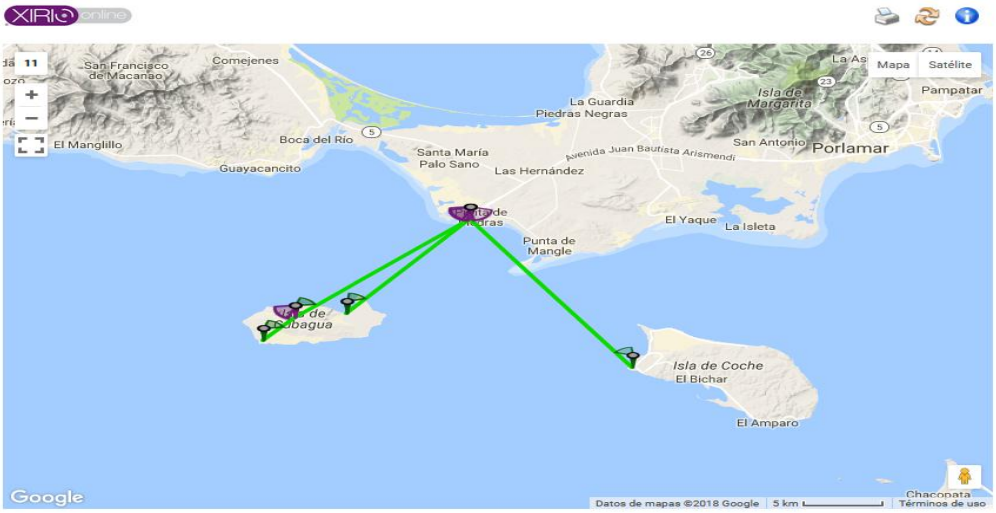



Figura 68. Radio enlace islas de Coche y Cubagua con central móvil Margarita
Xirio Online (2017)

Seguidamente se presenta simulación de enlaces punto a punto isla la Tortuga y La Blanquilla con la isla de Margarita central móvil municipio Península de Macanao PMO-141-BC (CT):

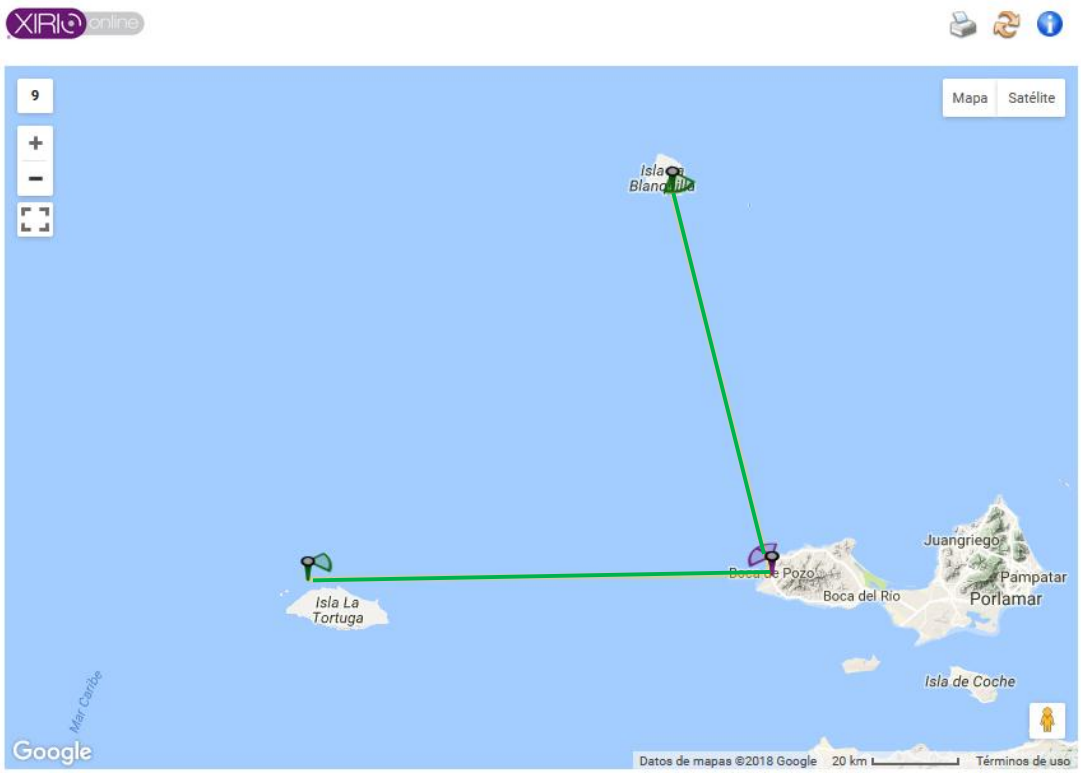



Figura 69. Simulación de radio enlaces islas La Tortuga y La Blanquilla con isla de Margarita
Fuente: Xirio Online (2017)

### 5.3.1. Diseño de los *Backhauls*

En esta sección se planteó la interconexión de las centrales móviles para un eficiente *Backhauls* que garanticen la interconexión total del diseño.

La solución propuesta está basada en la tecnología de fibra óptica DWDM o multiplexaciòn densa por longitud de onda, capaz de acoplar 300 canales y alcanzar velocidades de transmisión entre 10 y 40 Gbps. Es importante destacar como justificación de nuestra elección que cada canal DWDM hace posible una comunicación full dúplex con tan solo una fibra y 2 canales y está

compuesto por: transmisores ópticos láseres, multiplexores, demultiplexores, amplificadores y receptores ópticos.

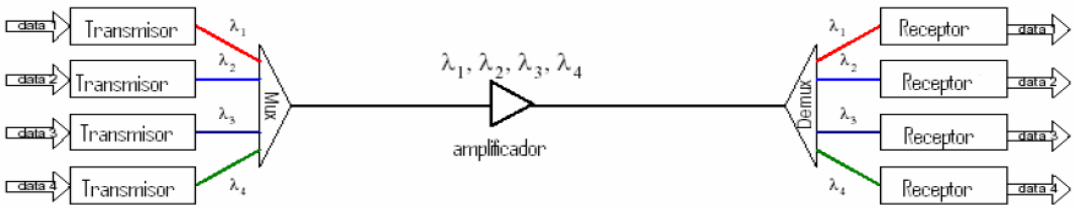



Figura 70. Componentes de un sistema DWDM
Fuente: Capmany (2009)

La flexibilidad y capacidad de DWDM hace de esta tecnología una alternativa ideal para satisfacer las necesidades de crecimiento de la red hacia una nueva generación de servicios.

La red de fibra óptica estará constituida bajo una topología de conexión entre las celdas que la conforman en anillo, ya que esta estructura representa la mejor relación costos – beneficios, al garantizar el funcionamiento de la red y la restauración de tráfico por costos menores al de estructuras como el mallado.

El esquema de protección que se implementará es el SNCP (protección de conexión de subred) de bajo orden, no intrusivo, debido a que los costos asociados a su implementación son bajos en comparación con otros esquemas, es de fácil aplicación y es flexible.

Partiendo de la topología seleccionada, la red estará formada por un anillo principal (centrales móviles) y varios anillos secundarios que agrupan las celdas (eNbs) a interconectar, configurados según los siguientes parámetros:

- Ubicación de las celdas, por lo que formarán anillos aquellas estaciones cuya distancia entre sí sea menor.

- Capacidad de tráfico de las celdas, según la cual se determinará el número de estaciones que conforman el anillo, de forma que éste posea no sólo capacidad de manejo del tráfico actual sino también de futuras expansiones y requerimientos de la red. Cabe destacar que este parámetro pudiese en algunos casos invalidar el de la ubicación.

En función de la información que manejan los anillos, estos serán jerarquizados en STM-1, STM-4 o STM-16.

### *Diseño de la red de fibra óptica*

### Isla de Margarita:

Se muestra a continuación el diseño propuesto de fibra óptica para el diseño mostrada en la siguiente gráfica:

Tabla 36. Celdas que conforman los anillos Red *Backhauls* por centrales móviles. Elaboración propia.

| | | | DATOS DE UBICACIÒN CENTRAL MOVIL | | | | | FIBRA OPTICA (RED Backhauls) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | TIPO DE ZONA | Nombre | eNB Referencia | Ubicaciòn | | Total eNBs | ANILLO Orden Jerarquico SDH |
| | | | | | Latitud | Longitud | | |
| MARGARITA | Mariño | Urbana | CT-MARIÑO | MA-009-BA | 10º57'53.00"N | 063º51'11.67"W | 19 | STM-16 |
| MARGARITA | Maneiro | Urbana | CT-MANEIRO | MRO-026-BB | 11º00'03.97"N | 063º48'45.52"W | 13 | STM-16 |
| MARGARITA | Arismendi | Urbana | CT-ARISMENDI | ADI-034-BA | 11º01'22.07"N | 063º50'36.11"W | 8 | STM-16 |
| MARGARITA | Antolin del Campo | Sub-urbana | CT-ANTOLIN | ADC-047-BA | 11º08'13.10"N | 063º51'57.06"W | 9 | STM-4 |
| MARGARITA | Garcia | Urbana | CT-GARCIA | VES-056-BA | 10º56'52.41"N | 063º55'33.36"W | 11 | STM-16 |
| MARGARITA | Diaz | Sub-urbana | CT-DIAZ-I | DAZ-064-BA | 10º56'44.22"N | 063º57'48.23"W | 6 | STM-4 |
| | | | CT-DIAZ-II | DAZ-083-BA | 11º01'01.74"N | 063º57'39.43"W | 8 | STM-4 |
| | | | CT-DIAZ-III | DAZ-072-BC | 10º58'16.44"N | 063º59'24.33"W | 14 | STM-4 |
| MARGARITA | Marcano | Urbana | CT-MARCANO | MNO-092-BB | 11º04'14.47"N | 063º58'04.15"W | 14 | STM-16 |
| MARGARITA | Gomez | Sub-urbana | CT-GOMEZ | GMZ-110-BC | 11º05'23.30"N | 063º56'38.59"W | 13 | STM-4 |
| MARGARITA | Tubores | Rural | CT-TUBORES | TBR-121-BC | 10º54'00.46"N | 064º05'31.85"W | 10 | STM-4 |
| CUBAGUA | Tubores | Rural | | | | | 2 | STM-1 |
| COCHE | Villalba | Rural | CT-VILLALBA | VBA-131-BB | 10º46'52.79"N | 063º59'50.28"W | 9 | STM-4 |
| MARGARITA | Peninsula de Macanao | Rural | CT-MACANAO-I | PMO-137-BB | 10º57'49.44"N | 064º10'52.60"W | 4 | STM-4 |
| MARGARITA | Peninsula de Macanao | Rural | CT-MACANAO-II | PMO-141-BC | 11º00'26.79"N | 064º22'38.28"W | 5 | STM-4 |
| LA BLANQUILLA | | Turistica | | | | | 1 | |
| LA TORTUGA | | Turistica | | | | | 1 | |
| **TOTAL** | | | **14** | | | | **147** | |

A manera de ejemplificación se muestra seguidamente la representación de la red de fibra óptica para la isla de Margarita el cual contempla la red troncal (enlace entre las centrales móviles) y la red *Backhauls* (enlaces entre las eNBs y centrales móviles) que, en conjunto con los enlaces inalámbricos entre todas las islas, descrito en secciones anteriores garanticen la interconexión total del diseño propuesto:

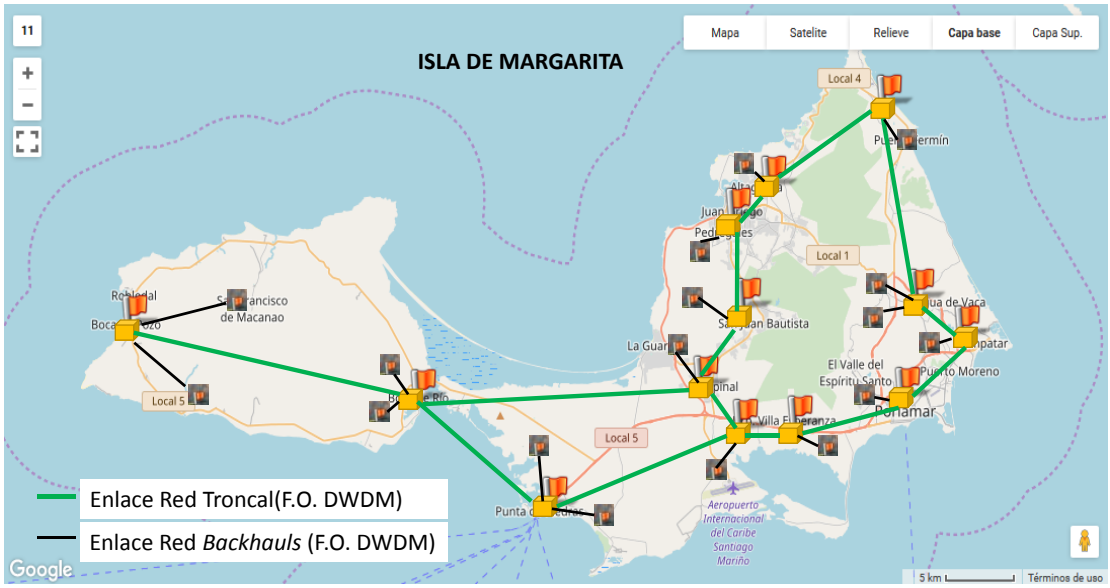



Figura 71. Representación de red de fibra óptica Isla de Margarita
Fuente: Xirio Online (2017)

Es importante destacar que las especificaciones de las eNBs asociadas a cada una de las centrales móviles se encuentran detalladas en el anexo I.

## 5.4. Evaluación del diseño a través del simulador de radio enlace Xirio Online

En esta sección se creó el estudio simplificado de la solución a través del software de simulación Xirio Online en su versión gratuita.

### 5.4.1. Creación del Estudio

Antes de presentar la simulación es importante aclarar que un estudio es la unidad básica de trabajo de Xirio-Online, formado por distintos elementos radioeléctricos, siendo la unidad mínima sobre la cual se puede realizar un cálculo. El estudio que se realizo es de tipo Cobertura Multi-transmisor, que es un estudio basado en la combinación de varios estudios de cobertura en el que el resultado es una mancha de colores que representa en cada punto la mejor señal entre las señales de las coberturas individuales, además de resultados de mejor servidor y solapamiento.

En los estudios de Cobertura individuales que se van a combinar, intervienen un transmisor y un receptor. El receptor, en este caso, no tiene una situación geográfica fija, este receptor se va desplazando por toda el área de cálculo seleccionada. El resultado final de cada estudio de cobertura es una mancha de colores en degradación de rojo a naranja que representa la cobertura radioeléctrica del transmisor, indicando las zonas en las que el nivel de señal en el receptor se encuentra por encima de su umbral de recepción.

Una vez decidido el tipo de cobertura, se comenzó con su creación en Xirio-Online. Se crearon varios estudios de cobertura para, posteriormente, combinarlos en un estudio de cobertura multitransmisor. Se eligen las opciones: Servicio Móvil y un servicio de LTE-A-FDD con frecuencia de canalización de 10 MHz para cada eNB, un caso muy comúnmente utilizado por las operadoras y atendiendo a las premisas iniciales mencionadas anteriormente. A continuación, se muestra los detalles de las ubicaciones de las estaciones base a ser utilizadas en la ejemplificación:

Tabla 37. Ubicación de eNBs Clúster MA-C1. Elaboración propia.

| UBICACIÒN DE eNBs CLUSTER MA-C1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **MUNICIPIO** | **CUIDAD** | **COD OPERACIÒN CELDA** | **CORRDENADAS DE UBICACIÓN** | **COD REF CLUSTER** | **COD REF eNBs** | **Ch/Bloque de operaciòn de frecuencia** |
| MARIÑO | PORLAMAR | 10QAM64-UR | Lat: 10º58'42.37"N Long: 063º49'34.72"W | MA-C1 | MA-001-BA | BA |
| | | | Lat: 10º58'08.78"N Long: 063º49'35.99"W | | MA-002-BB | BB |
| | | | Lat: 10º58'28.79"N Long: 063º50'06.66"W | | MA-003-BC | BC |

Seguidamente se muestran los puntos de referencias para la instalación de las respectivas eNBs en el simulador de acuerdo a las coordenadas detalladas en el cuadro anterior:

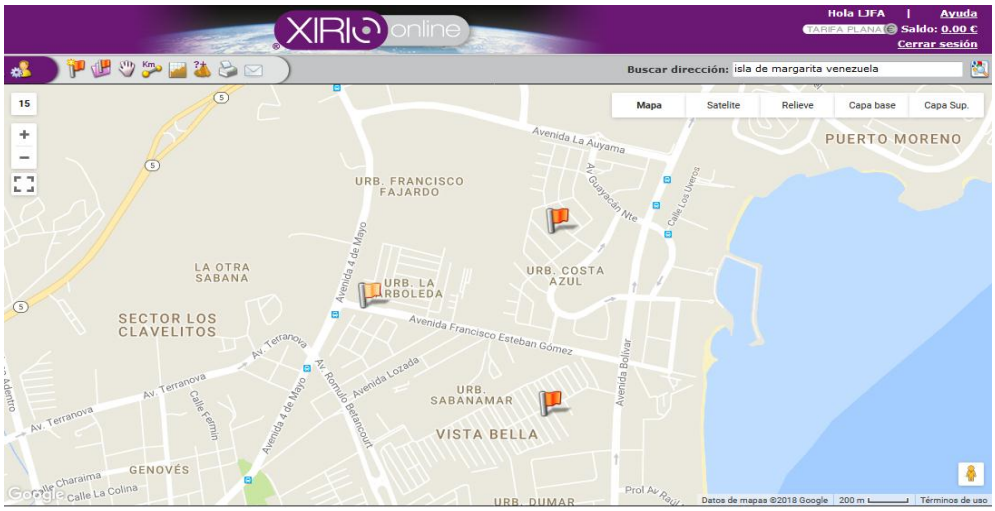



Figura 72. Visualización de puntos de referencias para instalación de eNBs Cluster MA-C1
Fuente: Xirio Online (2017)

A continuación, se muestra la figura para crear un nuevo estudio en Xirio Online, en el cual se seleccionó para este estudio de cobertura la categoría móvil, subcategoría LTE-A – FDD y servicio LTE-A – FDD 10 MHz:

Figura 73. Crear Nuevo Estudio
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.1. Selección de Modo:*

Se seleccionó el modo asistente para ir introduciendo los parámetros correspondientes de manera intuitiva. Se le asignó un nombre a la cobertura y se especificó las características de los sectores que va a tener nuestro nodo, ver figura. Nombre y Descripción (XIRIO online):

Figura 74. Nombre y Descripción del Estudio
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.2. Nombre y Ubicación del Sector:*

Seguidamente se le dio un nombre al sector que tendrá la antena transmisora, además de definir su situación geográfica. Hay diversas formas de definir esta ubicación, en este caso con ayuda de Google Maps, por ejemplo, se puede obtener dichas coordenadas de forma precisa. Ver Figura:

Figura 75. Nombre y ubicación del sector
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.3. Sectorización del transmisor:*

Se procedió a elegir la opción de sectorizar el estudio, Las antenas en comunicaciones móviles obtienen un gran rendimiento dividiendo la cobertura de la antena en tres sectores de 120º cada uno, evitando así mejor las interferencias. En la figura siguiente se puede ver la opción de modificar los

parámetros de la antena transmisora. En este caso no se ha modificado ninguno de los valores por defecto que proporciona XIRIO porque son unos valores típicos para antenas en comunicaciones LTE-A, que perfectamente pueden ser utilizados en la simulación. Ver figura siguiente:

Figura 76. Sectorización del transmisor
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.4. Configuración de parámetros de radio:*

En esta sección se pueden personalizar algunos parámetros del sector. Se escogió polarización vertical, potencia de 32W (de forma provisional) y una altura de la antena de 30 metros sobre el nivel del terreno. En cuanto a la frecuencia de transmisión del sector (downlink) se escogió un valor dentro de la banda de 800 MHz, perteneciente a la banda UHF, que irá asociada a su correspondiente frecuencia de transmisión del terminal (uplink).

Se ha tomado la decisión de escoger como frecuencia central de transmisión del sector, 796 MHz, y como frecuencia central de transmisión del terminal, 837 MHz, pertenecientes a la banda 20. Dado que se ha subdividido la frecuencia original de 30 MHz, en 3 sub-bandas de operación de 10 MHz de acuerdo a la tabla 20 de la sección Reutilización de Frecuencias. Ver figura siguiente:

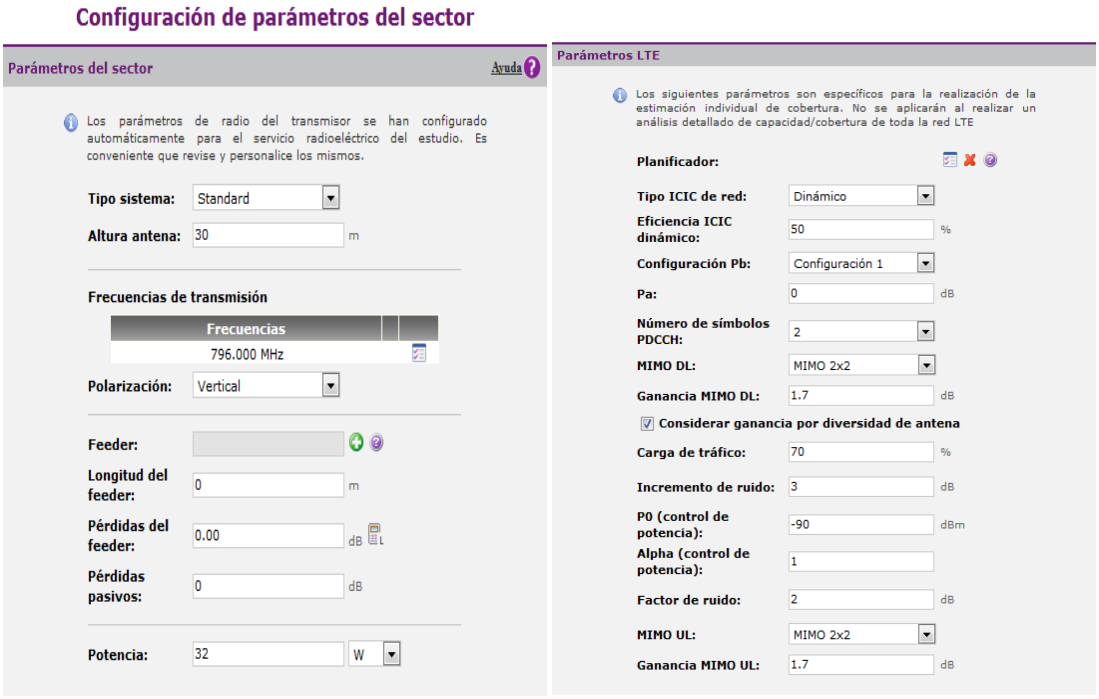



Figura 77. Configuración de parámetros del sector
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.5. Parámetros del Terminal:*

En el siguiente punto se pueden modificar los parámetros del terminal. Entre ellos es posible cambiar algunos parámetros de la antena copolar, como veremos a continuación, se eligieron los valores típicos. Lo más normal es tomar la altura de la antena a 1.5 metros del suelo, siendo ésta la altura “media” de un ser humano a la que podría encontrarse el terminal móvil (UE). La

frecuencia del terminal, como ya se mencionó, se corresponderá con la frecuencia central de 837 MHz. Ver siguiente figura:

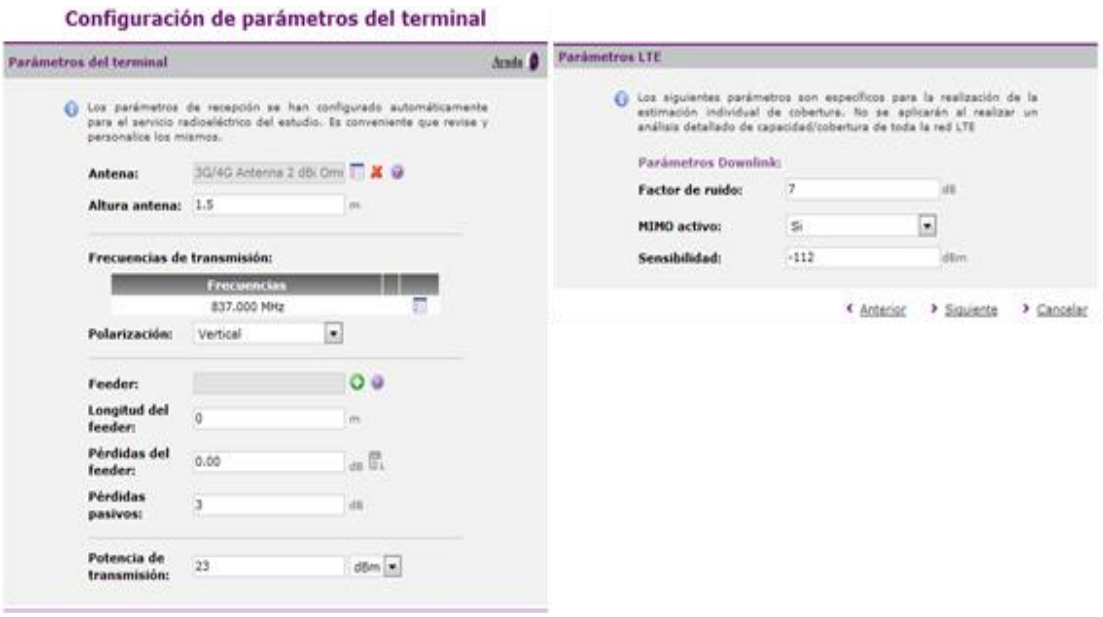



Figura 78. Configuración de parámetros del terminal
Fuente: Stallings (2004)

En la figura anterior se puede apreciar el parámetro RSRP *threshold*, que es el valor de la sensibilidad del teléfono móvil del usuario, por debajo de este umbral de cobertura el terminal móvil no funcionará correctamente. Este valor es utilizado por la señal Mejor Servidor para determinar si un sector determinado sobrepasa el nivel mínimo configurado para optar a ser el transmisor deseado. Este valor de referencia se define por el 3GPP en el "3GPP TR 36.942" con un valor aconsejable por encima de los -128 dBm, se mantuvo el valor por defecto de -112 dBm como se observa en la figura anterior.

### *5.2.2.6. Selección de la cartografía y método de cálculo:*

Xirio Online permite la opción de elegir el método de cálculo y la selección de cartografía. La cartografía viene dada por capas, en este caso, la única cartografía que podemos elegir es la Altimetría Mundial con una resolución de 100 metros; las capas de cartografía dependerán de la tarifa que se tiene contratada o del tipo de cuenta que se utilice en Xirio. En cuanto al método de cálculo, hay varios entre los que se pueden elegir, dependiendo de la zona en la que se va a modelar, los rangos de frecuencia que se van a utilizar en los terminales y el tipo de cartografía que se utilice (rural, suburbana o urbana).

Se tomó como método válido para esta simulación el método de Okumura-Hata, ya que es un "Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución", características que se ajustan a nuestras necesidades actuales. Ver siguiente figura:

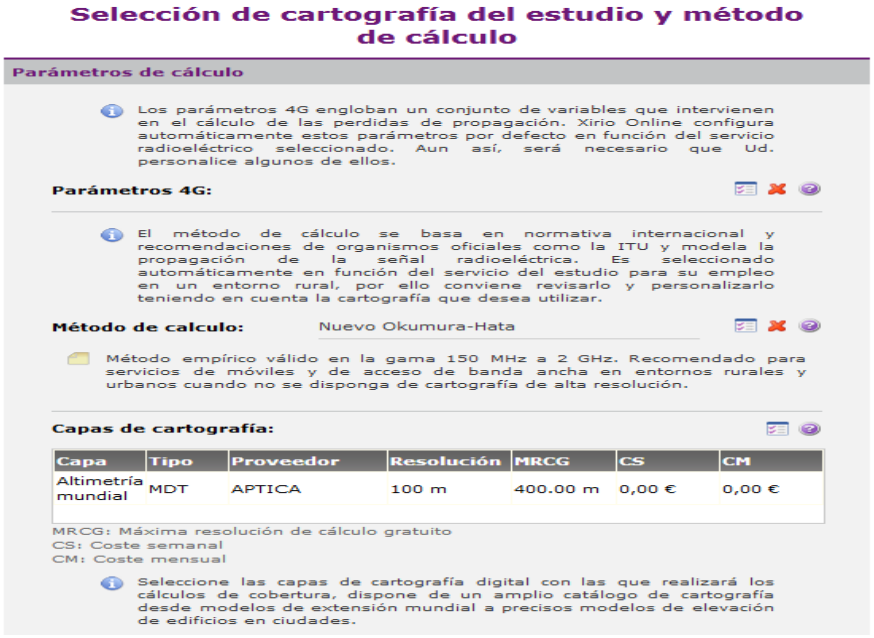



Figura 79. Selección de la cartografía y método de cálculo
Fuente: Xirio Online (2017)

### *5.2.2.7. Área de Cálculo:*

A continuación se definió el área de cobertura en el que se va a realizar el cálculo de cobertura. Estos valores no tienen por qué ser exactos, ya que cuando se acabe de crear la cobertura individual, se podrá elegir de forma manual el área exacta en el que interesa realizar los cálculos y así poder ver en el mapa exactamente el área que se quiere simular el cálculo de cobertura. Ver figura siguiente:

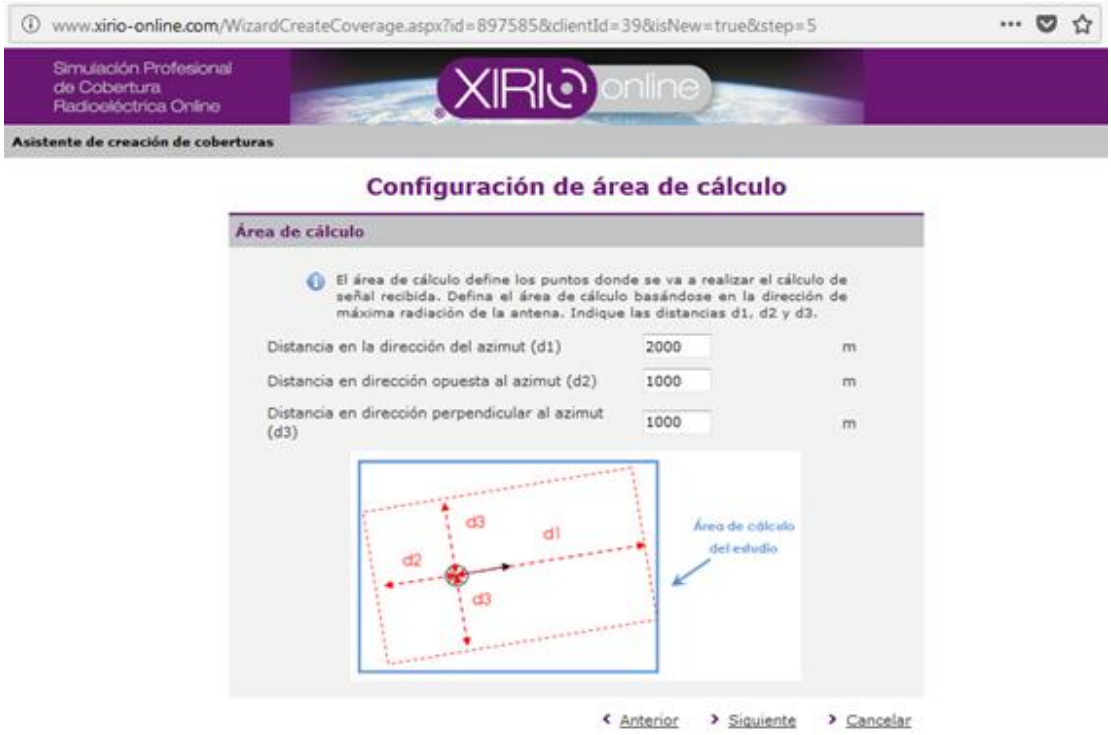



Figura 80. Configuración del área de cálculo
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.8. Rango de Resultados por Colores:*

Con esta opción se permite establecer diferentes rangos de nivel de señal recibida. A cada intervalo se le asigna un color para la posterior visualización de los resultados. Para hacerlo más intuitivo, inicialmente se creó una plantilla

con un rango de 3 colores de degradación del rojo para evaluar los resultados obtenidos. Ver siguiente figura:

Figura 81. Configuración de los rangos de la señal
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.9. Finalización de la creación de las coberturas individuales*

En este punto el modo asistente de XIRIO finaliza su trabajo y crea automáticamente los tres sectores en los que hemos decidido dividir nuestra antena transmisora:

Figura 82. Configuración de generación de coberturas
Fuente: Online, Xirio (2017)

### *5.2.2.10. Presentación del estudio de cobertura individual*

A continuación, se procede realizar el estudio de cobertura individual para la eNB escogida (MA-001-BA) a manera de ejemplificación:

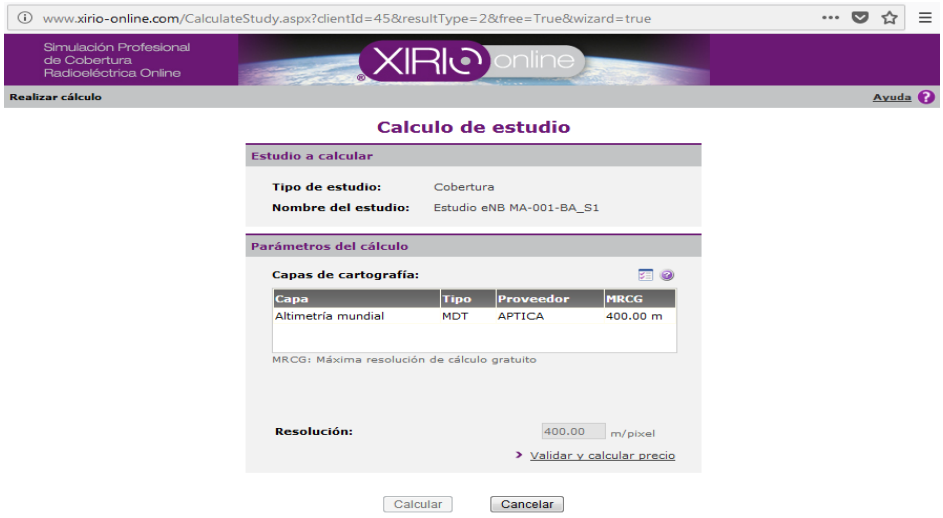



Figura 83. Cálculo de estudio
Fuente: Xirio Online (2017)

Seguidamente se presenta el resultado del estudio para la eNB-001:

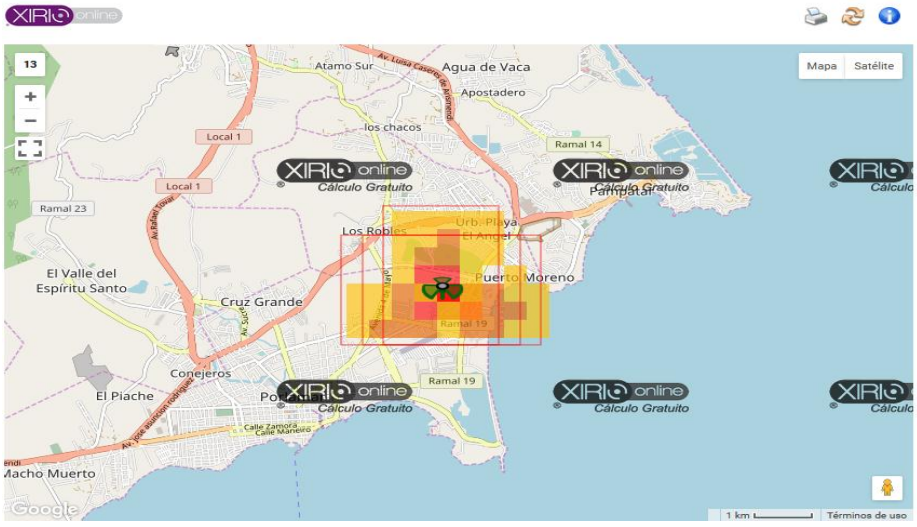



Figura 84. Estudio de cobertura MA-001-BA
Fuente: Xirio Online (2017)

A continuación, se seleccionó un punto al azar dentro del rango de cobertura del sector de la eNB a manera de corroborar en nivel de recepción de un terminal en el área:

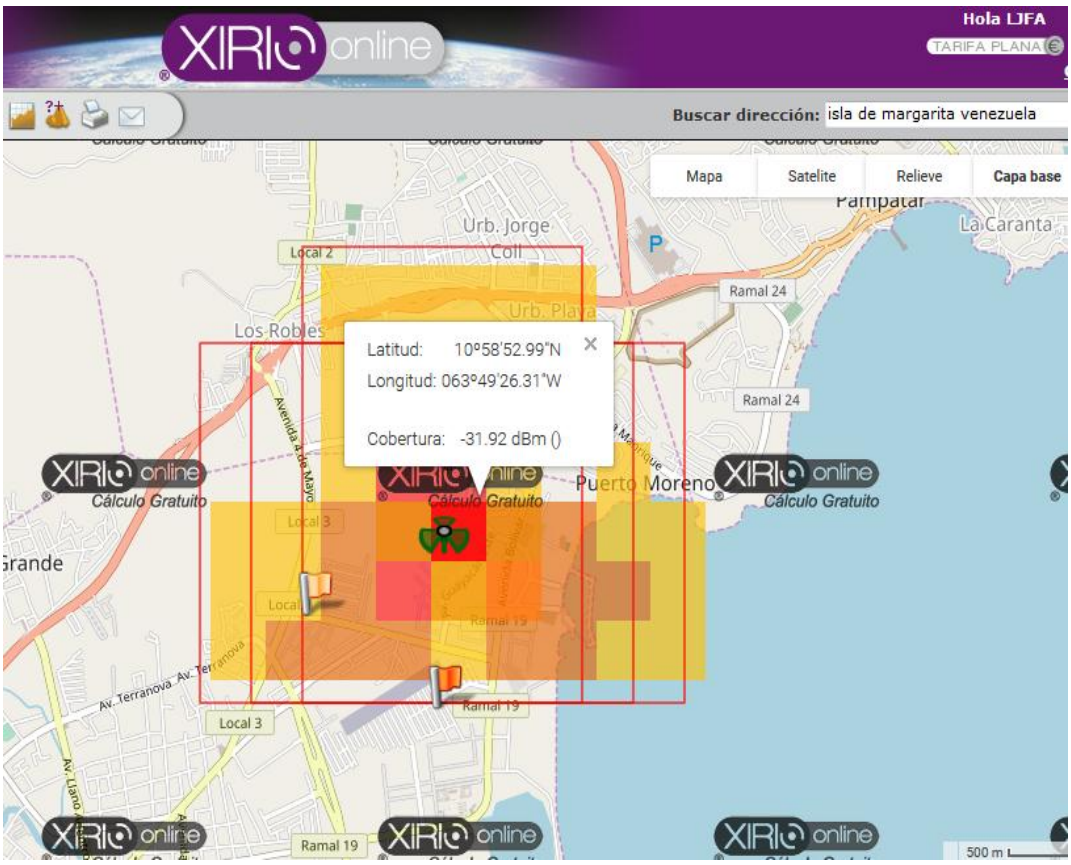



Figura 85. Generación de Cobertura
Fuente: Online, Xirio (2017)

Seguidamente se crearon todas las coberturas individuales que formaron los nodos de nuestra cobertura multi-transmisor. Según los estudios de interferencia y reutilización de frecuencias presentado en secciones anteriores y de acuerdo a la ubicación geo-referencial de las eNBs por municipio y sector del anexo I.

Como es lógico, es muy difícil crear una estructura hexagonal exacta, pero se procedió en la medida de lo posible colocar las antenas de forma que se

parezca lo máximo posible a la forma ideal, al menos en una primera instancia. Para ello se crearon las coberturas individuales restantes, situándolas en zonas en las que sería viable instalar una antena representados por un punto de referencia.

En seguida se presentan las figuras de ubicación de puntos de referencia para cada isla, donde se puede apreciar el sitio de colocación de los transmisores o eNBs de acuerdo a los puntos de referencias contenidos y especificados en el anexo I:

- Isla de Margarita:

Figura 86. Puntos de referencia Isla de Margarita
Fuente: Xirio Online (2017)

- Isla de Cubagua y Coche

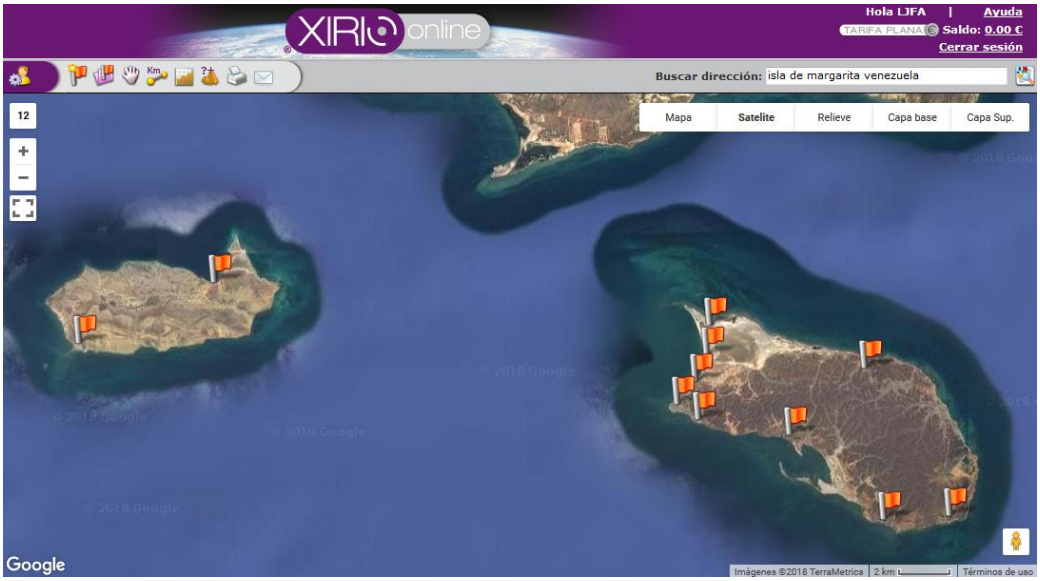



Figura 87. Puntos de referencia Islas de Coche y Cubagua
Fuente: Xirio Online (2017)

- Isla la Tortuga:

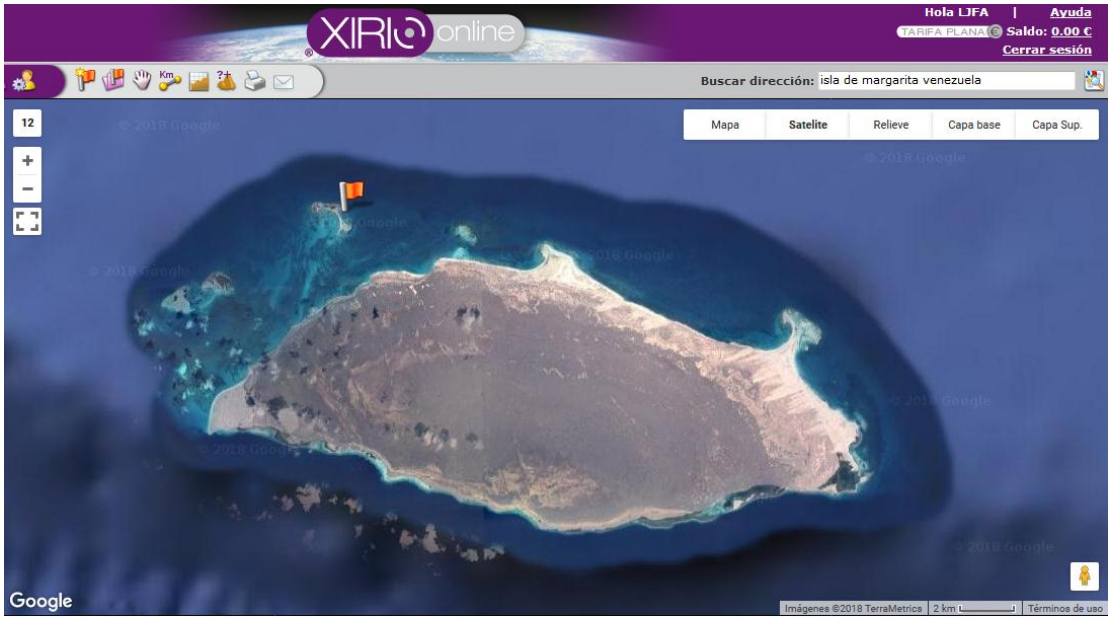



Figura 88. Puntos de referencia La Tortuga
Fuente: Xirio Online (2017)

- Isla la Blanquilla

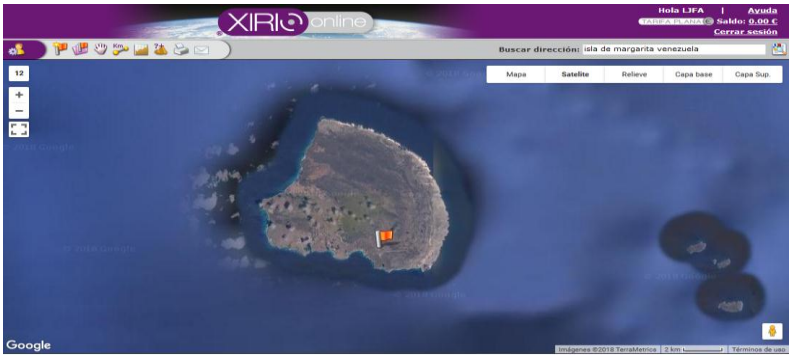



Figura 89. Punto de referencia Isla La Blanquilla
Fuente: Xirio Online (2017)

### *5.2.2.10. Presentación del estudio de cobertura multi-transmisor*

A continuación, se presenta los resultados gráficos del estudio de cobertura multi-transmisor a través de la herramienta Xirio Online en su versión gratuita:

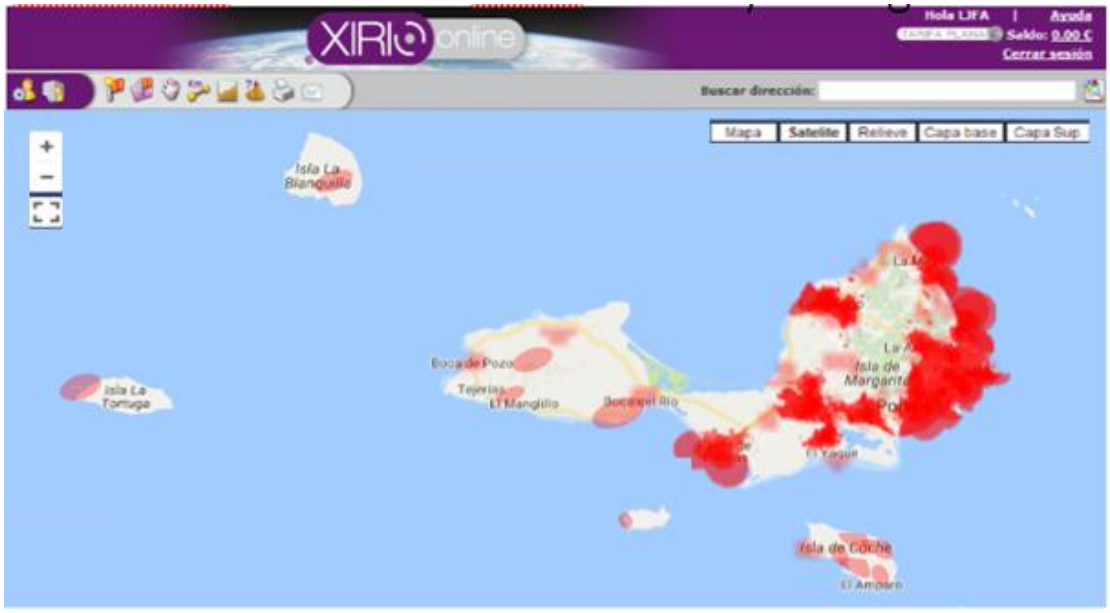



Figura 90. Resultados de estudio de cobertura multitransmisor del diseño
Fuente: Xirio Online (2017)

En dicho resultado grafico se puede apreciar una propagación uniforme de la señal móvil sobre los sectores contemplado en el diseño.

### 5.4.2. Optimización de interconexión del diseño de la red

Con el fin de optimizar el diseño de la red, se presenta seguidamente un estudio generalizado para la interconexión de la isla margarita con el continente a través de un enlace de fibra óptica a manera de garantizar una cobertura total.

***Enlace Margarita-Cumana a través de cable de fibra óptica submarino***

El diseño de un enlace Margarita-Cumana de cable submarino de fibra óptica basado en la instalación de un sistema óptico de transmisión, por medio de un cable de fibra óptica de 0.05 m de diámetro con capacidad de 12 pares de fibra óptica (24 hilos), que unirá a las estaciones de Margarita y la Ciudad de Cumana, presentado en la siguiente figura:

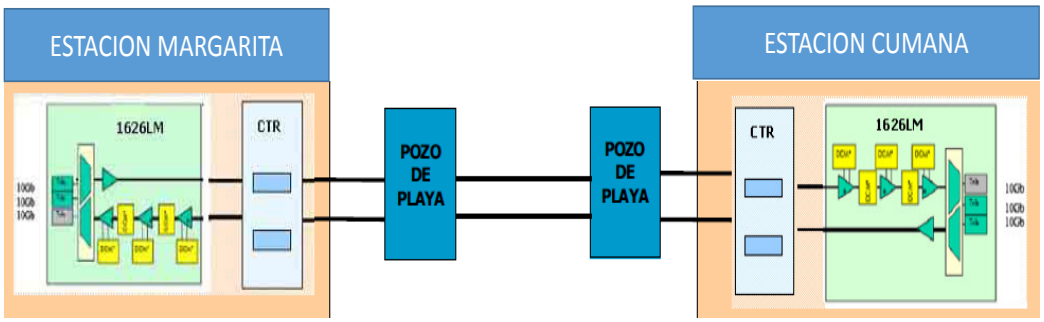



Figura 91. Esquema del Sistema Óptico de Transmisión principal estaciones de playa Margarita-Cumana
Fuente: Capmany (2009)

El proyecto incluye la instalación de un equipo terminal de línea WDM (1626 LTE) sobre un par de fibras en cada estación. Cada equipo terminal de línea incluirá dos tributarios de 10 Gbps a inicio de vida, mediante el uso de tarjetas concentradoras 4x2.5 Gbps llamadas TRBC1111.

La transmisión a 10 Gbps también requiere la adición de unidades de compensación de dispersión cromática para contrarrestar los efectos de la

dispersión cromática acumulada sobre la longitud de la línea de fibra óptica sumergida. Estas unidades de compensación de dispersión inducen pérdidas ópticas las cuales necesitan también ser compensadas con la adición de preamplificadores en cada lado de recepción.

La figura 91 (Esquema del Sistema Óptico de Transmisión principal estaciones de playa Margarita-Cumana). Muestra de manera esquemática los diferentes elementos que componen el enlace de cable submarino de fibra óptica enlace principal que unirá a la isla de Margarita con tierra firme, específicamente la ciudad de Cumana.

La capacidad del sistema a 10 Gbps, es equivalente a tener 241,920 llamadas telefónicas simultáneamente con una ocupación del 100 %, sin embargo, es pertinente señalar que esta capacidad se refiere únicamente a la capacidad inicial, lo que significa que la capacidad final del sistema puede llegar a niveles incalculables en el futuro.

Actualmente la ciudad de Cumana se conecta con la red de Telecomunicaciones de CANTV, lo cual proveería total cobertura de telecomunicaciones nacional e internacional para todas las islas contempladas en el proyecto.

Este enlace de fibra óptica a través de cable submarino, pretende establecer un mecanismo que permita asegurar la capacidad de comunicación de esta región con el resto del país.

**Selección del sitio:**

La ruta que comprende el enlace, se ubica en la zona marina y costera comprendida entre Margarita Sector Boca de Pozo Península de Macanao y Cumana, Sector Barrio La Trinidad. A continuación, se presentan imágenes del sitio de punta de playa y cuadro resumen con los datos y coordenadas de ubicación del enlace:

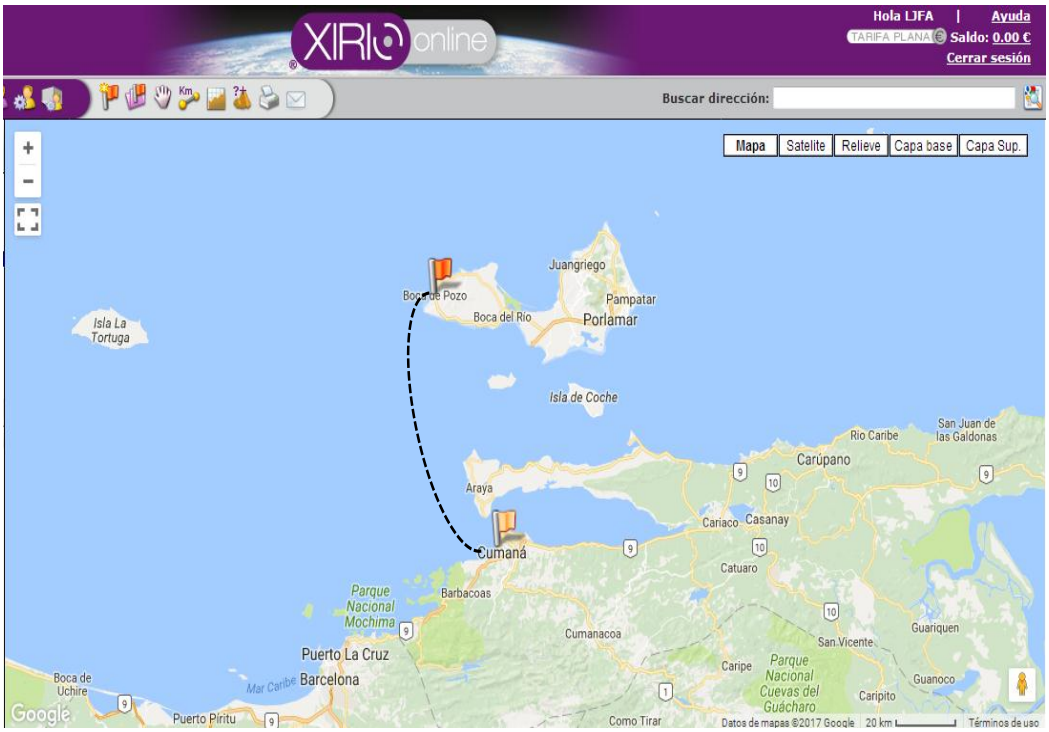



Figura 92. Ubicación Enlace Cable Submarino Margarita-Cumana
Fuente: Xirio Online (2017)

Cabe destacar que se estima una longitud total del Cable en 79 Km Aproximadamente. Se presenta seguidamente los datos de ubicación de las estaciones extremos del enlace:

Tabla 38. Datos Enlace Cable Submarino de Fibra Óptica: Margarita-Cumana. Elaboración propia.

| ENLACE CABLE SUBMARINO DE FIBRA OPTICA: MARGARITA-CUMANA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MARGARITA | | | DISTANCIA ENLACE | CUMANA | | |
| POZO DE PLAYA | LATUITUD | LONGITUD | | POZO DE PLAYA | LATUITUD | LONGITUD |
| **Sector Boca de Pozo** | 11º00'45.54"N | 064º22'48.97"W | 79 Km | **Sector Barrio La Trinidad** | 10º26'36.72"N | 064º11'41.87"W |
| | | | | | | |

Para una mejor ilustración de la ubicación de los pozos de playa se presentan a continuación las imágenes de los respectivos emplazamientos:

- Imágenes gráficas de ubicación del emplazamiento de Pozo de Playa Margarita sector Boca de Pozo.

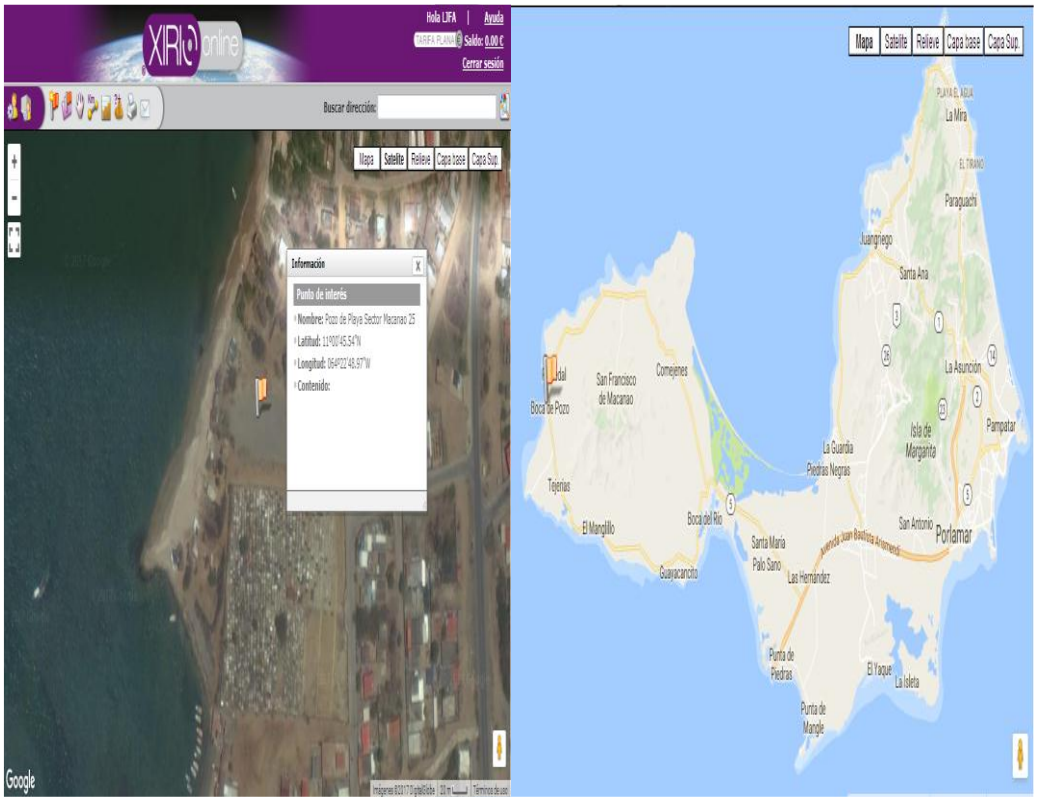



Figura 93. Ubicación del sitio de instalación Pozo de Playa Margarita
Fuente: Xirio Online (2017)

- Imágenes gráficas de ubicación del emplazamiento de Pozo de Playa Cumana sector Barrio la Trinidad:

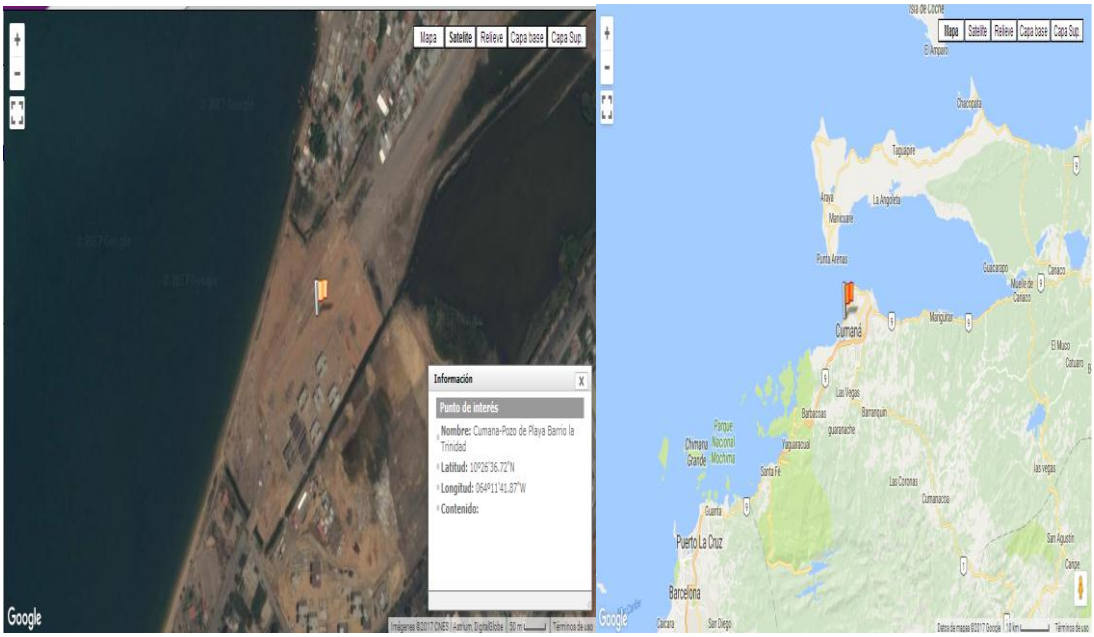



Figura 94. Ubicación del sitio de instalación Pozo de Playa Cumana
Fuente: Xirio Online (2017)

La selección del sitio se fundamentó en criterios técnicos, ambientales y socio-económicos; integrados de acuerdo a las diferentes secciones del proyecto como son: a) las zonas terrestres (urbanas y de playa) y b) la zona marina (somera y profunda). Dichos criterios de selección permitieron la planificación de un proyecto ambientalmente viable, toda vez que se establecieron como prioridades de selección, la ubicación de la infraestructura fuera de ecosistemas críticos, aprovechando infraestructura urbana ya desarrollada en la zona terrestre y zonas con bajo valor ambiental en las áreas marinas.

***Sección Terrestre***

Tanto en la zona de Margarita, como Cumana, la sección terrestre inicia en un pozo de amarre cercano a la playa y termina en una central telefónica donde se encuentran los equipos activos de transmisión de datos. En el trayecto del

pozo de amarre a la central telefónica, también es utilizado un cable de fibra óptica, sin embargo, las características externas de este son distintas a las del cable utilizado en la sección marina, aun cuando sus propiedades y funciones internas son las mismas.

En las zonas de Margarita y Cumana, se cuenta con infraestructura de telecomunicaciones de CANTV, misma que será utilizada para la mayor parte de las actividades del proyecto en esta sección; de manera que la fibra óptica submarina a instalar se unirá a la red de fibra óptica terrestre existente en ambas localidades

El cable de fibra óptica se guiará desde el pozo de amarre hasta la central telefónica a través de los ductos existentes en las zonas urbanas. Una vez en la central telefónica, los equipos de transmisión de datos inyectarán su señal a la fibra óptica iniciándose así la primera parte de este sistema de comunicación. Los criterios utilizados para la selección de los sitios de conexión y la ruta de tendido fueron los siguientes:

- **Sitios con infraestructura de red telefónica de fácil acceso.** Esta consideración permite disminuir la necesidad de generar infraestructura nueva y aprovechar la actualmente existente, con lo cual se facilita la instalación de los medios necesarios para la canalización y se reducen considerablemente los impactos generados por el proceso.
- **Playas de composición principalmente arenosa y libre de ecosistemas frágiles**. Esta consideración incrementa la seguridad del cable al poder ser enterrado, evitando el riesgo de ser afectado por embarcaciones, por otra parte, se minimiza el riesgo de impacto a ecosistemas, recursos naturales y el paisaje. Aunado a lo anterior el cable enterrado no interfiere con actividades de playa, recreativas y otras.

- **Existencia de accesos públicos a las playas**. Permite una rápida instalación sin afectar a terceros, en combinación con la óptima elección de red telefónica existente, decrecen los costos de inversión y generan un menor daño al entorno.

Para la zona de playa el proyecto considera la instalación de 92 m lineales de cable de fibra óptica desde la línea de agua hasta el pozo de amarre; a su vez considera 111.0 m para el equivalente de esta etapa en Cumana, con un total de 203 m lineales de instalación de cable en la zona de playa.

***Sección Marina***

En la sección marina, el proyecto no contiene ningún dispositivo de transmisión de datos por lo que es considerada como una sección pasiva dentro del esquema general del proyecto, esta vía, por la que se harán fluir los datos de los equipos de transmisión, se une con la sección terrestre a partir de un punto de conexión en tierra denominados pozos de amarre, mismo que se encuentra cercano a la playa.

La conexión del cable inicia en Playa Margarita, atravesando por el lecho marino hasta Playa Cumana. Esta sección marina está constituida básicamente por cable de fibra óptica y las protecciones asociadas al mismo cable, previendo que eventualmente sea necesario fijar el cable al sustrato rocoso del lecho marino.

Una vez determinados los sitios de conexión de la parte terrestre, tomando en consideración lo antes descritos, se llevó a cabo la elección de la ruta de tendido en la zona marina. Los criterios utilizados, llevaron a dividir la ruta de tendido de acuerdo a la profundidad y estructura marina en: a) zona somera, considerada desde la línea de costa hasta el escalón que caracteriza el final

de la plataforma continental y b) zona profunda, la región comprendida entre los dos taludes continentales.

Longitud total del Cable Submarino de Fibra Óptica a instalar es de 79,122.0 m. La profundidad máxima a considerar para las zonas profundas de Margarita es de 200.0 m.  La profundidad máxima en la zona marina entre ambos sitios es de 1,720.0 m. Aproximadamente.

# CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos específicos alcanzados:

- Diseño de celdas de la red móvil: a través del análisis de la premisas iniciales como, datos demográficos, densidad poblacional de las zonas incluidas en el despliegue de la red, aunado a análisis de los parámetros técnicos de la tecnología LTE-A a implementar en la banda de los 800 MHz. Se pudo llegar a un diseño de celda hexagonal con un radio estimado de 0.42 km, un factor de reutilización de 3, una distancia entre celdas adyacentes de 1.1 Km y una distancia mínima entre celdas con la misma frecuencia de 1.3 Km (para minimizar la interferencia co-canal) como requisitos generales de operación. Adicionalmente dichas celdas operaria con un ancho de banda de 10 MHz, modulada con 64-QAM, con una capacidad total por celda de 50.4 Mbps, que de acuerdo a una clasificación de demanda por zona (urbanos, suburbanos y rurales) cada eNB según su clasificación ofrece distintos tráficos en Mbps cumpliendo con las demandas iniciales de trafico estimadas para cada zona de acuerdo a su categorización. Es importante destacar que dicho análisis permitió estimar la cantidad teórica de 48 eNBs requeridas para todo el diseño. Sirviendo como un insumo de suma importancia a validar y corroborar a través del simulador Xirio-Online.
- Cantidad de nodos y entidades de la solución (eNb, P/S-GW, HSS, PCRF y MME): Es importante destacar que la herramienta Xirio-Online jugo un papel determinante en el alcance de dicho objetivo, debido a que a través de su interfaz gráfica geo-referenciada del terreno para la ubicación de las eNBs, al contrastar la información de cantidad totales de eNBs requeridas por municipio para todo el diseño (estimación

teórica), se pudo apreciar zonas con densidad poblacional dispersas en gran parte del terreno lo que amerito la incorporación de mayor cantidad de eNBs, respetando si, las condiciones de operación de cada celda como radio, distancia entre celdas adyacentes, distancia mínima entre celdas con la misma frecuencia de operación, determinadas en el objetivo 1, para garantizar la cobertura total del diseño. El análisis basado en campo a través del simulador, demando un total de 147 eNBs, para cumplir con los objetivos del diseño de cobertura total, siendo este un número mucho mayor a las eNBs contempladas en el análisis teórico sin simulador. Adicionalmente a partir de la determinación final de la cantidad de eNBs requeridas reales se pudo determinar la cantidad de 14 centrales móviles las cuales integran cada uno los P/S-GW, HSS, PCRF y MME (nodos y entidades adicionales de la solución).

- Diseño de enlaces entre todas las islas que garanticen un eficiente *handover* y conectividad total: Una vez determinada las centrales móviles en el objetivo anterior, se pudo alcanzar dicho objetivo, seleccionando las centrales móviles o eNBs de las islas que debían enlazar con las centrales móviles de margarita, para luego presentar la red de anillo basado en fibra óptica que enlazaría las centrales móviles entre sí; así como la representación gráfica de los enlaces con la red de acceso (eNBs con centrales móviles).
- Evaluación del diseño a través del simulador: Cabe mencionar que la evaluación del diseño a través del simulador Xirio-Online, fue progresivo a partir del objetivo 2, lo cual permitió ir optimizando el diseño con la rectificación inicial de la cantidad de eNBs requeridas para el diseño, para posteriormente, en este objetivo presentar la creación de un estudio cobertura individual sobre una de las eNBs del sector Porlamar perteneciente al municipio Mariño, que, a manera de ejemplificación, diera cuenta de la viabilidad de la cobertura de acuerdo a los cálculos

presentados, para finalmente presentar un estudio multi-transmisor gráfico, de la cobertura de todo el diseño, de acuerdo a los alcances provisto por el simulador Xirio-Online en su versión gratuita.

Con base a lo anteriormente expuesto, se puede predecir que la tecnología LTE-A será determinante para el desarrollo masivo de las comunicaciones móviles e internet, lo que seguramente la apuntalará hacia el futuro como la tecnología móvil por excelencia.

El presente trabajo de investigación, pretendió sentar las bases en cuanto al basamento teórico necesario para el conocimiento y comprensión de esta gran tecnología de comunicaciones móviles celular basado en la tecnología LTE-A, aplicado al diseño de una red una red celular apoyado por un simulador de radio enlaces para la interconexión de las islas Margarita, Coche, Cubagua, La Blanquilla y La Tortuga, cumpliendo con los requerimientos del proyecto de acuerdo a los objetivos planteados, el cual a través de su desarrollo en todas sus fases, ayudo a reforzar los fundamentos teóricos para profundizar y expandir dicho conocimiento en futuras investigaciones o proyectos relacionados a dicha tecnología para mayores propósitos de implementaciones técnicas.

Al implementar paso a paso la planificación por medio de la herramienta Xirio-Online, en este diseño en particular, se han evidenciado las dificultades y complejidades que entraña diseñar una red de este tipo, así como sus principales ventajas e inconvenientes respecto a las tecnologías predecesoras. Además, también se ha experimentado a través del diseño apoyado por un simulador, las prestaciones reales que puede ofrecer LTE-*Advanced* y la relevancia que tiene cada proceso de diseño dentro de la planificación completa.

# RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar el estudio en la fase de planificación se realizan una serie de recomendaciones para la optimización del estudio partiendo de las siguientes premisas:

- El radio de cada celda es de 0.42 Km.
- La distancia del centro de la celda y el centro de la celda adyacente es de 1.1 Km.
- La distancia mínima entre centros de celda que utilizan la misma frecuencia no debe ser menor a 1.3 Km.
- La capacidad máxima de usuarios por celda está limitada de acuerdo al tipo de zona y demanda de tráfico (tabla 31 página 135).
- La sensibilidad del receptor para este diseño está estimada en -78.4 dB (tabla 24).

El radio entre un nodo y otro, nunca debe sobrepasar las distancias máximas y mínimas recomendadas en las premisas anteriores para poder diseñar una buena cobertura.

Para ajustar bien las coberturas, la señal RSRP (Reference *Signal Received Quality)* será un buen indicador, ya que es un tipo de medida RSSI, es la potencia de las señales de referencia de LTE repartidas en todo el ancho de banda y en banda estrecha. En cualquier caso, se necesita un mínimo de -20 dB de SINR (del canal S-Synch) para detectar el RSRP y el RSRQ, para poder reajustar mejor los nodos, por lo que dichos ajustes podrían basarse en la SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), RSRQ (Reference *Signal Received Quality)* o RSSI (*Receive Strength Signal Indicator*).

Para reajustar las coberturas individuales se podrían modificar una gran cantidad de parámetros que, dándoles el uso correcto, pudieran proporcionar grandes mejoras en la cobertura multi-transmisor como, por ejemplo:

- La modificación de la ubicación de las antenas, puede hacer que con pequeñas modificaciones como la distancia entre las celdas adyacentes o la distancia mínima entre celdas que utilizan la misma frecuencia se consiga mejorar alguna área de cobertura específica.
- Cambiar el radio de alguna celda como, por ejemplo: en áreas de alta densidad poblacional. Al estar más juntas se podrá conseguir un mayor nivel de alta densidad señal entre ellas, aunque posiblemente se tenga que añadir antenas nuevas para cubrir las zonas sin cobertura. También teniendo en cuenta que no se debe de producir un alto nivel de interferencia al acercar demasiado los nodos, por ello, la distancia ideal estaría en torno a los 1.3 km para evitar la interferencia co-canal.
- Introducir nuevos nodos. Si es imposible dar cobertura con las antenas que en un primer momento se han determinado en el diseño para efectos de la simulación, es viable añadir nuevas antenas para cubrir aún más la zona.
- También será posible modificar parámetros como: potencia de la antena transmisora del sector, cambio de la orientación, retocar el down-tilt de la antena, etc, para mejorar la cobertura de dicha celda.

A continuación, mencionaremos algunas técnicas utilizadas en el proceso de optimización de redes celulares para una mejora del diseño a futuro:

- Análisis del Mejor Servidor
- Análisis del Solapamiento
- Análisis del RSRP
- Señal RSRQ
- Señal RSSI

- Análisis del PDSCH SINR
- Análisis del PUSCH SINR
- Análisis del throughput teórico DL
- Análisis de capacidad

Con el fin de mejorar el estudio de simulación, de acuerdo a las limitaciones que proveen los softwares de simulación en su versión libre en cuanto a la presentación de resultados de estudios grandes, se recomienda la utilización de Xirio-Online en su versión profesional u otro de los softwares líderes en el diseño de redes de acceso móviles según UBC Radio Science Lab (2018) como:

- ASSET que es un software de la compañía inglesa AIRCOM
- Mentum Planet proveniente de la compañía inglesa InfoVista
- Atoll proveniente de la compañía francesa Forsk.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS


5G AMERICAS. (2016a). *Mobile Broadband Caribbean & Central America.* Florida (EEUU): 5G americas.

5G AMERICAS. (2017b). *Análisis de las Recomendaciones de Espectro de la UIT en América Latina.* Florida (EEUU): 5G Americas.

*A Robust and Efficient Algorithm for Evaluating Erlang's Formula Erlang B*. (05 de 01 de 2018). Obtenido de https://www.cas.mcmaster.ca/~qiao/publications/erlang/newerlang.html

Agusti, R. &. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Mòviles.* Madrid (España): Fundaciòn Vadafone España.

Analysys mason. (15 de 12 de 2017). *Competitive models in GPON. (Final Report for Ofcom No. 15340-493). BSG.* Obtenido de https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0021/61581/analysys_mason_gpon_final_r1.pdf

Andriod Venezuela. (09 de 06 de 2017). *Conoce las Bandas de las Operadoras Venezolanas*. Recuperado el 05 de 11 de 2017, de http://www.androidvenezuela.com/android/conoce-las-bandas-de-las-operadoras-venezolanas

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigaciòn Introducciòn a la Metodologìa Cientìfica. Sexta Ediciòn.* Caracas (Venezuela): Episteme, C.A.

Ballestrini, M. (2002). *Como se Elabora el Proyecto de Investigaciòn.* Caracas (Venezuela): SErvicio Editorial BL.

Calle, C. (2014). Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced. *XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica* (págs. 254-265). Quito: Ecuador.

Capmany, J. y. (2009). *Redes Òpticas.* Mexico: Limusa S.A.

CONATEL. (2004e). *Reglamento de Interconexiòn, Publicado en Gaceta Oficial Nº 5735.* Caracas: CONATEL.

CONATEL. (2005b). *Providencia por la cual se Dicta la Reforma Parcial del Cuadro Nacional de Atribuciones de Bandas de Frecuencia (CUNABAF).* Caracas: CONATEL.

CONATEL. (2011a). *Ley Organica de Comunicaciones [LOTEL].* Caracas: CONATEL.

CONATEL. (2013d). *Ley de Infogobierno.* Caracas: CONATEL.

CONATEL. (2014c). *Providencia Administrativa Sobre las Condiciones de Seguridad ante las Emisiones de Radiofrecuencias Producidas por Estaciones Radio eléctricas Fijas en el Rango de 3 KHZ a 300 GHZ.* Caracas: CONATEL.

CONATEL. (15 de 12 de 2017). *Informe Cifras del Sector Segundo Trimestre 2017.* Obtenido de Telecomunicaciones: http://www.conatel.gob.ve/informe-cifras-del-sector-tercer-trimestre-2016/

Corporaciòn Digitel, C.A. (2017). *Digitel en el Mapa*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de http://www.digitel.com.ve/digitelenelmapa/

Cox, C. (2012). *An Introduction to LTE, LTE Advanced, SAE and 4g.* London (Kingdom): Jhon Wiley & Sin LTD. London.

Ginès, V. (2013). Planificaciòn y Optimizaciòn Automàtica de Redes Mòviles LTE. Trabajo Especial de Grado presentado ante Universitat Politécnica de Valencia. Departamento de Comunicaciones, para obtener el título Doctor en Telecomunicación. Valencia (España): Universitat Politècnica de València.

Hernandez, R., Fernandez, C. y Batista, M. (2010). *Metodologìa de la Investigaciòn (5ta Ed.).* D.F. (Mexico): Mc Graw-Hill.

Hung, P. (2016). *Desarrollo de una Herramienta de Visualización de Procesos en LTE Basado en el Estándar TS 23.401.* Trabajo Especial de Grado presentado ante Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios de Postgrado, para obtener el grado de Magister en Ingeniería Electrónica. Caracas: USB.

Instituto Nacional de Estadistica INE. (2013). *Divisiòn Polìtico Territorial de la Repùblica Bolivariana de Venezuela.* Caracas (Venezuela): INE.

Instituto Nacional de Estadistica INE. (Diciembre de 2014a). *XIV Censo Nacional de Poblaciòn y Vivienda: Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Nueva Esparta.* Obtenido de http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/nuevaesparta.pdf

Instituto Nacional de Estadistica INE. (2014b). *XIV Censo Nacional de Poblaciòn y Vivienda: Resultados por Entidad Federal y Municipio del Dependencias Federales.* Caracas (Venezuela): INE.

Korowajczuk, L. (2011). *LTE, Wimax and Wlan Network Design, Optimization and Performance Analisys, Celplan Technologies, INC., Reston, VA, USA, 2da ed, ED.* United Kingdom: Jhon Wiley & Sons LTD.

Martin, A. (1986). *Diseños de Investigaciòn Social: Criterios Operativos.* España: Alianza Editorial.

MERCOSUR. (2014). *Manual De Procedimientos De Coordinación De Frecuencias De Transmisión Y Coordinación De Frecuencias Del Servicio De Telefonía Móvil Celular.* Buenos Aires: MERCOSUR.

Morales, L. &. (2003). *Diccionario de Términos y Acrónimos de Comunicaciones.* España: L & M Data y Comunicaciones S.A.

Networks, I. (2014). *LTE Whitepaper.* Iqualll Networks.

Ovando, M. (2015). *Aplicación del Análisis Tecno-Económico al Despliegue de LTE en Zonas Rurales de España en la Banda de 800MHz.* Trabajo Especial de Grado presentado ante Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, para obtener el grado de Doctor en Telecomunicaciones. Madrid (España): Universidad Politecnica de Madrid (UPM).

Ramirez, T. (2006). *Como Hacer un Proyecto de Investigaciòn.* Caracas (Venezuela): Panapo de Venezuela C.A.

Ruiz, C. (2012). Tecnologìa LTE en la Red Backhaul de Movilnet en el Casco Central de Caracas. Trabajo Especial de Grado presentado ante Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios de Postgrado, para obtener el grado de Especialista en Gerencia de Telecomunicaciones. Caracas: Universidad Sìmon Bolìvar (USM).

Ruiz, M. (2014). *Implementaciòn de la Red LTE en la Red Movilnet.* Trabajo Especial de Grado presentado ante Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios de Postgrado, para obtener el grado de Especialista en Gerencia de Proyectos. Caracas: Universidad Sìmon Bolìvar (USB).

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadores (7ma Ed.).* Madrid (España): Pearson Educaciòn, S.A,.

Taha A &. (2012). *LTE, LTE Advanced and Wimax Towards IMT-Advanced Networks.* United Kingdom: Jhon Wiley & Sons Ltd. London.

Tamayo y Tamayo. (2003). *El Proceso de la Investigaciòn Cientifica.* D.F. (Mexico): Limusa S.A.

Telefonica Movistar. (01 de 12 de 2017). *Seminario LTE: Long Term Evolution, Tema: Capa Física y Planificación .* Obtenido de http://www.catedra-telefonicamovistar.etsit.upm.es/sites/default/files/SeminarioLTE.pdf

Telefònica Venezolana C.A. (2017). *Mapa de Cobertura*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de http://www.movistar.com.ve/particulares/ayuda/cobertura/internet_movil.asp#.WfdtbLUqV7T

UBC Radio Science Lab. (25 de 01 de 2018). Obtenido de http://rsl.ece.ubc.ca/planning.html

Xirio Online. (01 de 11 de 2017). *Simulaciòn Profesional de Cobertura Radio Electrica Online*. Obtenido de http://www.xirio-online.com/

# ANEXOS

## ANEXO # 1

## Ubicación Georefencial de las eNBs por Municipio y Sector

# Ubicación de las eNBs y Centrales Móviles Asociadas

| UBICACIÒN DE LAS eNBs POR MUNICIPIO Y SECTOR | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | SECTOR | TIPO DE ZONA | NOMBRE eNB | UBICACIÒN | | CODIGO DE CELDA | BANDA DE OPERACIÒN | CENTRAL MOVIL |
| | | | | | Latitud | Longitud | | | |
| MARGARITA | MARIÑO | Porlamar | Urbana | MA-001-BA | 10º58'42.37"N | 063º49'34.72"W | 10QAM64-UR | BA | MA-009-BA |
| | | | Urbana | MA-002-BB | 10º58'08.78"N | 063º49'35.99"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-003-BC | 10º58'28.79"N | 063º50'06.66"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-004-BC | 10º57'33.51"N | 063º49'34.68"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-005-BA | 10º57'51.71"N | 063º50'08.21"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MA-006-BB | 10º58'11.43"N | 063º50'38.58"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-007-BC | 10º58'31.00"N | 063º51'06.86"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-008-BC | 10º57'33.95"N | 063º50'39.61"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | **Urbana** | **MA-009-BA** | **10º57'53.00"N** | **063º51'11.67"W** | **10QAM64-UR** | **BA** | |
| | | | Urbana | MA-010-BB | 10º58'18.03"N | 063º51'37.82"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-011-BB | 10º57'16.67"N | 063º51'12.99"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-012-BC | 10º57'38.36"N | 063º51'40.69"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-013-BA | 10º57'02.65"N | 063º51'45.85"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MA-014-BB | 10º57'25.70"N | 063º52'16.69"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-015-BC | 10º56'50.44"N | 063º52'20.17"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-016-BA | 10º57'17.74"N | 063º52'53.00"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MA-017-BB | 10º56'41.64"N | 063º52'56.85"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MA-018-BC | 10º57'05.76"N | 063º53'29.14"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MA-019-BA | 10º56'24.19"N | 063º53'29.92"W | 10QAM64-UR | BA | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **19** | | | | | | | |
| MARGARITA | MANEIRO | Pampatar | Urbana | MRO-020-BB | 10º59'00.42"N | 063º49'04.03"W | 10QAM64-UR | BB | MRO-026-BB |
| | | | Urbana | MRO-021-BC | 10º59'22.41"N | 063º48'34.99"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MRO-022-BA | 10º59'34.85"N | 063º49'09.13"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MRO-023-BB | 10º59'37.28"N | 063º49'46.70"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MRO-024-BC | 10º59'22.72"N | 063º50'20.07"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MRO-025-BA | 10º59'49.10"N | 063º48'12.27"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | **Urbana** | **MRO-026-BB** | **11º00'03.97"N** | **063º48'45.52"W** | **10QAM64-UR** | **BB** | |
| | | | Urbana | MRO-027-BC | 11º00'04.28"N | 063º49'28.47"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MRO-028-BA | 11º00'25.20"N | 063º50'06.17"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MRO-029-BC | 11º00'39.16"N | 063º48'39.34"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MRO-030-BB | 11º01'23.13"N | 063º48'07.33"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | MRO-031-BA | 11º01'16.15"N | 063º49'05.92"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MRO-032-BB | 11º01'09.48"N | 063º49'39.16"W | 10QAM64-UR | BB | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **13** | | | | | | | |
| MARGARITA | ARISMENDI | La Asunciòn | Urbana | ADI-033-BC | 11º01'21.31"N | 063º50'06.29"W | 10QAM64-UR | BC | ADI-034-BA |
| | | | **Urbana** | **ADI-034-BA** | **11º01'22.07"N** | **063º50'36.11"W** | **10QAM64-UR** | **BA** | |
| | | | Urbana | ADI-035-BB | 11º01'16.76"N | 063º51'26.81"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | ADI-036-BB | 11º01'58.16"N | 063º49'47.75"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | ADI-037-BC | 11º01'49.66"N | 063º51'19.87"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | ADI-038-BA | 11º01'39.20"N | 063º51'53.39"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | ADI-039-BC | 11º02'53.20"N | 063º49'13.30"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | ADI-040-BB | 11º02'13.17"N | 063º51'49.64"W | 10QAM64-UR | BB | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **8** | | | | | | | |

| UBICACIÒN DE LAS eNBs POR MUNICIPIO Y SECTOR | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | SECTOR | TIPO DE ZONA | NOMBRE eNB | UBICACIÒN | | CODIGO DE CELDA | BANDA DE OPERACIÒN | CENTRAL MOVIL |
| | | | | | Latitud | Longitud | | | |
| MARGARITA | ANTOLÍN DEL CAMPO | Paraguachi | Sub-urbana | ADC-041-BA | 11º05'02.38"N | 063º51'45.32"W | 10QAM64-SU | BA | ADC-047-BA |
| | | Paraguachi | Sub-urbana | ADC-042-BB | 11º05'41.50"N | 063º51'43.00"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Paraguachi | Sub-urbana | ADC-043-BC | 11º06'15.76"N | 063º51'25.86"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | El Cardon | Sub-urbana | ADC-044-BA | 11º06'15.31"N | 063º50'46.30"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | El Tirano | Sub-urbana | ADC-045-BB | 11º07'05.64"N | 063º50'57.12"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Aricagua | Sub-urbana | ADC-046-BC | 11º07'22.77"N | 063º51'40.38"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | **La Mira** | **Sub-urbana** | **ADC-047-BA** | **11º08'13.10"N** | **063º51'57.06"W** | **10QAM64-SU** | **BA** | |
| | | Manzanillo | Sub-urbana | ADC-048-BB | 11º09'12.82"N | 063º53'08.50"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Playa el Humo | Sub-urbana | ADC-049-BC | 11º09'59.58"N | 063º52'48.11"W | 10QAM64-SU | BC | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **9** | | | | | | | |
| MARGARITA | GARCÍA | Achipano | Urbana | VES-050-BA | 10º58'46.00"N | 063º51'28.79"W | 10QAM64-UR | BA | VES-056-BA |
| | | Doña Elisa | Urbana | VES-051-BB | 10º56'41.34"N | 063º54'14.41"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | | Urbana | VES-052-BA | 10º58'01.27"N | 063º52'08.80"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | Villa Hermosa | Urbana | VES-053-BC | 10º56'50.13"N | 063º54'55.51"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | San Antonio | Urbana | VES-054-BC | 10º57'52.63"N | 063º55'01.69"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | San Antonio | Urbana | VES-055-BB | 10º57'21.53"N | 063º55'12.34"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | **Villa Rosa** | **Urbana** | **VES-056-BA** | **10º56'52.41"N** | **063º55'33.36"W** | **10QAM64-UR** | **BA** | |
| | | Urb.Nueva Esparta | Urbana | VES-057-BC | 10º56'25.56"N | 063º55'52.51"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | Sector A | Urbana | VES-058-BA | 10º57'52.32"N | 063º55'35.52"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | Doral Margarita | Urbana | VES-059-BC | 10º57'21.61"N | 063º55'48.48"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | Av. Juan Bautista | Urbana | VES-060-BB | 10º56'54.07"N | 063º56'09.82"W | 10QAM64-UR | BB | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **11** | | | | | | | |
| MARGARITA | DÍAZ | Urb. Nueva Segovia | Sub-urbana | DAZ-061-BA | 10º56'35.57"N | 063º56'38.54"W | 10QAM64-SU | BA | DAZ-064-BA |
| | | La Cruz del Pastel | Sub-urbana | DAZ-062-BB | 10º56'21.46"N | 063º57'13.16"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Av. Juan Bautista | Sub-urbana | DAZ-063-BC | 10º56'57.11"N | 063º57'10.53"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | **Cotoperiz 1** | **Sub-urbana** | **DAZ-064-BA** | **10º56'44.22"N** | **063º57'48.23"W** | **10QAM64-SU** | **BA** | |
| | | Cotoperiz | Sub-urbana | DAZ-065-BC | 10º56'22.22"N | 063º58'09.86"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Cotoperiz 1 | Sub-urbana | DAZ-066-BB | 10º56'58.47"N | 063º58'17.74"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Aereopuerto | Sub-urbana | DAZ-067-BA | 10º55'02.74"N | 063º58'08.50"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | Las Guevaras | Sub-urbana | DAZ-068-BA | 10º57'17.43"N | 063º59'54.92"W | 10QAM64-SU | BA | DAZ-072-BC |
| | | Las Guevaras | Sub-urbana | DAZ-069-BC | 10º57'01.66"N | 064º00'36.32"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Las Guevaras | Sub-urbana | DAZ-070-BB | 10º57'30.33"N | 064º00'25.51"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | El Espinal | Sub-urbana | DAZ-071-BB | 10º57'56.27"N | 063º58'54.82"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | **El Espinal** | **Sub-urbana** | **DAZ-072-BC** | **10º58'16.44"N** | **063º59'24.33"W** | **10QAM64-SU** | **BC** | |
| | | El Espinal | Sub-urbana | DAZ-073-BA | 10º58'33.27"N | 063º58'53.74"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | El Espinal | Sub-urbana | DAZ-074-BB | 10º58'53.44"N | 063º59'25.25"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Las Barrancas | Sub-urbana | DAZ-075-BC | 10º59'14.07"N | 063º58'58.53"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Las Barrancas | Sub-urbana | DAZ-076-BA | 10º59'38.34"N | 063º58'30.56"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | Las Barrancas | Sub-urbana | DAZ-077-BA | 10º59'19.53"N | 063º59'53.06"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | La Guardia | Sub-urbana | DAZ-078-BB | 10º59'23.93"N | 064º00'42.07"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | La Guardia | Sub-urbana | DAZ-079-BA | 10º59'19.38"N | 064º01'18.84"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | La Guardia | Sub-urbana | DAZ-080-BC | 10º59'51.84"N | 064º01'01.23"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Carapacho | Sub-urbana | DAZ-081-BB | 10º59'55.78"N | 063º57'37.11"W | 10QAM64-SU | BB | DAZ-083-BA |
| | | Carapacho | Sub-urbana | DAZ-082-BC | 11º00'30.96"N | 063º57'21.81"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | **Carapacho** | **Sub-urbana** | **DAZ-083-BA** | **11º01'01.74"N** | **063º57'39.43"W** | **10QAM64-SU** | **BA** | |
| | | San Juan Bautista | Sub-urbana | DAZ-084-BB | 11º00'36.72"N | 063º56'45.66"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Los Femines | Sub-urbana | DAZ-085-BC | 11º01'11.15"N | 063º56'46.75"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Los Femines | Sub-urbana | DAZ-086-BA | 11º00'56.89"N | 063º56'08.58"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | Ramal 4 | Sub-urbana | DAZ-087-BB | 11º01'29.35"N | 063º57'18.86"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Ramal 4 | Sub-urbana | DAZ-088-BC | 11º01'58.69"N | 063º57'04.96"W | 10QAM64-SU | BC | |
| **TOTAL** | **eNBs** | **28** | | | | | | | |

| UBICACIÒN DE LAS eNBs POR MUNICIPIO Y SECTOR | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | SECTOR | TIPO DE ZONA | NOMBRE eNB | UBICACIÒN | | CODIGO DE CELDA | BANDA DE OPERACIÒN | CENTRAL MOVIL |
| | | | | | Latitud | Longitud | | | |
| MARGARITA | MARCANO | Las Cabreras | Urbana | MNO-089-BB | 11º02'40.92"N | 063º58'03.84"W | 10QAM64-UR | BB | MNO-092-BB |
| | | Las Cabreras | Urbana | MNO-090-BA | 11º03'07.46"N | 063º58'06.03"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | Pedregales | Urbana | MNO-091-BC | 11º03'37.93"N | 063º58'02.94"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | **Juan Griego** | **Urbana** | **MNO-092-BB** | **11º04'14.47"N** | **063º58'04.15"W** | **10QAM64-UR** | **BB** | |
| | | Juan Griego | Urbana | MNO-093-BA | 11º04'46.62"N | 063º58'12.95"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | Juan Griego | Urbana | MNO-094-BC | 11º05'19.22"N | 063º58'30.72"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | Pedregales | Urbana | MNO-095-BA | 11º03'48.85"N | 063º58'36.52"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | Juan Griego | Urbana | MNO-096-BC | 11º04'21.30"N | 063º58'42.92"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | El Marco | Urbana | MNO-097-BA | 11º02'51.99"N | 063º56'35.77"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MNO-098-BC | 11º03'03.82"N | 063º57'09.18"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | Ramal 20 | Urbana | MNO-99-BB | 11º03'29.29"N | 063º57'28.34"W | 10QAM64-UR | BB | |
| | | El Sol | Urbana | MNO-100-BA | 11º03'59.47"N | 063º57'29.41"W | 10QAM64-UR | BA | |
| | | | Urbana | MNO-101-BC | 11º04'40.86"N | 063º57'37.30"W | 10QAM64-UR | BC | |
| | | | Urbana | MNO-102-BB | 11º05'14.21"N | 063º57'54.72"W | 10QAM64-UR | BB | |
| TOTAL | eNBs | 14 | | | | | | | |
| MARGARITA | GÓMEZ | Tacagua | Sub-urbana | GMZ-103-BC | 11º02'44.79"N | 063º54'28.76"W | 10QAM64-SU | BC | GMZ-110-BC |
| | | Tacagua | Sub-urbana | GMZ-104-BB | 11º03'07.38"N | 063º54'04.74"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | | Sub-urbana | GMZ-105-BA | 11º03'21.86"N | 063º55'42.63"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | Santa Ana | Sub-urbana | GMZ-106-BC | 11º04'04.77"N | 063º55'17.12"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | | Sub-urbana | GMZ-107-BB | 11º03'48.09"N | 063º56'16.34"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Local 1 | Sub-urbana | GMZ-108-BC | 11º03'58.10"N | 063º56'51.25"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | El Sol | Sub-urbana | GMZ-109-BB | 11º04'25.69"N | 063º57'03.61"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | **Altagracia** | **Sub-urbana** | **GMZ-110-BC** | **11º05'23.30"N** | **063º56'38.59"W** | **10QAM64-SU** | **BC** | |
| | | Altagracia | Sub-urbana | GMZ-111-BA | 11º05'34.22"N | 063º57'12.32"W | 10QAM64-SU | BA | |
| | | Altagracia | Sub-urbana | GMZ-112-BC | 11º05'51.20"N | 063º57'41.00"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | Altagracia | Sub-urbana | GMZ-113-BB | 11º05'59.08"N | 063º56'47.86"W | 10QAM64-SU | BB | |
| | | Pedro Gonzales | Sub-urbana | GMZ-114-BC | 11º06'42.29"N | 063º55'08.02"W | 10QAM64-SU | BC | |
| | | | Sub-urbana | GMZ-115-BA | 11º07'17.92"N | 063º55'37.68"W | 10QAM64-SU | BA | |
| TOTAL | eNBs | 13 | | | | | | | |
| MARGARITA | TUBORES | | Rural | TBR-116-BA | 10º57'00.98"N | 064º02'00.82"W | 10QAM64-RU | BA | TBR-121-BC |
| | | | Rural | TBR-117-BB | 10º56'10.16"N | 064º04'07.43"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | Ramal 11 | Rural | TBR-118-BC | 10º55'00.61"N | 064º04'42.19"W | 10QAM64-RU | BC | |
| | | | Rural | TBR-119-BA | 10º54'26.25"N | 064º05'16.95"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | Punta de Piedra | Rural | TBR-120-BB | 10º54'05.62"N | 064º06'04.69"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | Punta de Piedra | **Rural** | **TBR-121-BC** | **10º54'00.46"N** | **064º05'31.85"W** | **10QAM64-RU** | **BC** | |
| | | Punta de Piedra | Rural | TBR-122-BB | 10º54'07.97"N | 064º04'46.59"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | Punta de Piedra | Rural | TBR-123-BA | 10º53'54.62"N | 064º04'15.24"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | Punta de Piedra | Rural | TBR-124-BC | 10º53'34.45"N | 064º03'45.58"W | 10QAM64-RU | BC | |
| | | | Rural | TBR-125-BA | 10º57'38.29"N | 064º09'20.36"W | 10QAM64-RU | BA | |
| CUBAGUA | | | Rural | TBR-126-BB | 10º49'27.94"N | 064º09'52.03"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | | Rural | TBR-127-BC | 10º48'10.87"N | 064º12'48.03"W | 10QAM64-RU | BC | |
| TOTAL | eNBs | 12 | | | | | | | |

| UBICACIÒN DE LAS eNBs POR MUNICIPIO Y SECTOR | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISLA | MUNICIPIO | SECTOR | TIPO DE ZONA | NOMBRE eNB | UBICACIÒN | | CODIGO DE CELDA | BANDA DE OPERACIÒN | CENTRAL MOVIL |
| | | | | | Latitud | Longitud | | | |
| COCHE | VILLALBA | | Rural | VBA-128-BB | 10º48'34.16"N | 063º59'08.65"W | 10QAM64-RU | BB | VBA-131-BB |
| | | | Rural | VBA-129-BA | 10º47'56.38"N | 063º59'12.77"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | San Pedro de Coche | Rural | VBA-130-BC | 10º47'22.08"N | 063º59'26.67"W | 10QAM64-RU | BC | |
| | | **San Pedro de Coche** | **Rural** | **VBA-131-BB** | **10º46'52.79"N** | **063º59'50.28"W** | **10QAM64-RU** | **BB** | |
| | | | Rural | VBA-132-BA | 10º46'33.51"N | 063º59'22.93"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | El Bichar | Rural | VBA-133-BC | 10º46'14.39"N | 063º57'24.29"W | 10QAM64-RU | BC | |
| | | El Amparo | Rural | VBA-134-BB | 10º44'26.06"N | 063º55'22.08"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | | Rural | VBA-135-BA | 10º44'31.48"N | 063º53'57.25"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | | Rural | VBA-136-BC | 10º47'39.49"N | 063º55'47.66"W | 10QAM64-RU | BC | |
| **TOTAL eNBs** | | **9** | | | | | | | |
| MARGARITA | PENÍNSULA DE MACANAO | **Boca del Rio** | **Rural** | **PMO-137-BB** | **10º57'49.44"N** | **064º10'52.60"W** | **10QAM64-RU** | **BB** | PMO-137-BB |
| | | Boca del Rio | Rural | PMO-138-BC | 10º57'13.50"N | 064º11'05.12"W | 10QAM64-RU | BC | |
| | | Guayacancito | Rural | PMO-139-BA | 10º56'27.08"N | 064º12'59.20"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | Boca del Rio | Rural | PMO-144-BA | 10º58'19.17"N | 064º11'17.79"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | El Manglillo | Rural | PMO-140-BB | 10º57'33.13"N | 064º18'55.39"W | 10QAM64-RU | BB | PMO-141-BC |
| | | **Boca de Pozo** | **Rural** | **PMO-141-BC** | **11º00'26.79"N** | **064º22'38.28"W** | **10QAM64-RU** | **BC** | |
| | | Robiedal | Rural | PMO-142-BA | 11º01'43.98"N | 064º22'19.86"W | 10QAM64-RU | BA | |
| | | San Francisco de Macanao | Rural | PMO-143-BB | 11º01'11.15"N | 064º17'30.57"W | 10QAM64-RU | BB | |
| | | San Francisco de Macanao | Rural | PMO-145-BC | 11º01'54.22"N | 064º17'24.16"W | 10QAM64-RU | BC | |
| **TOTAL eNBs** | | **9** | | | | | | | |
| **LA BLANQUILLA** | | | Turistica | LBA-143-BB | 11º49'22.11"N | 064º35'31.65"W | 10QAM64-RU | BB | PMO-141-BC |
| **TOTAL eNBs** | | **1** | | | | | | | |
| **LA TORTUGA** | | | Turistica | LTO-144-BC | 10º59'47.30"N | 065º22'33.86"W | 10QAM64-RU | BC | |
| **TOTAL eNBs** | | **1** | | | | | | | |
| **TOTAL General** | | **eNBs** | | **147** | | | | | |