



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN IBS DE TECNOLOGÍA UMTS EN EL CAMPUS
UDLAPARK DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor Guía
MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña

Autor
Fabián Esteban Enríquez Jaramillo

Año
2016

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
CI. 170859418-7

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Fabián Esteban Enríquez Jaramillo

CI. 171793030-7

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María por bendecirme y darme fuerzas para salir adelante durante toda esta etapa de mi vida.

A mis padres Fausto, Roció y a mis hermanos por ser mi ejemplo de vida y por el apoyo incondicional que me brindan cada día para seguir luchando y cumpliendo mis sueños.

A Kary que siempre se ha mantenido junto a mí apoyándome en los retos encontrados en mi vida.

Al Ingeniero Jorge Granda por su amistad, apoyo y colaboración desinteresada durante toda la elaboración de este proyecto.

A Bustos, Mono, Mauri, Dani, Diego, Edison, Joao, Sebastián, Lucho, compañeros que han sido parte de esta lucha y siempre tuvieron buena predisposición para apoyarme.

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres porque este logro es de conjunto y sin su ayuda no lo hubiera hecho realidad.

A Kary que ha sido la persona que me apoyado incondicionalmente.

A mis amigos y compañeros que supieron darme consejos y confiaron en mí.

RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en el análisis y diseño de una solución IBS de tecnología UMTS en el campus Udlapark de la Universidad de las Américas. El diseño propuesto tendrá la capacidad de mejorar la cobertura y calidad celular en el interior y exterior del campus.

Dentro del desarrollo del proyecto se analiza la arquitectura de la red y los principales indicadores de cobertura y calidad referentes a la red de tercera generación permitiendo que el lector del proyecto se familiarice con la tecnología UMTS.

Para comprobar las deficiencias de cobertura-calidad y realizar un diseño que mitigue estos inconvenientes se procede a la recolección de datos encontrados en la interfaz aire del campus Udlapark por medio de drive test y walktest.

La solución propuesta inicia en la ubicación del Nodo B, descripción de los elementos, distribución y ubicación de antenas, diagrama unifilar de radio frecuencia, cálculo del presupuesto de enlace y configuración física y lógica garantizando un correcto funcionamiento de la solución.

ABSTRACT

This project consists in the analysis and design of an IBS solution of UMTS technology for Udlapark campus of UDLA. The proposed design will have the ability to improve cell coverage and quality inside and outside the campus.

The project analyzes the development of the network architecture and the key indicators of coverage and network in relation with the quality of the third generation, allowing the reader to become familiar with the UMTS technology.

To check the coverage gap-quality and make a design that mitigates these drawbacks the project proceeds with the collection of data found in the air interface of Udlapark campus through test drive and walktest.

The proposed solution starts at the location of the Node B, describing elements, distribution and location of antennas, radio frequency line diagram, link budget calculation and physical and logical configuration ensuring proper operation of the solution.

ÍNDICE

1. Capítulo I. Origen de la telefonía celular en el Ecuador	1
1.1 Introducción	1
1.1.2 Marco regulatorio de las telecomunicaciones en el Ecuador	2
1.2 Organismos de regulación y control	3
1.2.1 Arcotel	4
1.2.2 Mintel	5
1.2.3 Conatel	5
1.2.4 Senatel	6
1.2.5 Supertel	6
1.3 Operadoras de telefonía móvil en el Ecuador	7
1.3.1 Operadores Móviles.....	8
1.3.2 Conecel S.A.....	9
1.3.3 Otecel S.A	10
1.3.4 CNT EP (Ex TELECSA S.A).....	11
1.4 Plan nacional de frecuencias.....	13
1.5 Número de líneas activas por operador Móvil.....	14
1.5.1 Suscriptores por Operador	15
1.5.2 Tecnologías por Operador.....	16
1.6 Infraestructura Móvil instalada por operador	18
1.6.1 Conecel S.A.....	18
1.6.2 Otecel S.A.	19
1.6.3 CNP EP	19
1.7 Evolución de sistemas de comunicaciones móviles	20
1.7.1 Primera generación (1G)	20
1.7.2 Segunda generación.....	21
1.7.3 Segunda generación renovada (2.5G).....	22
1.7.4 Tercera generación (3G)	24

1.7.5	Cuarta generación (4G)	25
2.	Capítulo II. Sistema de comunicaciones móviles de tercera generación (3G)	27
2.1	Introducción	27
2.2	Características de las redes de comunicación móvil de tercera generación.....	27
2.2.1	Asignación del Espectro 3G	28
2.2.2	Tecnología UMTS.....	30
2.2.3	Servicios Tecnología UMTS	32
2.2.4	Arquitectura de la RED UMTS.....	33
2.2.5	Red Central de la Arquitectura UMTS (CN).....	33
2.2.6	Red de Acceso de Radio Terrestre (UTRAN)	34
2.2.7	Equipo Terminal del Usuario (UE)	35
2.2.8	Controlador de Red de Radio (RNC)	36
2.2.9	Nodo B.....	37
2.2.10	Interfaces de la Red UMTS.....	37
2.3	Tecnología WCDMA	39
2.3.1	Ancho de Banda Tecnología WCDMA.....	40
2.3.2	Esquemas Empleados en la Tecnología WCDMA.....	40
2.3.3	Procesamiento de la Señal utilizada en la Tecnología WCDMA.....	41
2.4	Canales de la interfaz de radio wcdma	48
2.4.1	Canales Físicos	48
2.4.2	Canales Lógicos	50
2.4.3	Canales de Control	50
2.4.4	Canales de Tráfico.....	50
2.4.5	Canales de Transporte	51
2.4.6	Canal Dedicado	51
2.4.7	Canales Comunes	51
2.5	Calidad de servicio tecnología wcdma.....	52
2.5.1	Clase Conversacional.....	53

2.5.2	Clase Streaming	53
2.5.3	Clase Interactiva	54
2.5.4	Clase de Fondo	54
2.6	Parámetros de medición de cobertura y calidad	55
2.6.1	Potencia Recibida de la Señal de Código (RSCP)	55
2.6.2	Energía de Canal CPICH sobre Interferencia (Ec/Io)	56
2.6.3	Contaminación de la Señal (PILOT POLLUTION)	56
2.6.4	Indicador de Fuerza de la Señal Recibida (RSSI)	57
2.6.5	Código Primario Aleatorio (PSC)	57
2.6.6	Handover o Proceso Continuo de Conexión.....	57
2.6.7	Softer Handover.....	58
2.6.8	Soft Handover.....	59
2.6.9	Hard Handover	59
2.7	Indicadores claves de desempeño (KPI)	60
2.7.1	Accesibilidad (Llamadas Establecidas).....	60
2.7.2	Retenibilidad (Llamadas Caídas).....	60
2.7.3	Integridad (Llamadas Exitosas)	61
2.8	Solución móvil para ambientes interiores (IBS)	61
3.	Capítulo III. Descripción de equipos IBS “Indoor	
	Base Station” y sistema radiante distribuido	63
3.1	Introducción	63
3.2	Indoor base station (IBS).....	64
3.3	Tipo de soluciones para ambientes interiores	66
3.3.1	Macroceldas	66
3.3.2	Microceldas	67
3.3.3	Repetidores	68
3.3.4	Picocelda	70
3.3.5	Femtocelda.....	70
3.4	Sistema distribuido de antenas (DAS)	71
3.4.1	Sistemas Pasivos	73

3.4.2	Sistemas Activos	79
3.4.3	Sistemas Híbridos.....	80
3.5	Antenas para ambientes interiores	82
3.5.6	Antena Omnidireccional.....	83
3.5.7	Antena Panel	84
3.5.8	Características de las Antenas	84
3.6	Atenuación de la señal en ambientes interiores	87
3.7	Modelos de propagación para interiores	88
3.7.1	Modelo empírico de banda estrecha.....	88
3.7.2	Modelo empírico de banda ancha.....	88
3.7.3	Modelo determinístico.....	89
3.8	Cobertura para ambientes exteriores.....	90
3.9	Tipo de estructuras para ambientes exteriores.....	91
3.9.1	Monopolo	91
3.9.2	Torre	92
3.9.3	Torrete	93
3.9.4	Mástiles	93
3.9.5	Soporte en fachada	94
3.10	Modelos de antenas para ambientes exteriores	95
3.10.1	Antena Sectorizada	95
3.10.2	Inclinación de antenas.....	96
3.10.3	Tilt Mecánico	97
3.10.4	Tilt Eléctrico.....	98
3.10.5	Azimut	99
3.11	Desvanecimiento y propagación de la señal	99
3.11.1	Reflexión	100
3.11.2	Difracción	100
3.11.3	Dispersión	101
3.11.4	Refracción	102
3.12	Factores de atenuación y pérdidas en ambientes exteriores	102

3.13	Interferencia y ruido	103
3.13.1	Intermodulación	104
3.13.2	Interferencia inter-símbolo	105
3.13.3	Ruido	105
3.14	Modelos de propagación para exteriores	106
3.14.1	Modelo Okumura Hata	106
3.14.2	Hata Urbano	107
3.14.3	Hata Urbano Denso	109
3.14.4	Modelo Walfisch Ikegami.....	109
4.	Capítulo IV. Recolección de datos en campo y análisis del entorno de cobertura 3G existente en el campus Udlapark	111
4.1	Introducción	111
4.2	Ubicación geográfica del campus Udlapark.....	111
4.2.1	Problemas de cobertura y calidad	112
4.3	Descripción del protocolo de pruebas	116
4.3.1	Drive Test	116
4.3.2	Walk Test.....	117
4.3.3	Área de Cobertura	117
4.3.4	Metodología de las mediciones de cobertura y calidad	118
4.3.5	Herramientas y métodos de medición	119
4.4	Análisis y presentación de resultados	120
4.4.1	Niveles de cobertura y calidad ambiente Outdoor	120
4.4.2	Niveles de cobertura y calidad ambiente indoor	123
4.5	Estadísticas de eventos de llamadas	144
4.5.1	Ambiente Indoor	144
4.5.2	Ambiente Outdoor.....	145
5.	Capítulo V. Diseño de la solución IBS	147
5.1	Introducción	147
5.2	Descripción de equipos.....	147

5.2.1	Esquema de la solución.....	148
5.2.2	Equipos a utilizar	148
5.2.3	Nodo B o estación base.....	149
5.2.4	Elementos pasivos.....	149
5.2.5	Antenas	149
5.2.6	Ubicación del Nodo B	151
5.3	Diseño Indoor.....	151
5.3.1	Ubicación de RRU's.....	151
5.3.2	Distribución de pisos.....	151
5.3.3	Distribución de antenas en el campus	152
5.3.4	Ubicación de antenas indoor	156
5.3.5	Diseño Unifilar	165
5.3.6	Link Budget.....	176
5.3.7	Predicciones de cobertura Indoor	187
5.4	Diseño outdoor.....	197
5.4.1	Ubicación de sectores	197
5.4.2	Vista satelital	199
5.4.3	Configuración RF y predicciones de cobertura outdoor.....	200
5.5	Dimensionamiento de tráfico	202
5.5.1	Unidad de medición de tráfico	202
5.5.2	Canales tecnología Umts.....	203
5.5.3	Grado de servicio.....	203
5.5.4	Tabla Erlang B.....	203
5.5.5	Cálculo de capacidad solución IBS campus Udlapark.....	205
5.6	Análisis costo beneficio.....	206
6.	Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones	209
6.1	Conclusiones.....	209
6.2	Recomendaciones	210
	REFERENCIAS	212
	ANEXOS	215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operadoras del servicio móvil	8
Tabla 2. Fechas Importantes.....	12
Tabla 3. Distribución Bandas de frecuencia por operadora 850Mhz	13
Tabla 4. Distribución Bandas de frecuencia por operadora 1900Mhz	14
Tabla 5. Líneas activas por operador vs tecnología	17
Tabla 6. Evolución de los sistemas móviles	26
Tabla 7. Clase de QoS	54
Tabla 8. Comparación entre Femtocelda y Picocelda	71
Tabla 9. Perdidas Cable Coaxial	75
Tabla 10. Perdidas por número de puertos	77
Tabla 11. Comparación sistemas DAS.....	81
Tabla 12. Valores promedio de atenuación interior	87
Tabla 13. Valores promedio de atenuación exterior	103
Tabla 14. Valores coeficientes	108
Tabla 15. Información preliminar Udlapark.....	112
Tabla 16. Protocolo de pruebas	119
Tabla 17. Eventos indoor	144
Tabla 18. Eventos outdoor	145
Tabla 19. Porcentaje de eventos.....	145
Tabla 20. Distribución sectores	152
Tabla 21. Distribución antenas sector 1	152
Tabla 22. Distribución antenas sector 2	153
Tabla 23. Distribución antenas sector 3	154
Tabla 24. Cálculo de Link budget - sector 1	177
Tabla 25. Cálculo de Link budget - sector 2	179
Tabla 26. Cálculo de Link budget - sector 3	182
Tabla 27. Configuración por sector	200
Tabla 28. Objetivos específicos.....	202
Tabla 29. Erlang B.....	204
Tabla 30. Grado de servicio	206
Tabla 31. Costo proyecto	207

Tabla 32. Beneficio proyecto.....	207
-----------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento de Abonado.....	1
Figura 2. Organismos de Regulación	3
Figura 3. Crecimiento de Líneas Activas 2014-2015.....	15
Figura 4. Distribución del mercado de Telefonía Móvil.....	16
Figura 5. Número de Radiobases a nivel nacional CONECEL S.A	18
Figura 6. Número de Radiobases a nivel nacional OTECEL S.A.....	19
Figura 7. Número de Radiobases a nivel nacional CNT EP	20
Figura 8. Evolución 2G hacia 3G.....	23
Figura 9. Tasas de velocidad	28
Figura 10. Asignación de Frecuencias	29
Figura 11. Tecnología UMTS	31
Figura 12. Servicios tecnología UMTS	32
Figura 13. Arquitectura red UMTS.....	33
Figura 14. Arquitectura UTRAN.....	35
Figura 15. Equipo terminal usuario.....	36
Figura 16. Interfaces de red UMTS	39
Figura 17. Portadora WCDMA.....	40
Figura 18. Método de acceso FDD.....	41
Figura 19. Método de acceso TDD.....	41
Figura 20. Procesamiento señal WCDMA.....	42
Figura 21. Codec vs Bit Rate.....	43
Figura 22. Codificación de la señal WCDMA.....	44
Figura 23. Interleaving de bits	45
Figura 24. Códigos de Aleatorización.....	46
Figura 25. Tipos de modulación	47
Figura 26. Canales interfaz WCDMA	48
Figura 27. Elementos Canal Físico	50
Figura 28. Tipos de Canales Lógicos	51
Figura 29. Tipos de Canales de Transporte	52
Figura 30. Tipos de aplicaciones QoS.....	53

Figura 31. Softer Handover	58
Figura 32. Soft Handover	59
Figura 33. Hard Handover	59
Figura 34. BBU	64
Figura 35. RRU	65
Figura 36. Gabinete o shelter	65
Figura 37. Cobertura Macrocelda.....	67
Figura 38. Cobertura Microcelda	68
Figura 39. Cobertura Repetidor	69
Figura 40. Cobertura Picocelda.....	70
Figura 41. Funcionamiento Femtocelda	71
Figura 42. Elementos DAS	73
Figura 43. Elementos DAS Pasivo	74
Figura 44. Cable Coaxial.....	75
Figura 45. Tipos de splitters	76
Figura 46. Atenuador.....	77
Figura 47. Acoplador	78
Figura 48. Tipos de Conectores	79
Figura 49. Elementos DAS Activo	80
Figura 50. Elementos DAS Hibrido.....	81
Figura 51. Área de cobertura.....	83
Figura 52. Antena Omnidireccional	83
Figura 53. Antena Panel.....	84
Figura 54. Tipos de Polarización	85
Figura 55. Ancho de haz	85
Figura 56. Patrones de directividad.....	86
Figura 57. Cobertura Outdoor	90
Figura 58. Monopolo	91
Figura 59. Torre.....	92
Figura 60. Torreta.....	93
Figura 61. Mástil.....	94
Figura 62. Soporte en fachada	94

Figura 63. Antena Sectorizada	96
Figura 64. Inclínación o tilt.....	97
Figura 65. Tilt mecánico	98
Figura 66. Tilt eléctrico	98
Figura 67. Azimut	99
Figura 68. Reflexión de la seña.....	100
Figura 69. Difracción de la seña.....	101
Figura 70. Dispersión de la seña.....	101
Figura 71. Refracción de la seña.....	102
Figura 72. Intermodulación.....	104
Figura 73. Interferencia inter-símbolo.....	105
Figura 74. Factores encontrados en la comunicación	105
Figura 75. Tipos de morfología.....	107
Figura 76. Ubicación satelital Udlapark.....	113
Figura 77. Ubicación Geográfica	114
Figura 78. Campus Udlapark.....	115
Figura 79. Obstrucciones aledañas al Campus.....	115
Figura 80. Equipos Drive Test.....	117
Figura 81. Ruta de pruebas.....	120
Figura 82. Niveles cobertura outdoor	121
Figura 83. Niveles calidad outdoor	122
Figura 84. Niveles de cobertura piso 5.....	124
Figura 85. Niveles de calidad piso 5.....	125
Figura 86. Niveles de cobertura piso 4.....	126
Figura 87. Niveles de calidad piso 4.....	127
Figura 88. Niveles de cobertura piso 3.....	128
Figura 89. Niveles de calidad piso 3.....	129
Figura 90. Niveles de cobertura piso 2.....	130
Figura 91. Niveles de calidad piso 2.....	131
Figura 92. Niveles de cobertura piso 1	132
Figura 93. Niveles de calidad piso 1.....	133
Figura 94. Niveles de cobertura planta baja.....	134

Figura 95. Niveles de calidad planta baja.....	135
Figura 96. Niveles de cobertura subsuelo 1	136
Figura 97. Niveles de calidad subsuelo 1	137
Figura 98. Niveles de cobertura subsuelo 2	138
Figura 99. Niveles de calidad subsuelo 2	139
Figura 100. Niveles de cobertura subsuelo 3	140
Figura 101. Niveles de calidad subsuelo 3.....	141
Figura 102. Niveles de cobertura subsuelo 4	142
Figura 103. Niveles de calidad subsuelo 4	143
Figura 104. Esquema solución	148
Figura 105. Modelo antena indoor.....	150
Figura 106. Modelo antena panel.....	150
Figura 107. Ubicación nodo B	151
Figura 108. Fotomontaje piso 5.....	156
Figura 109. Fotomontaje piso 4.....	157
Figura 110. Fotomontaje piso 3.....	158
Figura 111. Fotomontaje piso 2.....	159
Figura 112. Fotomontaje piso 1	160
Figura 113. Fotomontaje planta baja.....	161
Figura 114. Fotomontaje subsuelo 1	162
Figura 115. Fotomontaje subsuelo 2	163
Figura 116. Fotomontaje subsuelo 3	164
Figura 117. Fotomontaje subsuelo 4	165
Figura 118. Diseño unifilar piso 5	166
Figura 119. Diseño unifilar piso 4	167
Figura 120. Diseño unifilar piso 3	168
Figura 121. Diseño unifilar piso 2	169
Figura 122. Diseño unifilar piso 1	170
Figura 123. Diseño unifilar planta baja	171
Figura 124. Diseño unifilar subsuelo 1	172
Figura 125. Diseño unifilar subsuelo 2	173
Figura 126. Diseño unifilar subsuelo 3	174

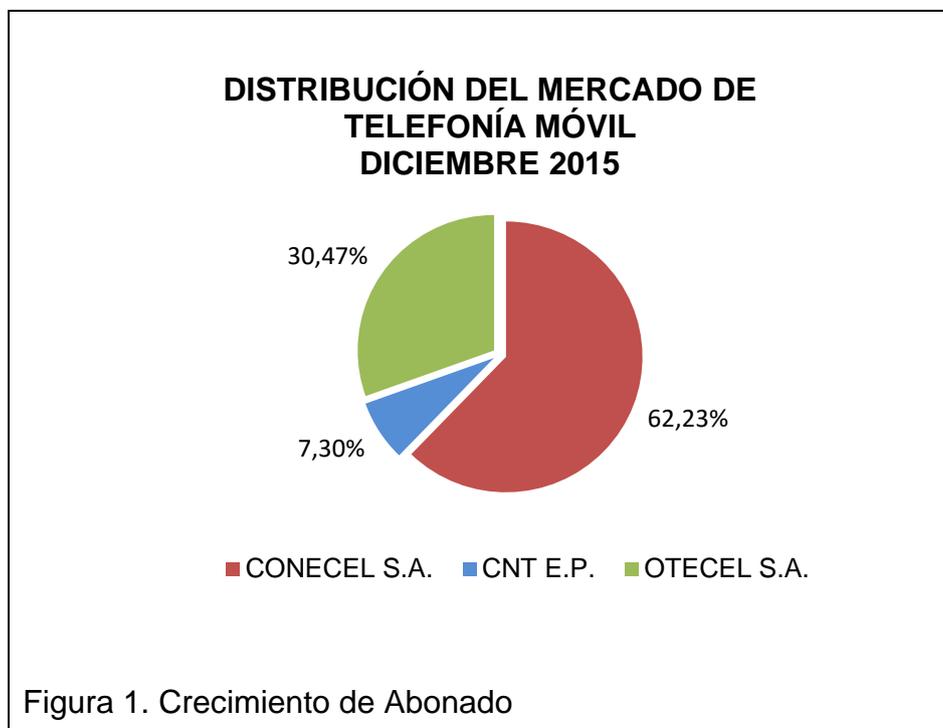
Figura 127. Diseño unifilar subsuelo 4	175
Figura 128. Predicción de cobertura piso 5	187
Figura 129. Predicción de cobertura piso 4	188
Figura 130. Predicción de cobertura piso 3	189
Figura 131. Predicción de cobertura piso 2	190
Figura 132. Predicción de cobertura piso 1	191
Figura 133. Predicción de cobertura planta baja	192
Figura 134. Predicción de cobertura subsuelo 1	193
Figura 135. Predicción de cobertura subsuelo 2	194
Figura 136. Predicción de cobertura subsuelo 3	195
Figura 137. Predicción de cobertura subsuelo 4	196
Figura 138. Vista sector A	197
Figura 139. Vista sector B	198
Figura 140. Vista sector C	199
Figura 141. Objetivos de cobertura vista satelital.....	200
Figura 142. Predicción de cobertura	201
Figura 143. Predicción de cobertura google earth.....	201

1. Capítulo I. Origen de la telefonía celular en el Ecuador

1.1 Introducción

La telefonía celular a nivel mundial ha ido evolucionando a pasos agigantados ofreciendo grandes beneficios a los usuarios que disponen de este servicio. Entre los beneficios más relevantes tenemos: bajo costo de comunicación, aplicativos multiservicios, acceso fácil al internet, movilidad, roaming mundial, entre otros.

En el Ecuador, desde el año 2009 hasta la actualidad se ha incrementado la demanda de usuarios en las distintas empresas que proveen servicio de telefonía celular a nivel nacional. Conecel (Claro) es la empresa con mayor porcentaje de abonados 62.23%, seguida de Otecel (Movistar) 30.47% y con el menor porcentaje de abonados CNT E.P 7.30%.



En la actualidad en el Ecuador las operadoras de telefonía celular se encuentran implementando los servicios de tercera generación con el propósito de generar nuevos servicios a los habitantes en todo el territorio nacional teniendo en consideración nuevas inversiones en la infraestructura de la red que permitan el acceso a servicios 3G.

El desarrollo del presente capítulo tiene como propósito dar a conocer el estado actual del servicio de telefonía celular en el Ecuador considerando aspectos como: marco regulatorio, distribución de bandas de frecuencia, demanda del servicio por abonado, infraestructura de redes UMTS, nuevas tecnologías “LTE” y evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.

1.1.2 Marco regulatorio de las telecomunicaciones en el Ecuador

El marco regulatorio del sector de las telecomunicaciones se fundamenta sobre cuatro pilares estos son: competencia, estabilidad jurídica, convergencia y universalidad de manera que se pueda desarrollar actividades de telecomunicaciones con criterios de gestión empresarial y beneficio socio-económico.

El desarrollo de nuevas tecnologías y el constante requerimiento de obtener un servicio de calidad demanda un constante control y actualización del conjunto de normas, leyes, reglamentos, acuerdos internacionales, decretos ejecutivos y resoluciones. Esto permite obtener un servicio de calidad asegurando el acceso a los servicios de telecomunicaciones, generando un manejo y control permanente para hacer posible el uso efectivo, eficiente y pacífico de los recursos limitados.

Por mandato de la Ley para la Transformación Económica del Ecuador en el año 2000 el país entró a la libre competencia de los servicios de telecomunicaciones, plasmada en la reforma del artículo 38 de la Ley de Telecomunicaciones, dando inicio a un proceso en el cual se encuentran

involucrados varios organismos en el sector, con la responsabilidad de llevarlo adelante, como una oportunidad de proyección al desarrollo dentro del mundo moderno.

1.2 Organismos de regulación y control

Los organismos de regulación y control en el sector de las telecomunicaciones tienen como finalidad controlar y corregir los servicios prestados relacionados con la explotación del espectro electromagnético así como los servicios de telecomunicaciones derivados del mismo con el propósito de garantizar equidad de su uso.

Las telecomunicaciones se deben normalizar ya que es una actividad comercial y que desarrolla una actividad de interés general y que corresponde al núcleo básico para el desarrollo económico, social, cultural y político del Ecuador y de sus ciudadanos.

En el Ecuador las entidades regulatorias estaban constituidas por el MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información), CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) y SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) y la SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones).

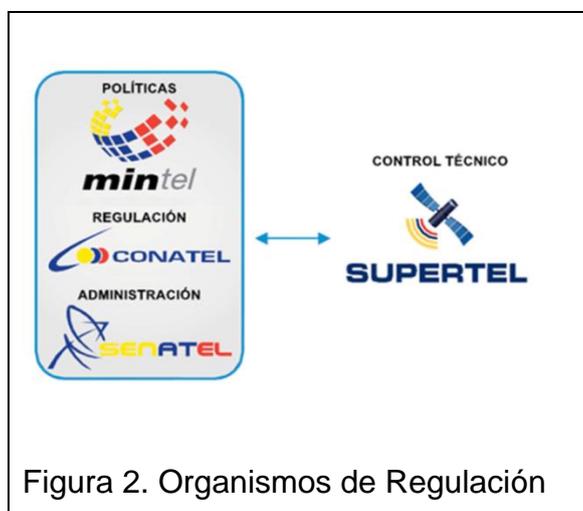


Figura 2. Organismos de Regulación

Sin embargo a partir del 18 de Febrero del 2015 entro en vigencia la ley Orgánica de Telecomunicaciones en la cual se procedió a la fusión de la Superintendencia de Telecomunicaciones (Supertel), la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (Senatel) y el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (Conatel), con el objetivo de conformar la nueva Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel), institución que integrará las funciones de administración, regulación y control de las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico.

1.2.1 Arcotel

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones se creó el 18 de Febrero del 2015 y está adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

Es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes.

Entre sus principales tareas la Agencia de Regulación y Control de las telecomunicaciones posee:

- Emitir las regulaciones, normas técnicas, planes técnicos y demás actos que sean necesarios en el ejercicio de sus competencias, para que la provisión de los servicios de telecomunicaciones cumplan con lo dispuesto en la Constitución de la República y los objetivos y principios previstos en esta Ley, de conformidad con las políticas que dicte el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información
- Elaborar, aprobar, modificar y actualizar el Plan Nacional de Frecuencias.

- Elaborar las propuestas de valoración económica para la asignación y uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico, tarifas por uso de frecuencias y derechos por otorgamiento y renovación de títulos habilitantes.
- Ejercer el control técnico de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes, tales como los de audio y video por suscripción.
- Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico.
- Regular y controlar las tarifas por la prestación de los servicios de telecomunicaciones de conformidad con esta Ley. (Arcotel, 2015)

1.2.2 Mintel

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información fue creado mediante el decreto ejecutivo N°8 firmado por el presidente de la Republica, Eco. Rafael Correa, el 13 de agosto del 2009.

Fue creado con el fin de coordinar acciones de apoyo y asesoría para garantizar el acceso igualitario a los servicios que abarcan el área de telecomunicaciones para de esta forma asegurar el avance hacia la Sociedad de la Información y así el buen vivir de la población Ecuatoriana.

1.2.3 Conatel

El concejo Nacional de Telecomunicaciones fue el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el Ecuador.

La Conatel es el organismo encargado de hacer cumplir las políticas de Estado, entregar concesiones y permisos habilitantes para la prestación de servicios de telecomunicaciones y utilización del espectro radioeléctrico así como también emitir las normas técnicas para la operación y prestación de los servicios de telecomunicaciones por parte de las empresas públicas y privadas.

1.2.4 Senatel

La Secretario Nacional de Telecomunicaciones es el ente encargado de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país.

La Senatel es el organismo encargado de promover el desarrollo armónico del sector de las telecomunicaciones, radio, televisión y las tecnologías de la información y comunicación (TIC), mediante la administración y regulación eficiente del espectro radioeléctrico y los servicios.

1.2.5 Supertel

La Superintendencia de Telecomunicaciones es el único ente autónomo encargado del control de las telecomunicaciones del país, en defensa de los intereses del estado y del usuario de los servicios de telecomunicaciones.

Entre sus principales funciones está:

- Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico.
- Controlar las actividades técnicas de los operadores de los servicios de telecomunicaciones.
- Controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios aprobados por el CONATEL.
- Supervisar el cumplimiento de las concesiones y permisos otorgados para la explotación del servicio de telecomunicaciones.
- Administrar y controlar las bandas del espectro radioeléctrico destinadas por el Estado para radiodifusión y televisión
- Someter a consideración del CONARTEL los proyectos de reglamentos, del plan nacional de distribución de frecuencias para radiodifusión y televisión, del presupuesto del Consejo, de tarifas, de convenios o de resoluciones en general con sujeción a esta Ley. (Supertel, 2008)

1.3 Operadoras de telefonía móvil en el Ecuador

El 11 de Mayo del 1994 se inauguró el servicio de telefonía celular en el país, desde entonces el escenario de las telecomunicaciones móviles en el Ecuador ha tenido cambios positivos permitiéndonos tener varios servicios en un solo dispositivo entre los más relevantes tenemos: SMS, MMS, internet móvil, correo electrónico, televisión móvil y servicio de voz gracias al rápido desarrollo tecnológico mundial que nos trae consigo nuevas posibilidades de comunicación.

En la actualidad, mantener una conversación mediante un teléfono celular se ha convertido en una acción diaria sin importar la ubicación geográfica del usuario y permitiendo dotar de comunicación hasta en los sectores más remotos del planeta.

En el Ecuador tanto los habitantes de sectores rurales, urbanos y periferias gozan de la telefonía móvil permitiendo acortar distancias y consigo trayendo grandes beneficios como: mayor productividad diaria, comunicación mundial, fuentes de trabajo convirtiéndose en algo de índole cultural que puede actuar como factor de integración social y trayendo un desarrollo armónico en el país.

La utilización de un dispositivo móvil es un bien tecnológico y de acceso a las Tecnologías de la Comunicación e Información (TIC), permitiendo el desarrollo profesional, laboral e intelectual de las comunidades.

La tecnología celular se encuentra en constante evolución, ofreciendo nuevos servicios con un mayor rendimiento superando las limitantes de transmisión de datos, video, fotos y audio.

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, junto a sus entidades adscritas y relacionadas, continúa impulsando proyectos para

difundir y hacer más accesibles los servicios de telefonía en todas las provincias del Ecuador, con la finalidad de ser un país solidario e inclusivo.

1.3.1 Operadores Móviles

Actualmente existen tres empresas que prestan servicios de telefonía móvil en el Ecuador, el servicio se desarrolla bajo un régimen de libre competencia, con cobertura nacional tanto en áreas urbanas como rurales marginales.

Tabla 1. Operadoras del servicio móvil

OPERADORA	TIPO DE SERVICIO	ZONA DE COBERTURA	FECHA DEL CONTRATO CONCESIÓN
CONECEL S.A. (CLARO)	Concesión de: <ul style="list-style-type: none"> • Servicio de voz y datos móviles. • Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional • Asignación de espectro en las Bandas de 850Mhz, 1700Mhz y 1900Mhz. • Implementación y uso comercial de tecnologías 2G, 3G y 4G (LTE). 	Nacional	26-Ago-2008
OTECEL S.A. (MOVISTAR)	Concesión de: <ul style="list-style-type: none"> • Servicio de voz y datos móviles. • Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional • Asignación de espectro en las Bandas de 850Mhz, 1700Mhz y 1900Mhz. • Implementación y uso comercial de tecnologías 2G, 3G y 4G (LTE). 	Nacional	20-Nov- 2008

<p style="text-align: center;">CNT EP</p>	<p>Concesión de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicio de voz y datos móviles. • Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional • Asignación de espectro en las Banda de 450Mhz, 700Mhz y 1900Mhz. • Implementación y uso comercial de tecnologías CDMA, 3G y 4G (LTE). 	<p style="text-align: center;">Nacional</p>	<p style="text-align: center;">03-Abril-2003</p>
--	---	---	--

La concesión para la prestación de los servicios es otorgada por el ente regulador ARCOTEL, previo al mutuo acuerdo y con el conocimiento respectivo de la calidad y el tipo de servicio que deberá dotar la operadora a sus usuarios.

La firma de la concesión describe los tipos de tecnología que van a disponer en su red e incluso se encuentran las mejoras tecnológicas que deben realizar para ofrecer los servicios con la mayor calidad y operatividad posible.

1.3.2 Conecel S.A

El consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones (CONECEL S.A) con su nombre comercial Claro, pertenece a la empresa multinacional mexicana denominada América Móvil, adquirió la concesión para prestar servicios de telefonía móvil el 26 de Agosto del 2008.

Inició sus operaciones en el año de 1994 con una tecnología analógica basada en el estándar de primera generación (1G) AMPS (Advanced Mobile Phone System) permitiendo únicamente comunicaciones de voz a distancias cortas.

En el año de 1998 se incorpora a su infraestructura celular la tecnología digital de segunda generación (2G), denominada D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System), basada en la técnica de acceso múltiple por división de tiempo

(TDMA), presentando una red más robusta para servicios de voz brindando mayor seguridad y calidad.

En el año de 2003 su infraestructura celular migra hacia la tecnología mundial GSM (Global System for Mobile communications) incluyendo tecnologías de datos GPRS (General Packet Radio Services) y EDGE (Enhanced Data rates for GSM of Evolution) permitiendo el uso de mensajes multimedia (MMS) y navegación en portales web.

La tecnología 3G (UMTS), operando en la banda de frecuencias de 850Mhz es la nueva tecnología que se encuentra instalada permitiendo tener grandes beneficios de comunicación a mayores velocidades.

A partir del 28 de Julio del 2015, en Ecuador se encuentra en uso comercial la red móvil 4G (LTE), sobresaliendo de las demás tecnologías por su alta capacidad de datos llegando a velocidades promedio de 100Mbps.

En la actualidad, CONECEL S.A. trabaja con las tecnologías GSM (2G), UMTS (3G) y HSPA+ (3.5G) y LTE (4G).

1.3.3 Otecel S.A

El consorcio Telefónica Móviles de Ecuador (Movistar), es una empresa que provee de servicio de telefonía móvil en Ecuador, subsidiaria del grupo Telefónica de España.

Inició su operación el 20 de noviembre del 2008, posterior de haber finalizado la concesión para prestar el servicio de telefonía móvil, iniciada el 29 de noviembre de 1993 con el nombre de Cellular Power.

Sale al mercado con la red analógica AMPS. Esta tecnología corresponde a la primera generación (1G) y al ser muy primitiva no permite identificación de llamadas ni sesiones de datos.

En el año de 1997 con el nombre comercial Bellsouth, lanza su primera red digital TDMA, ofreciendo el servicio de identificación de llamadas el cual promete confidencialidad a sus llamadas utilizando el método de codificación en paquetes de datos

A finales del año 2002 implementa la tecnología de acceso múltiple por división de códigos (CDMA), ofreciendo dispositivos móviles de menor tamaño y permitiendo descongestionar la red saturada TDMA.

En el año 2005 inicia sus operaciones en la tecnología GSM, operando en la banda de los 850Mhz permitiendo nuevos servicios (voz y datos).

A finales del mes de mayo del 2015 Movistar cuenta con la nueva tecnología de cuarta generación (LTE), permitiendo a los usuarios una mejor experiencia de navegación móvil.

En la actualidad, OTECEL S.A. trabaja con las tecnologías GSM/GPRS/EDGE, UMTS y HSPA+ y LTE (4G).

1.3.4 CNT EP (Ex TELECSA S.A)

La compañía de Telecomunicaciones Móviles del Ecuador (TELECSA S.A.), cuyo nombre comercial es Alegro, fue creada por Andinatel S.A. y Pacifictel S.A. para prestar el servicio de telefonía móvil.

En la actualidad la compañía posee el nombre de Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) y pertenece al estado Ecuatoriano. La

concesión para los servicios de telefonía móvil fue asignada el 3 de Abril del 2003 con una duración de 15 años.

Inicia el servicio móvil a nivel nacional con la tecnología CDMA 1x EV-DO (Evolution Data Optimized or Data Only) en la banda de 1900 MHz.

En el año 2007 como estrategia de negocio TELECSA ofrece servicios GSM sobre la red de Movistar, convirtiéndose en un Operador Móvil Virtual (OMV) disminuyendo los costos de montar una red propia y con la perspectiva de que la red GSM sería relevada por redes de tercera generación.

El Operador Móvil Virtual es una compañía de telefonía móvil que carece de una red propia de radio al no tener una concesión de espectro de frecuencia, para brindar el servicio debe recurrir a la cobertura de otras empresas que proveen del servicio.

En la actualidad, CNT EP trabaja con las tecnologías UMTS y HSPA+ y LTE (4G).

1.3.5 Datos Relevantes

En la siguiente tabla se encuentran las fechas con mayor relevancia de los acontecimientos de la telefonía móvil en el Ecuador.

Tabla 2. Fechas Importantes

AÑO	ACONTECIMIENTO
1994	Empieza la operación de las compañías. Dos firmas telefónicas inauguran el mercado nacional: Conecel con la marca Porta y Otecel bajo Cellular Power.
1996	Cellular Power cambió de nombre a BellSouth
1997	Conecel gana terreno. Porta ganó más clientes por primera vez en el mercado nacional. En ese año Porta llegó a los 75.000 usuarios, mientras que BellSouth tenía 43.000. La mayor cobertura y la adopción de nueva tecnología le dieron más clientes.

2000	Conecel se vende. En ese año Conecel pasó a ser empresa subsidiaria de la mexicana América Móvil. Tres años después la operadora estatal Alegro ingresa al mercado ecuatoriano, pero no tiene éxito debido a su poca cobertura y al uso de tecnología CDMA.
2005	Telefónica en Ecuador. La firma española Telefónica Movistar compra Otecel y esta deja de operar con la marca BellSouth. En el 2008 se renegociaron los contratos con Otecel y Conecel. En el 2011 Porta cambia de marca para operar como Claro.
2014	Negociación 4G. El Estado llama a licitación de más espectro para desplegar Red 4G con telefónicas privadas. También se crea un reglamento para el ingreso de nuevas empresas bajo la modalidad Operador Móvil Virtual.
2015	Se inicia el despliegue de la tecnología LTE en las distintas provincias del Ecuador.

1.4 Plan nacional de frecuencias

El sector de las Telecomunicaciones para el beneficio de la sociedad y teniendo en consideración que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado y de relevancia para el suministro de los servicios inalámbricos y constituye un recurso esencial para el Estado ecuatoriano se ha considerado formar un Plan Nacional de Frecuencia (PNF), en el cual se establece la distribución del espectro radioeléctrico del país, acogiéndose a las recomendaciones propuestas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones, organizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

El Concejo Nacional de Telecomunicaciones, el 15 de Agosto del 2012 realizó la última modificación del Plan de Frecuencias Nacional aprobado por el Ing. Jaime Guerrero Ruiz, el cual se encuentra vigente hasta la actualidad.

Tabla 3. Distribución Bandas de frecuencia por operadora 850Mhz

BANDA 850 MHz			
	BANDAS	MHz	OPERADORA
UPLINK (MHz)	A1	824-835	CONECEL S.A.
	B1	835-845	OTECCEL S.A.
	A2	845-846.5	CONECEL S.A.

	B2	846.5-849	OTECEL S.A.
DOWNLINK(MHz)	A1'	869-880	CONECEL S.A.
	B1'	880-890	OTECEL S.A.
	A2'	890-891.5	CONECEL S.A.
	B2'	891.5-894	OTECEL S.A.

Para la banda de 1900 MHz se tiene el siguiente rango de uso:

Tabla 4. Distribución Bandas de frecuencia por operadora 1900Mhz

BANDA 1900 MHz			
	BANDAS	MHz	OPERADORA
UPLINK (MHz)	A	850-1865	
	D	1865-1870	OTECEL S.A.
	B	1870-1885	
	E	1885-1890	CONECEL S.A.
	F	1890-1895	CNT EP
	C	1895-1910	CNT EP
DOWNLINK(MHz)	A'	1930-1945	
	D'	1945-1950	OTECEL S.A.
	B'	1950-1965	
	E'	1965-1970	CONECEL S.A.
	F'	1970-1975	CNT EP
	C'	1975-1990	CNT EP

1.5 Número de líneas activas por operador Móvil

El mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador ha venido creciendo de forma periódica y constante, gracias a los avances tecnológicos y a la creación de nuevas tecnologías las redes móviles en la actualidad son capaces de brindar varios servicios como comunicación de voz y acceso al mundo del internet.

El incremento del número de usuarios y la exigencia de un servicio de punta ha sido un ente fundamental para la implementación de nuevos servicios que en la actualidad se han convertido en una necesidad diaria para la sociedad. De esta manera la relación oferta-demanda en el ámbito de las telecomunicaciones ha impulsado su desarrollo y crecimiento considerando como una de las principales actividades e ingresos del país.

1.5.1 Suscriptores por Operador

Un indicador relevante para el éxito comercial en las telecomunicaciones móviles es el aumento del mercado de los suscriptores y el consumo que realizan de los servicios prestados por los mismos.

En la siguiente figura se puede apreciar el número total de líneas activas (abonados) por terminal de usuario (CONECEL S.A. - Claro), (OTECEL S.A. - Movistar) y (CNT EP), estadísticas correspondientes hasta Junio del 2015.

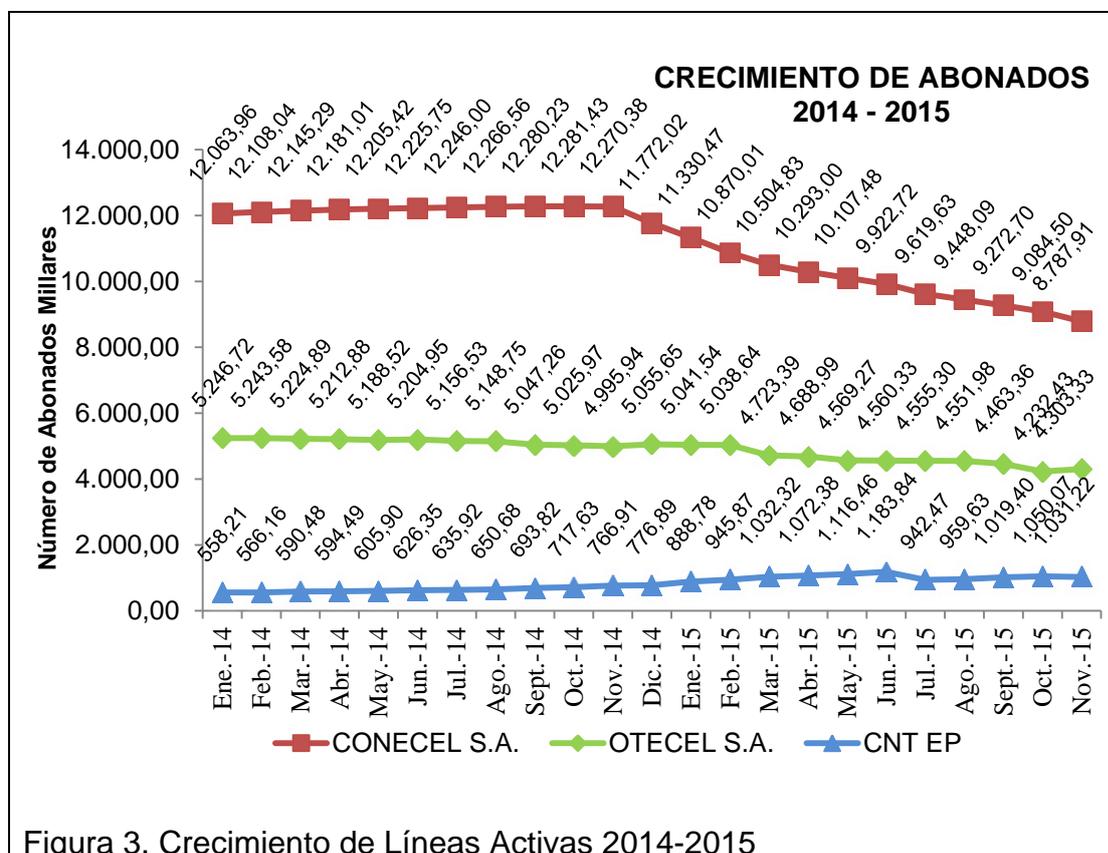
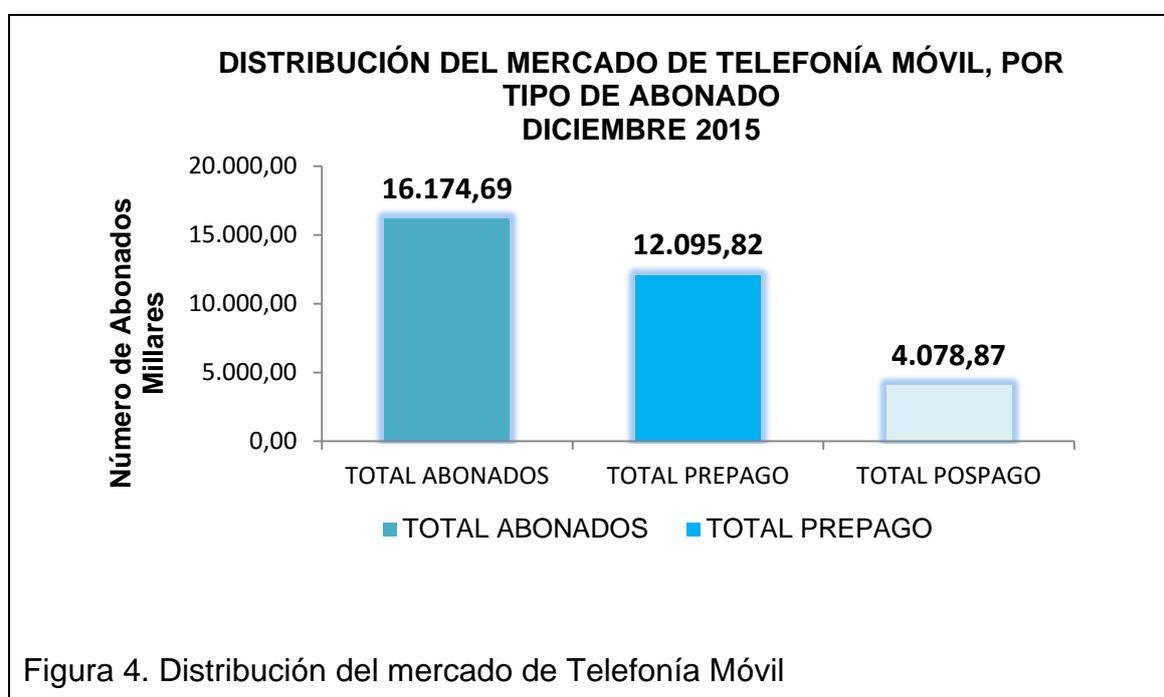


Figura 3. Crecimiento de Líneas Activas 2014-2015

El mercado de las telecomunicaciones móviles ha tenido un crecimiento paulatino durante los últimos dos años; sin embargo existe una diferencia considerable de número de usuarios entre las operadoras que actualmente se encuentran dotando del servicio de telefonía móvil en el Ecuador.

El mercado de telefonía móvil ecuatoriano se identifica por tener un uso considerable del método de pago prepago. Las líneas activas correspondientes a esta modalidad llegan a un número de 12.095.818, mientras que bajo la modalidad postpago llegan a un número de 4.078.868 a nivel nacional.



1.5.2 Tecnologías por Operador

En la actualidad en el campo de las telecomunicaciones móviles se tiene implementado cuatro plataformas de comunicación móvil las cuales prestan servicio de comunicación de voz y datos a nivel nacional considerando que la tecnología LTE se encuentra en etapa de despliegue.

En la siguiente tabla se detallan las líneas activas por operador y plataformas desplegadas desde Enero del 2014 hasta Noviembre del 2015.

Tabla 5. Líneas activas por operador vs tecnología

AÑO	CLARO (CONECEL S.A.)						MOVISTAR (OTECEL S.A.)						CNT EP						Total Líneas
	CDMA	GSM	UMTS	HSPA +	LTE	TOTAL	CDMA	GSM	UMTS	HSPA +	LTE	TOTAL	CDMA	GSM	UMTS	HSPA +	LTE	TOTAL	
1-ene.-14	0	10,310,310	1,629,482	124,168	0	12,063,960	0	4,818,105	347,797	80,817	0	5,246,719	78,082	243,864	119,789	116,162	310	558,207	17,868,886
1-feb.-14	0	10,341,475	1,642,202	124,363	0	12,108,040	0	4,808,957	351,461	83,163	0	5,243,581	77,966	244,414	119,007	124,298	476	566,161	17,917,782
1-mar.-14	0	10,369,827	1,651,362	124,104	0	12,145,293	0	4,781,171	359,490	84,233	0	5,224,894	78,629	247,159	119,989	143,876	822	590,475	17,960,662
1-abr.-14	0	10,397,234	1,660,266	123,507	0	12,181,007	0	4,766,106	360,582	86,191	0	5,212,879	72,068	245,841	120,940	154,224	1,420	594,493	17,988,379
1-may.-14	0	10,410,517	1,670,603	124,303	0	12,205,423	0	4,742,622	358,884	87,015	0	5,188,521	70,162	243,918	121,814	167,677	2,333	605,904	17,999,848
1-jun.-14	0	10,423,067	1,676,933	125,752	0	12,225,752	0	4,758,766	355,935	90,246	0	5,204,947	69,251	244,263	122,409	186,769	3,658	626,350	18,057,049
1-jul.-14	0	10,434,854	1,681,450	129,700	0	12,246,004	0	4,710,161	352,658	93,713	0	5,156,532	53,733	245,637	123,670	207,662	5,218	635,920	18,038,456
1-ago.-14	0	10,444,455	1,684,063	138,038	0	12,266,556	0	4,700,908	350,378	97,462	0	5,148,748	40,096	246,636	0	356,720	7,230	650,682	18,065,986
1-sep.-14	0	10,370,114	1,686,293	223,821	0	12,280,228	0	4,597,240	348,699	101,324	0	5,047,263	39,222	243,463	0	399,614	11,522	693,821	18,021,312
1-oct.-14	0	10,218,872	1,687,159	375,403	0	12,281,434	0	4,574,077	344,972	106,918	0	5,025,967	18,361	243,568	0	438,789	16,912	717,630	18,025,031
1-nov.-14	0	10,134,243	1,684,907	451,234	0	12,270,384	0	4,540,113	342,781	113,043	0	4,995,937	8,472	244,483	0	491,699	22,256	766,910	18,033,231
1-dic.-14	0	9,581,956	1,664,758	525,306	0	11,772,020	0	4,589,205	341,647	124,793	0	5,055,645	3,009	246,983	0	498,724	28,176	776,892	17,604,557
1-ene.-15	0	9,146,755	1,641,546	542,170	0	11,330,471	0	4,571,476	337,990	132,078	0	5,041,544	2,310	229,810	0	548,441	108,216	888,777	17,260,792
1-feb.-15	0	8,685,881	1,616,146	567,987	0	10,837,707	0	4,564,274	335,472	138,890	0	5,038,636	1,716	229,985	0	581,320	132,846	945,867	16,822,210
1-mar.-15	0	8,347,296	1,596,466	561,069	0	10,504,831	0	4,244,051	325,738	153,596	0	4,723,385	0	223,268	0	615,250	193,805	1,032,323	16,260,539
1-abr.-15	0	8,137,359	1,595,756	559,887	0	10,293,002	0	4,202,478	318,105	168,402	0	4,688,985	0	221,264	0	626,708	224,404	1,072,376	16,054,363
1-may.-15	0	7,867,450	1,594,391	645,636	0	10,107,477	0	4,077,090	309,061	146,570	36,551	4,569,272	0	221,691	0	638,789	255,981	1,116,461	15,793,210
1-jun.-15	0	7,721,787	1,569,091	631,840	0	9,922,718	0	4,063,644	301,183	151,320	44,179	4,560,326	0	221,929	0	678,424	283,486	1,183,839	15,666,883
1-jul.-15	0	7,507,427	1,592,522	519,676	0	9,619,625	0	4,055,726	291,551	150,919	57,106	4,555,302	0	221,730	0	411,989	308,750	942,469	15,117,396
1-ago.-15	0	7,439,699	1,529,088	479,307	0	9,448,094	0	4,003,445	328,679	127,403	92,449	4,551,976	0	221,564	0	413,897	324,167	959,628	14,959,698
1-sep.-15	0	7,324,458	1,506,883	441,363	0	9,272,704	0	3,900,735	331,079	104,097	127,450	4,463,361	0	234,000	0	332,718	452,685	1,019,403	14,755,468
1-oct.-15	0	7,225,301	1,441,047	312,157	105,991	8,978,505	0	3,648,796	333,836	127,633	122,163	4,232,428	0	234,839	0	311,560	503,670	1,050,069	14,261,002
1-nov.-15	0	7,048,699	1,346,691	256,123	136,398	8,651,513	0	3,816,931	191,763	123,354	171,282	4,303,330	0	236,775	0	302,476	491,968	1,031,219	13,986,062

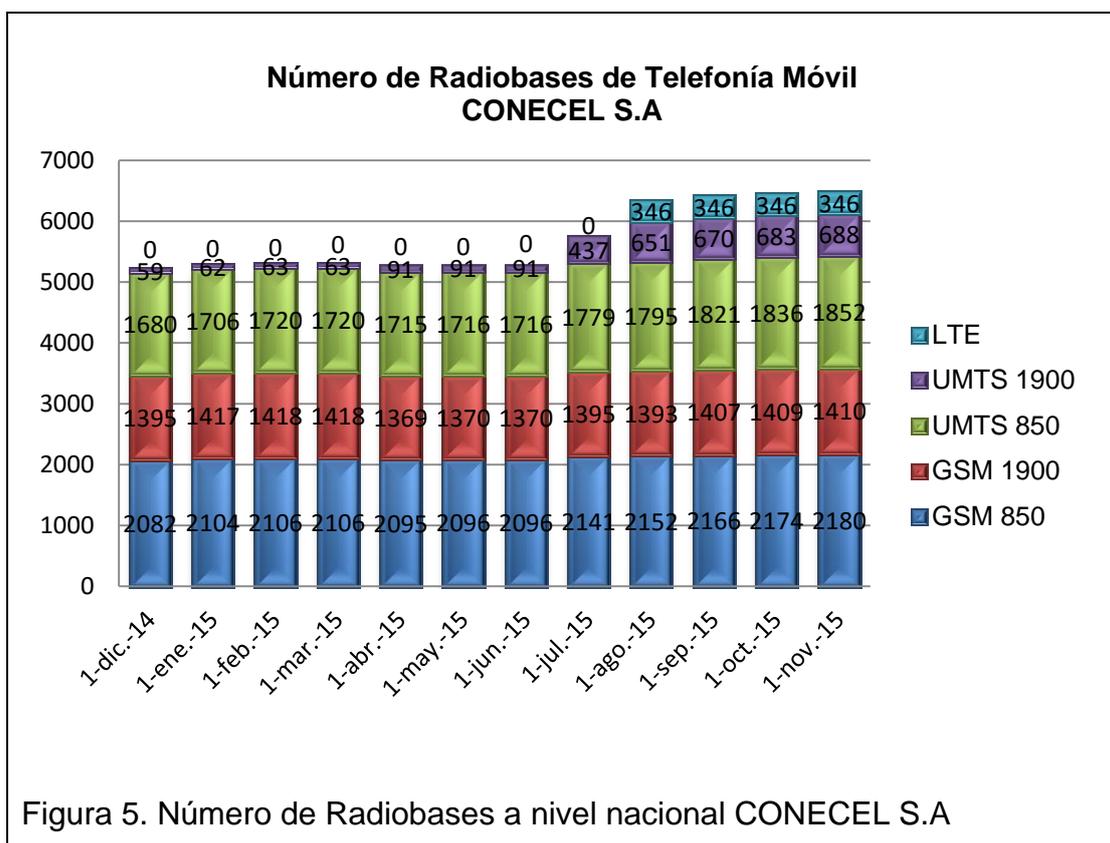
Como se puede apreciar en la tabla 5 a partir de Enero del 2014 la operadora CNT EP fue la pionera en ofrecer cobertura LTE en las principales ciudad del Ecuador Quito, Guayaquil y Cuenca, seguida de la operadora Movistar que puso en funcionamiento el servicio de cuarta generación en Mayo del 2015 en la ciudad de Quito.

1.6 Infraestructura Móvil instalada por operador

1.6.1 Conecel S.A.

De acuerdo a los datos proporcionados por el ente regulador ARCOTEL la empresa CONECEL S.A, cuenta con el mayor número de abonados de telefonía móvil sobre sus plataformas de comunicación.

Gracias a su rápido despliegue e implementación de nuevas radiobases CONECEL logra dotar de cobertura a la mayoría de zonas habitadas donde exista una demanda significativa de servicios móviles.

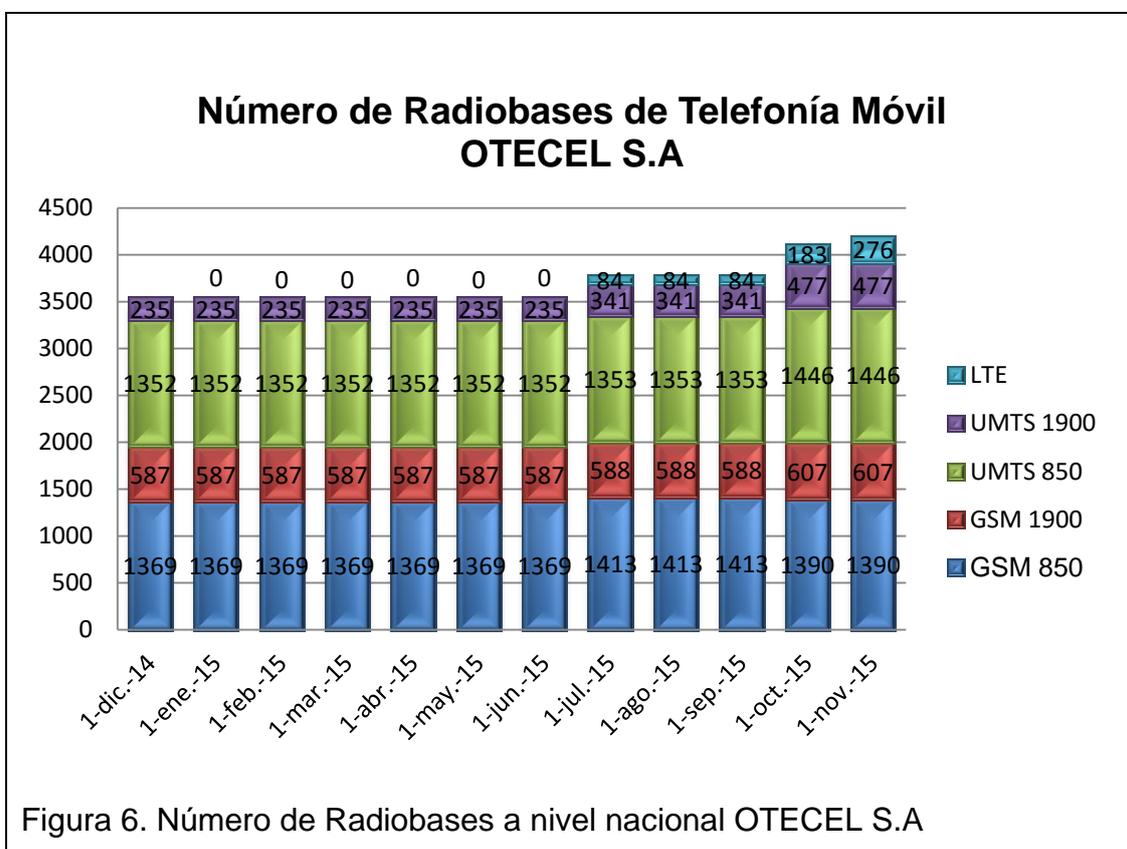


1.6.2 Otecel S.A.

OTECEL S.A se ubica como la segunda operadora con mayor penetración de usuarios a nivel nacional dotando de servicio móvil a sus abonados en las distintas tecnologías de acceso.

Se debe tener en consideración que OTECEL S.A al momento se encuentra en el despliegue de nuevos sitios de tecnología LTE en las principales provincias del Ecuador.

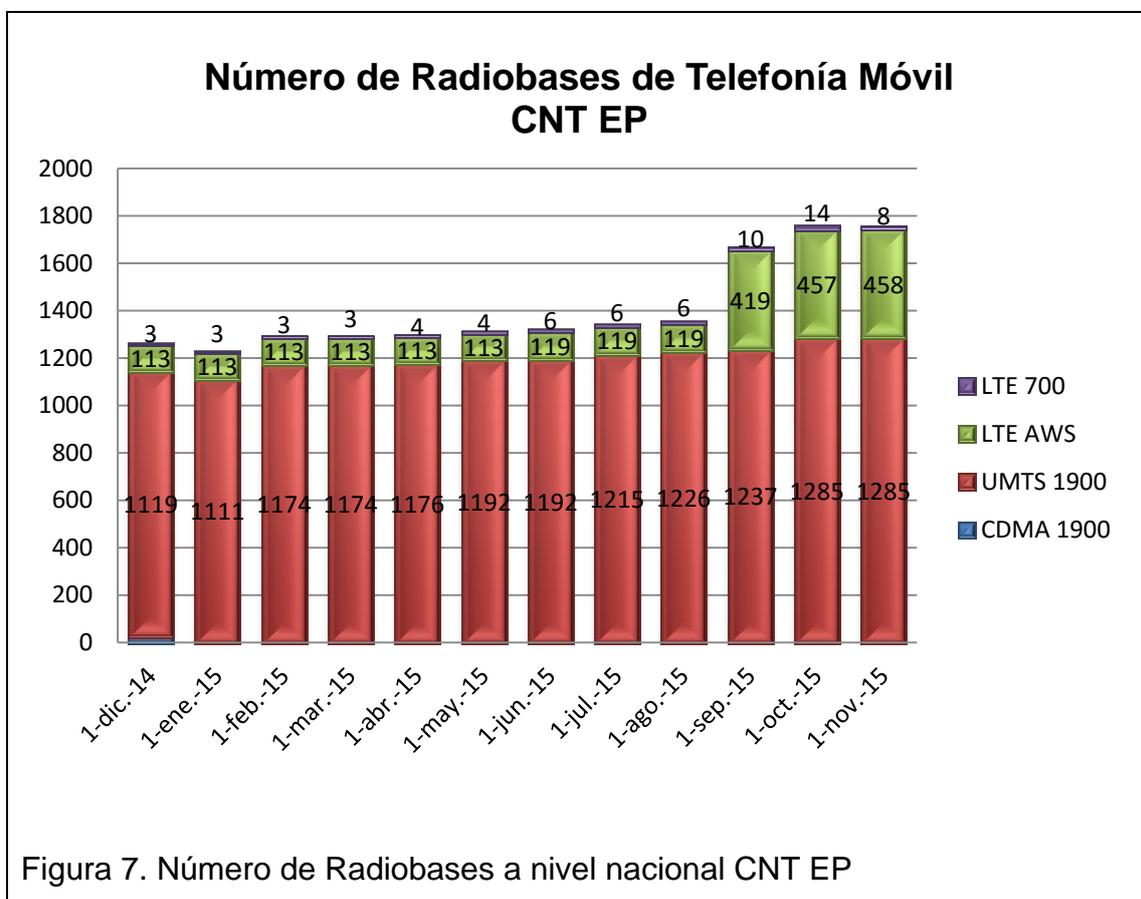
En la siguiente figura se indica el número de radiobases implementadas por tecnología hasta el mes de Noviembre del 2015.



1.6.3 CNP EP

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNP EP), se encuentra en el tercer lugar con el número total de abonados a nivel nacional. Se debe tener en

consideración que CNT EP fue la operadora pionera en la implementación y lanzamiento de la red LTE en el Ecuador.



1.7 Evolución de sistemas de comunicaciones móviles

1.7.1 Primera generación (1G)

La primera generación celular apareció entre los años 70's y 80's, teniendo una comunicación analógica, la cual maneja canales de radio analógicos y modulación en frecuencia.

Se caracterizó por ser totalmente analógica y únicamente para el servicio de voz, las estaciones celulares se encontraban a una distancia muy corta, tenía problemas de congestión ya que no contaba con una capacidad alta para

abonados y se basaba en el protocolo FDMA (Frequency división multiple Access).

Los sistemas de comunicaciones móviles de primera generación utilizan la tecnología de reutilización de frecuencia, adoptar la modulación analógica para señales de voz y proporcionar un canal de abonado con un ancho de banda entre 25Khz y 30Khz.

La empresa Sueca Ericsson realiza mejoras en el sistema de comunicación con el propósito de generar un mejor servicio, desarrollo un nuevo sistema NMT 900 que permitía tener un mayor número de abonados, movilidad y portabilidad.

Los principales sistemas de comunicaciones móviles desarrollados en la primera generación son el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System) para la región de EE.UU. y TACS (Total Access Communication System) en Europa y países de Asia.

1.7.2 Segunda generación

La segunda generación inicia en los años de 1990 como uno de los primeros sistemas digitales para telefonía móvil.

Originalmente fue desarrollado y destinado para ser utilizado solo en Europa sin embargo al ver que esta tecnología era atractiva para las comunicaciones móviles y robusta fue implementado en varios continentes.

Este sistema trajo consigo mejoras en la calidad de voz, cobertura y capacidad con el fin de soportar servicios de voz y datos a baja velocidad.

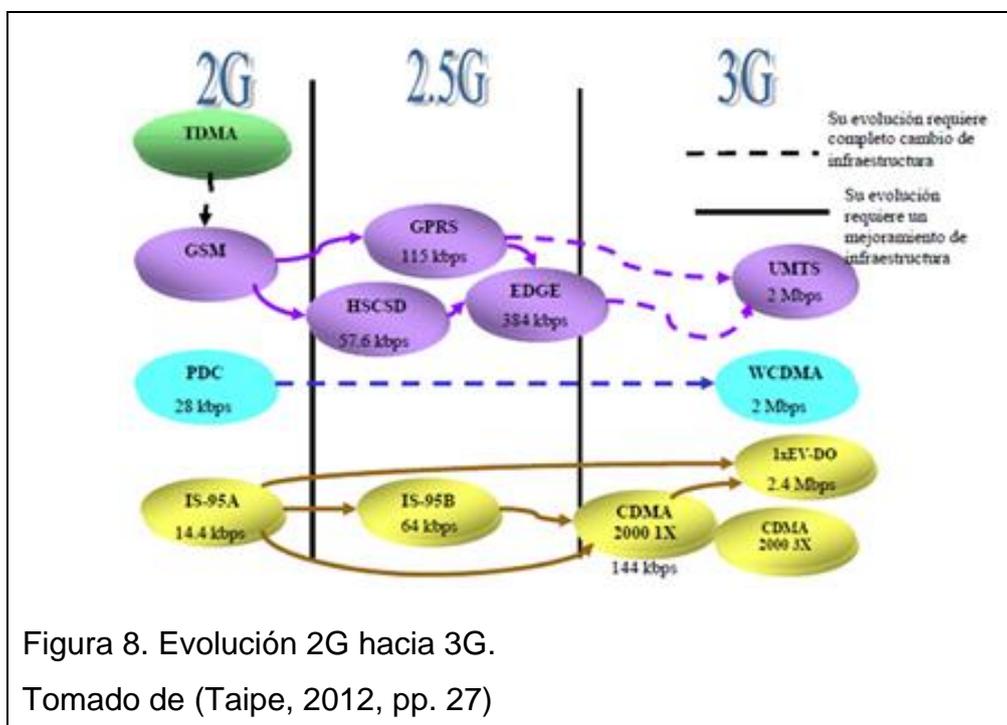
Los cuatro principales sistemas desarrollados en esta generación fueron:

- **GSM (Global System For Mobile Communications):** Primer estándar digital usado por primera vez en el año de 1982 en Europa para la banda de 900Mhz y el cual permitió tener el servicio de roaming. Se basa en la transmisión de la información a través de conmutación de circuitos obteniendo ventajas como: reducción costos de operación, mejoras de la calidad del servicio y alta calidad de la voz adicional permite el envío de mensajes escritos (Short Message Service-SMS).
- **IS-95:** Estándar utilizado en Corea del Sur y Norte América basado en la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access), fue diseñado para poder transmitir simultáneamente voz, señalización de llamadas y datos en forma limitada.
- **TDMA IS-136:** Sistema de telefonía móvil de segunda generación, conocido comúnmente como TDMA (Time Division Multiple Access). Emplea una técnica de división de tiempo de los canales en slots propios con el propósito de aumentar el volumen de datos que se transmiten simultáneamente.
- **PDC (Personal Digital Telecommunications):** Es una tecnología que se utiliza en comunicaciones móviles digitales en Japón. PDC aprovecha de manera más eficiente el espectro radioeléctrico de las tecnologías TDMA dividiendo cada canal en varios slots de tiempo permitiendo a varios usuarios usar un canal de la misma frecuencia.

1.7.3 Segunda generación renovada (2.5G)

Es una evolución de la tecnología 2G, con el fin de poder dar un mejor servicio al envío de información (tasa binaria) y aumentar la capacidad del sistema. En esta tecnología se desarrollaron tres principales sistemas:

- **GPRS (General Packet Radio Service):** Este estándar permite la transmisión de paquetes sobre sistemas GSM añadiendo nuevos canales de paquetes y nodos de conmutación. Soporta velocidades teóricas de 171.2 kbps, utilizando 8 canales simultáneos permitiendo tener velocidades diez veces más rápidas en la red móvil GSM.
- **EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution):** Es una versión evolucionada del sistema global GSM. Utiliza un esquema de modulación 8PSK (8 Phase Shift Keying), lo cual permite que un solo símbolo cambie de forma tal que represente 3 bits de información con lo cual se logra alcanzar velocidades de hasta 384Kbps (soporta video con calidad).
- **HSCSD (High Speed Circuit Switched Data):** Es una mejora de los servicios de datos basados en la conmutación de circuitos, permite obtener velocidades de transmisión de datos superiores a los 9.6 Kbps.



1.7.4 Tercera generación (3G)

La tercera generación se tiene como característica principal el aumento del ancho de banda y manejo eficiente del servicio de datos para con ello proveer de mayores servicios a los usuarios de telefonía móvil.

Los sistemas de comunicación móvil 3G son capaces de proporcionar varios tipos de servicios multimedia de alta calidad e implementar una cobertura sin fisuras a nivel mundial siendo compatibles con las redes fijas y pueden soportar cualquier tipo de comunicación sin importar la ubicación física del móvil.

El sistema móvil de tercera generación provee una variedad de beneficios para sus usuarios:

- Facilidad de uso de datos a costos más bajos.
- Servicios en tiempo real (video llamada)
- Acceso rápido (calidad y fiabilidad)
- Transferencia de datos a velocidades superiores a 10Mbps.
- Movilidad.
- Cobertura.
- Aplicativos multimedia.

Los sistemas móviles de tercera generación se guían a través de la denominada IMT-2000, cuyas descripciones son responsabilidad de la ITU. IMT-2000 se crea como una guía a seguir para los estándares de tercera generación con lo cual se quiere garantizar la compatibilidad de los diferentes desarrolladores de sistemas móviles 3G, además de ser base para desarrollos futuros.

Posterior a la creación y definición de la base IMT-2000, las organizaciones de estandarización mundiales iniciaron la etapa de desarrollo del sistema para

cada zona geográfica interesada en el nuevo sistema de comunicaciones móviles 3G.

1.7.5 Cuarta generación (4G)

La cuarta generación es la última evolución tecnológica para servicios móviles. Es una tecnología de alta transmisión de datos de banda ancha inalámbrica que principalmente se encuentra diseñada para dar acceso de datos a los dispositivos inalámbricos.

4G o también conocida como LTE (Long Term Evolution) hace referencia a un estándar de comunicación móvil, llamado conectividad LTE, desarrollado por la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project) que vieron una gran necesidad en asegurar la competitividad del sistema 3G para el futuro, y así poder complacer a los usuarios que demandaban más calidad y rapidez en los servicios.

Los sistemas móviles 4G permiten tener un mayor ancho de banda, mejorando así la experiencia de los usuarios, obteniendo mayores velocidades de datos alrededor de 200Mbps para descargas y 50Mbps para subida de datos.

Cuadro comparativo generaciones

En la siguiente tabla se puede observar un resumen con los datos más relevantes de los avances de las telecomunicaciones móviles.

Tabla 6. Evolución de los sistemas móviles

TECNOLOGÍA	1G	2G	2.5G	3G	4G
INICIO/ DESPLIEGUE	1970/1984	1980/1991	1985/1999	1990/2002	200/2006
ANCHO DE BANDA	1.9 kbps	14.4 kbps	14.4 kbps	2 Mbps	200 Mbps
ESTÁNDARES	AMPS	TDMA, CDMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	Solo estándar unificado
TECNOLOGÍA	Tecnología analógica	Tecnología digital	Tecnología digital	Tecnología CDMA, IP	Tecnología LAN/WAN/PAN y WLAN
SERVICIO	telefonía móvil (voz)	Voz digital, mensajes cortos	Alta capacidad, datos empaquetados	Alta calidad audio, video y datos	Acceso a información dinámica, dispositivos portátiles
MULTIPLEXACIÓN	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
CONMUTACIÓN	Círculo	Círculo	Acceso a la red por circuitos y por interface aire	Circuitos excepto por interface aire	Soporta todos los tipos de conmutación

2. Capítulo II. Sistema de comunicaciones móviles de tercera generación (3G)

2.1 Introducción

Este capítulo presenta una introducción a los sistemas de comunicaciones móviles de tecnología 3G, detallando sus principales características, arquitectura del sistema a nivel físico y de interfaz de aire, con el propósito de familiarizarse con el funcionamiento del sistema UMTS y el acceso de radio W-CDMA utilizada en la tecnología 3G.

UMTS y WCDMA son términos relacionados con la comunicación móvil de tercera generación considerando que UMTS se refiere a las especificaciones de la red 3G y WCDMA es una de las tecnologías de acceso de radio.

Finalmente se especificará las características de la solución IBS, la importancia de tener una solución instalada y los criterios de evaluación de negocio que tiene el operador previo a la implementación.

2.2 Características de las redes de comunicación móvil de tercera generación.

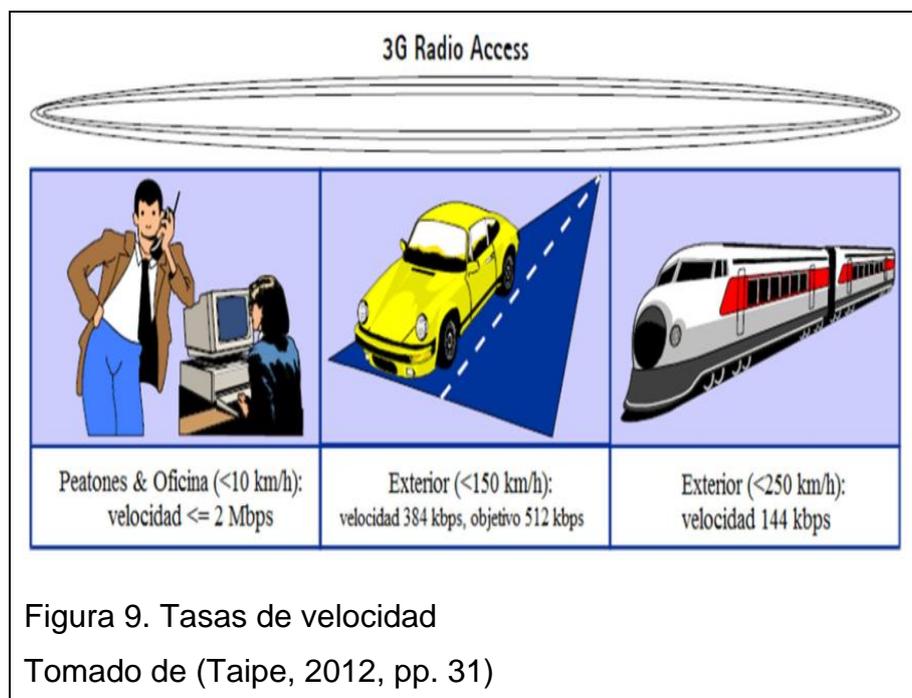
También denominada 3G, es una tecnología que ofrece mayor capacidad multimedia, velocidad de acceso hacia el mundo del internet y transmisión con QoS.

La tecnología 3G es aceptada a nivel mundial ya que provee servicios con las siguientes características.

- **Facilidad de uso y bajo costo:** Proporciona servicios amigables al usuario y adaptables con la finalidad de abordar las necesidades y

exigencias de los usuarios permitiendo que varios dispositivos móviles se adapten a las condiciones de radio frecuencia y con ello asegurar un mercado competitivo con tarifas módicas.

- **Acceso rápido y eficiente:** La principal característica de las comunicaciones móviles 3G es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos, la misma que fluctúa en función de la cobertura, congestión de la red, aplicación utilizada. Las velocidades teóricas para esta tecnología en función del entorno del usuario son: 144 Kbits/s vehículos a alta velocidad, 512 Kbits/s en espacios abiertos y de 2Mbit/s en oficinas y peatones.

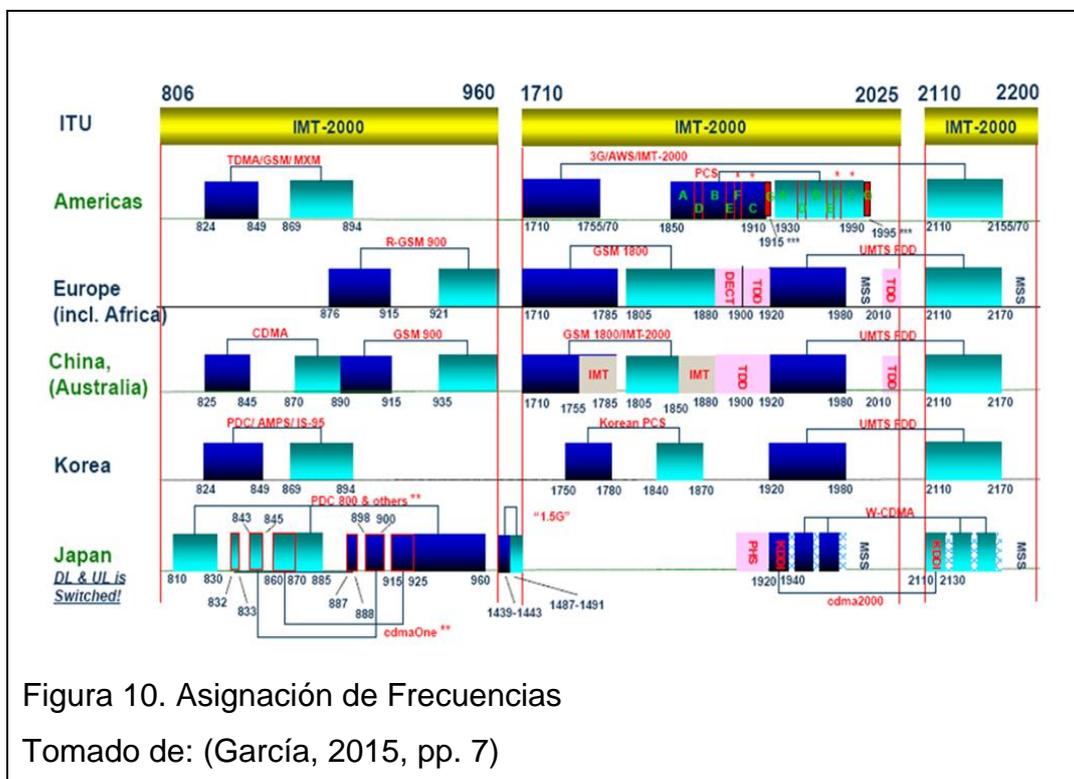


2.2.1 Asignación del Espectro 3G

En el año de 1992 la UIT, identificó que las frecuencias que se encontraban en el rango de 2 GHz se encontraban disponibles para uso de los sistemas de comunicación móviles de tercera generación, tanto para uso terrestre como satelital.

Las bandas de frecuencia asignados por tecnología son:

- 1885 - 2025MHz en el enlace ascendente.
- 2110 - 2200 MHz en el enlace descendente.



El rango de frecuencias que se encuentra entre los 1880 MHz ~ 2010 MHz (canal ascendente) y entre 2170MHz ~ 2200MHz (canal descendente) se encuentra asignado para los servicios móviles satelitales.

Para los servicios móviles 3G el canal ascendente como la banda asignada para canal descendente son asimétricas, por lo cual puede ser usado el modo FDD (Frequency Division Duplexing) o el modo TDD (Time Division Duplexing).

Para el modo FDD se asigna un par de frecuencias que se encuentran en torno a los 2000MHz.

- 1920-1980 MHz para subida y 2110-2170 MHz para bajada.

Para el modo TDD se utiliza una banda de frecuencia localizada a los extremos

del enlace ascendente FDD.

- 900-1920 MHz y 2010-2025 MHz.

Sin embargo en el año 2000 más frecuencias fueron identificadas por la ITU-T para el uso de telecomunicaciones móviles.

- 1710 – 1885 MHz.
- 2500 – 2690 MHz.
- 806 – 960 MHz.

2.2.2 Tecnología UMTS

La tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), es creada netamente por la necesidad de incrementar la velocidad de transmisión de datos ofrecida en la red celular 3G.

Con la creación de la tecnología UMTS sobre redes de tercera generación se produce mayor interés en aplicativos digitales ya que se obtiene mayor velocidad y ancho de banda, permitiendo al usuario la oportunidad de tener acceso hacia el mundo del internet en cualquier ubicación geográfica considerando que en dicho lugar exista la tecnología UMTS previamente implementada por los operadores celulares.

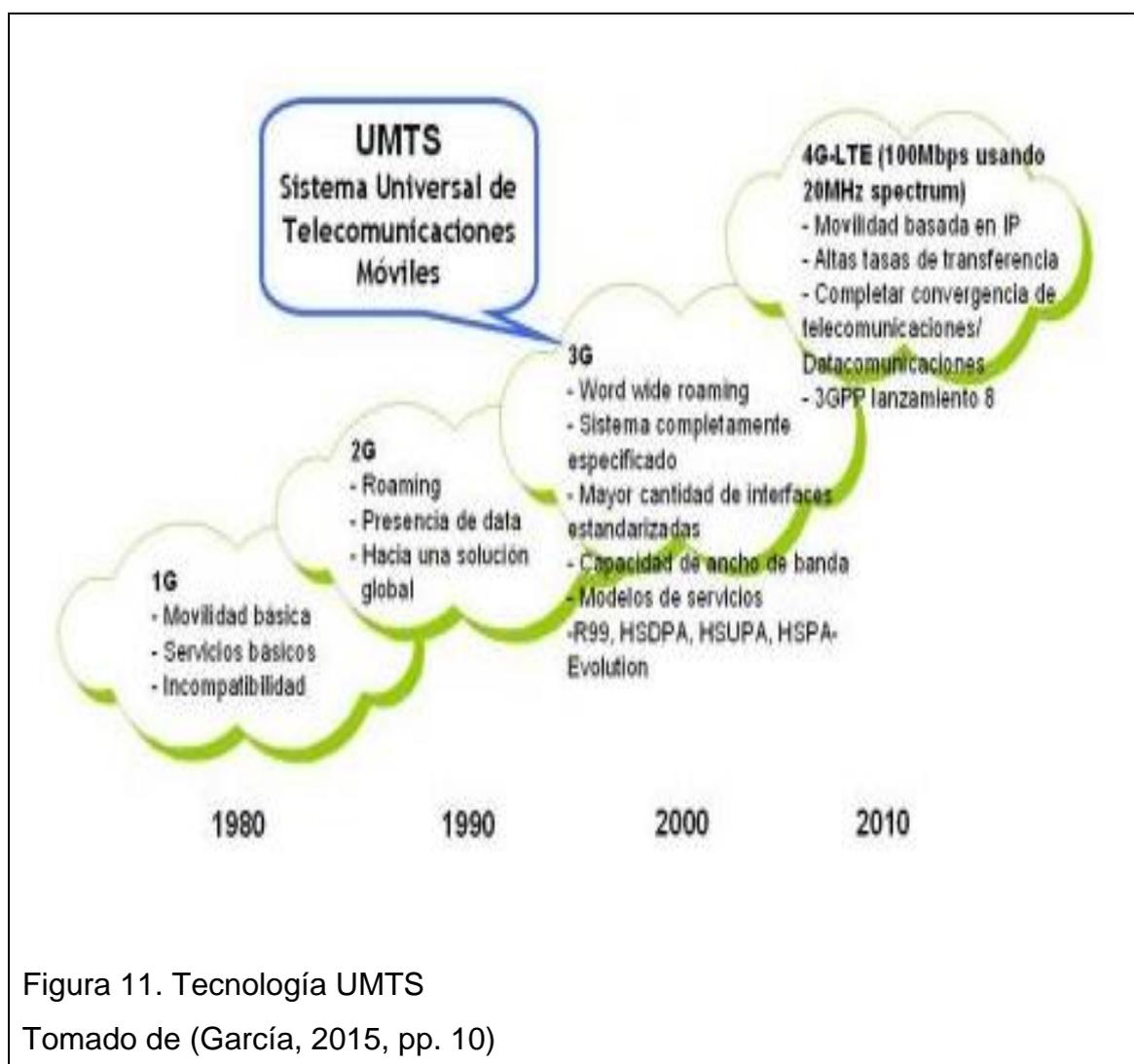
UMTS permite a los usuarios tener velocidades en promedio de 2Mbps por dispositivo móvil siendo de gran interés para los abonados y operadoras por la gran capacidad y velocidad de datos que proporciona.

La tecnología UMTS fue desarrollada por la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project). En la organización 3GPP se encuentran varios colaboradores que ejecutan actualizaciones periódicas y específicas para el sistema 3G centrándose en la interfaz de radio UTRAN y en el CORE de red GSM mejorada.

Utiliza la red de comunicación terrestre basada en una interfaz de radio W-CDMA conocida también como UTRA (Access Radio Terrestrial). UMTS gracias a su fácil acoplamiento en las redes móviles permite utilizar el acceso múltiple y tecnología dúplex.

Soporta división de tiempo dúplex TDD y división de frecuencia dúplex FDD, permitiendo alcanzar velocidades teóricas de 2Mbps.

En la siguiente figura se observa las principales ventajas que tiene la tecnología UMTS.



2.2.3 Servicios Tecnología UMTS

La tecnología UMTS, gracias a su capacidad permite disfrutar de una diversidad de servicios a los usuarios siendo los más relevantes.

- Transferencia de datos y voz.
- Bajo costo de operación y servicio.
- Acceso rápido.
- Transferencia de datos a mayores velocidades.
- Movilidad.
- Cobertura, calidad.
- Servicios UMTS a nivel mundial brindados por satélites.

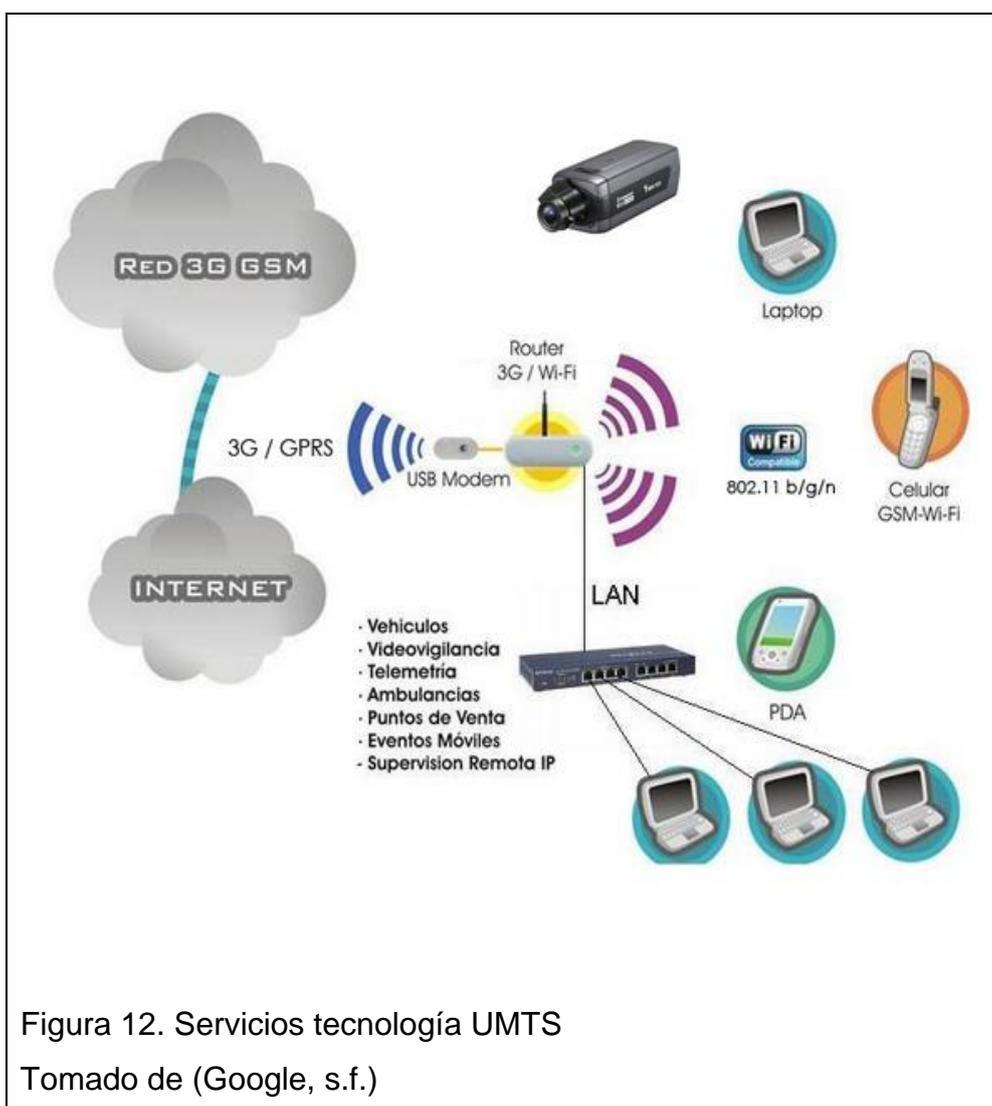
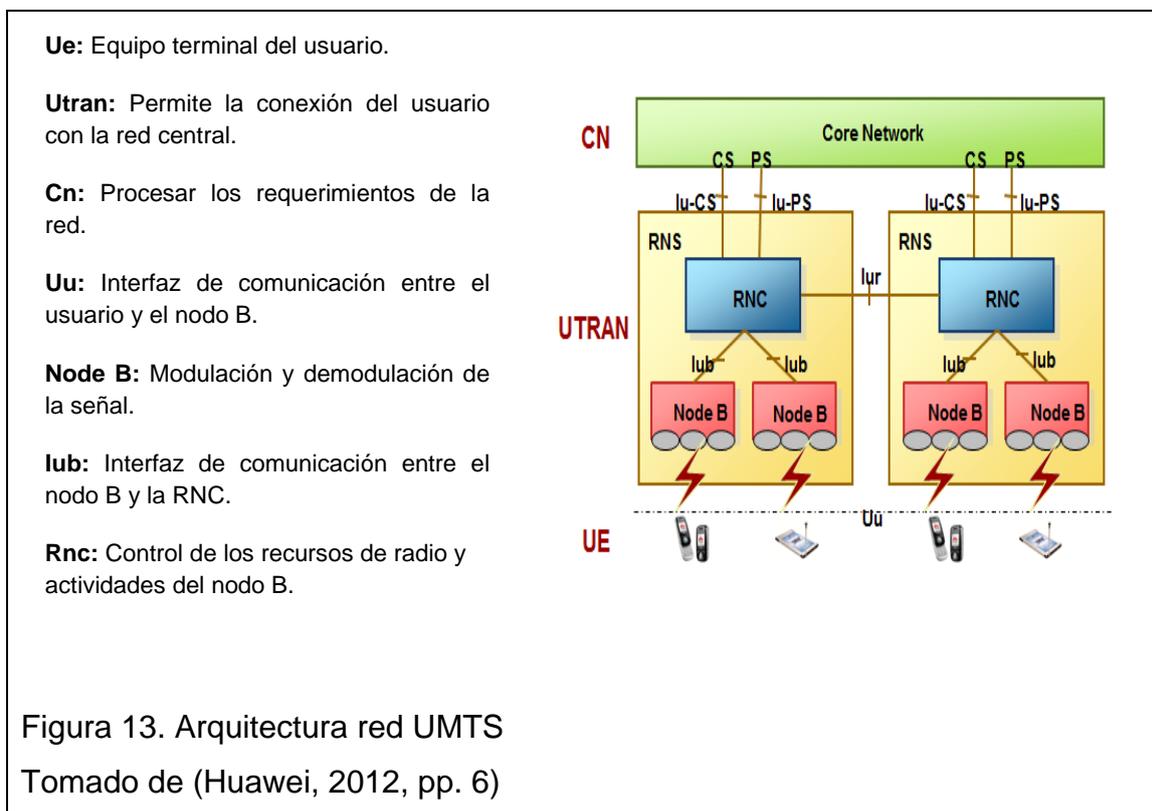


Figura 12. Servicios tecnología UMTS

Tomado de (Google, s.f.)

2.2.4 Arquitectura de la RED UMTS

El sistema UMTS (3G) está compuesto por tres subsistemas que son el UE, la UTRAN y el CN como se ilustra a continuación.



2.2.5 Red Central de la Arquitectura UMTS (CN)

La red central también conocida con el nombre Core Network (CN) es la encargada de realizar el procesamiento de los requerimientos de los servicios de voz y datos.

También realiza las funciones de transporte de la información de tráfico como de señalización generada por los usuarios, en términos generales esta parte es la más importante en una red ya que aquí se encuentra la parte lógica del sistema la cual permite dotar del servicio móvil a los usuarios.

La red central se encuentra conformada por dos elementos esenciales los cuales permiten el correcto funcionamiento del servicio móvil 3G.

- **Centro de Conmutación Móvil:** Encargado de realizar la conmutación de circuitos en una red.
- **Nodo de Soporte de Servicio GPRS:** Encargado de realiza la conmutación de paquetes de una red.

El CN está dividido en un domino de servicio de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos ya que existe terminales móviles que pueden tener únicamente el servicio PS (Packet Switched), Cs (Circuit Switched) o puede tener la capacidad de utilizar los dos servicios.

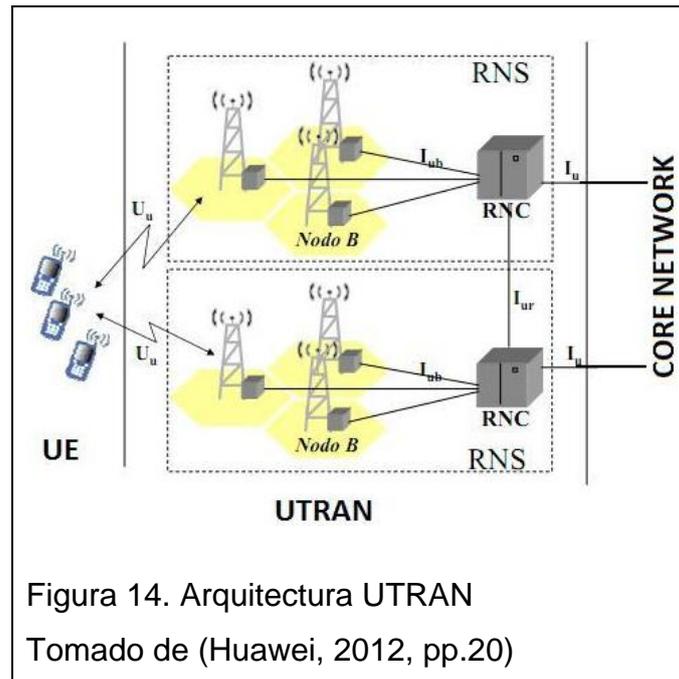
2.2.6 Red de Acceso de Radio Terrestre (UTRAN)

La UTRAN está compuesta de varias RNC y Nodos B, lleva a cabo toda la funcionalidad relacionada con el acceso de radio, permite la conexión del usuario a la red central.

Es un sistema que se encuentra desarrollado con el propósito de que el usuario alcance altas velocidades de transmisión aplicando nuevos tipos de transferencias de datos y algoritmos de transmisión.

Se encuentra dividido por dos tipos de elementos:

- **Subsistema de radio (RNS):** Compuesto del controlador de red de radio (RNC) y Nodos B.
- **Interfaces aire:** Conformadas de interfaz Usuario-Nodo B (Uu), interfaz Nodo B-RNC (Iub), interfaz RNC-CN (Iu) e Interfaz RNC-RNC (Iur).



2.2.7 Equipo Terminal del Usuario (UE)

El terminal del usuario o dispositivo móvil es el encargado de brindar la comunicación con el nodo B, en cualquier momento siempre y cuando existe cobertura celular. Este dispositivo puede variar en forma, peso y tamaño pero dentro de sus especificaciones técnicas debe encontrarse su compatibilidad para las redes 3G para poder acceder a los grandes beneficios que conlleva esta tecnología.

El equipo terminal del usuario está compuesto de:

- Identidad Internacional del Abonado a un Móvil (IMSI)
- Identidad temporal de abonado móvil (TMSI)
- Paquete de identidad temporal de abonado móvil (P-TMSI)
- Identidad temporal de enlace lógico (TLLI)
- La estación móvil red digital de servicios integrados (MSISDN)
- Identidad internacional del abonado móvil (IMEI)
- Identidad internacional del abonado móvil estación y número de software (IMEISV)



2.2.8 Controlador de Red de Radio (RNC)

La RNC se encarga de controlar los recursos de radio proporcionados por uno o varios Nodos B y las actividades lógicas del Nodo B.

Las RNC's se conectan entre sí por medio de la interfaz Iur, esta interfaz puede ser creada mediante conexión física directa o a través de una red de transporte ATM, IP, etc.

Las principales funciones que tiene el Controlador de Red de Radio son:

- Control de recursos lógicos O&M del Nodo B.
- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz Iu.
- Asignación de códigos de canalización en el enlace descendente.
- Herramientas de control de potencia.
- Control de Handover.
- Macro diversidad.
- Control de admisión.

2.2.9 Nodo B

El Nodo B se encarga de la transmisión y recepción de la información enviada por el usuario a través del UE por medio de la interfaz aire, adicional realizan el proceso de modulación y demodulación de la señal de radio frecuencia.

Se conectan a la RNC por medio de la interfaz Iub y se conecta al UE por medio de la interfaz Uu, son capaces de brindar cobertura celular a varias células o celdas.

Las principales funciones que tiene el Nodo B son:

- Implementación lógica de O&M.
- Transmisión / recepción por la interfaz aire.
- Modulación y demodulación.
- Mapeo de los recursos lógicos en recursos de hardware.
- Manejo de errores.
- Reportar las mediciones de interferencia en el enlace ascendente y la información de potencia en el enlace descendente.

2.2.10 Interfaces de la Red UMTS

En la arquitectura de la red UMTS existen varias interfaces las cuales cumplen un papel importante para la comunicación entre el UE hacia el CN por el fin de proporcionar el servicio solicitado por el usuario y garantizando la calidad del mismo.

Las interfaces de comunicación se detallan a continuación:

a) Interfaz Uu

Esta es la interfaz de radio entre el Ue y el Nodo B permitiendo recibir los

requerimientos del usuario, algunas de sus principales funciones son:

- Broadcast de la información.
- Manejo de las conexiones entre la UE y Nodo B que incluye su establecimiento, mantenimiento y relaciones.
- Control de potencia.
- Protección de la integridad del mensaje.
- Medición del UE para evaluaciones.
- Paging y notificaciones.

b) Interfaz lur

La interfaz lur es la encargada de interconectar dos o más RNC's y soportar el intercambio de información de señalización y datos del usuario generados.

c) Interfaz lub

Se encuentra localizada entre la RNC y el Nodo B en la red UTRAN. La RNC gestiona los recursos de radio al Nodo B a través de esta interfaz, algunas de sus principales funciones son:

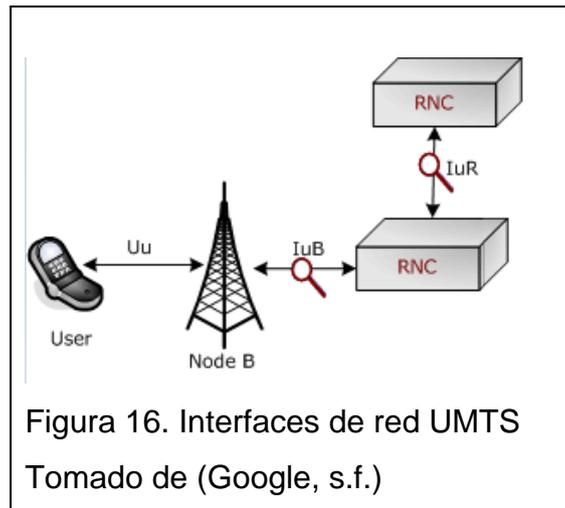
- Soporte de procedimientos para operaciones lógicas.
- Operación y mantenimiento (O&M) del Nodo B.
- Sistema de gestión de la información.
- Gestión de tráfico del canal común, dedicado y compartido.
- El tiempo y la sincronización de la petición del usuario.

d) Interfaz lu

Constituye a la interfaz entre el CN y la RNC. Esta interfaz permite la conexión con el CN dependiendo del tipo de servicio solicitado lu-Cs (Conmutación de circuitos) permite responder a las solicitudes del servicio de

voz requerido y Iu-PS (Conmutación de paquetes) interfaz encargada de responder la solicitud del servicio de datos requerido.

En la siguiente figura se encuentra un resumen de las interfaces de la arquitectura UMTS.



2.3 Tecnología WCDMA

Dado al gran éxito que se obtuvo con el desarrollo del sistema tercera generación 3G y sus grandes beneficios, la 3GPP desarrolló una nueva tecnología de acceso móvil la cual fue denominada como WCDMA (WideBand Code Division Multiple Access).

Se trata de una tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta la tasa de transmisión de datos de los sistemas 3G utilizando la interfaz de acceso de radio CDMA permitiendo alcanzar mayores velocidades de carga y descarga.

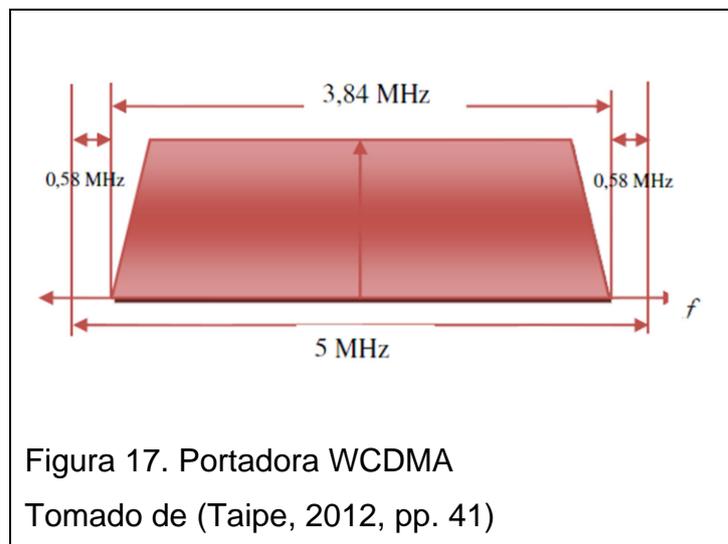
La tecnología WCDMA emplea la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), ofreciendo robustez, flexibilidad y resistencia a las posibles interferencias ajenas al sistema móvil.

Para que su funcionamiento sea adecuado, WCDMA utiliza un mayor ancho de banda para poder emplear varios canales de la interfaz de radio.

2.3.1 Ancho de Banda Tecnología WCDMA

El ancho de banda efectiva es de 3,84MHz y con las bandas de guarda asignadas por cada extremo asciende a los 5 MHz, siendo estas de 0,58 MHz a cada extremo de la portadora principal.

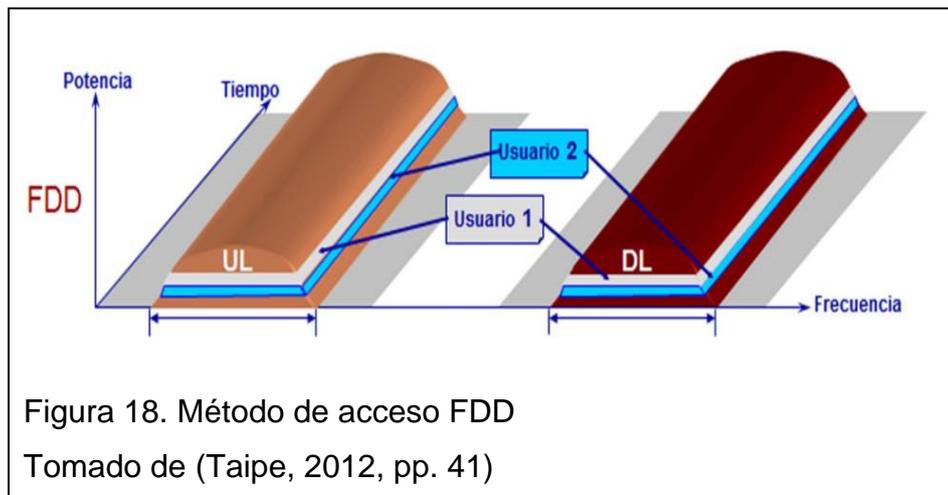
Gracias a su mayor ancho de banda puede utilizar varios canales de la interfaz de radio, siendo una tecnología más robusta para aplicativos que demanden una mayor rapidez y calidad.



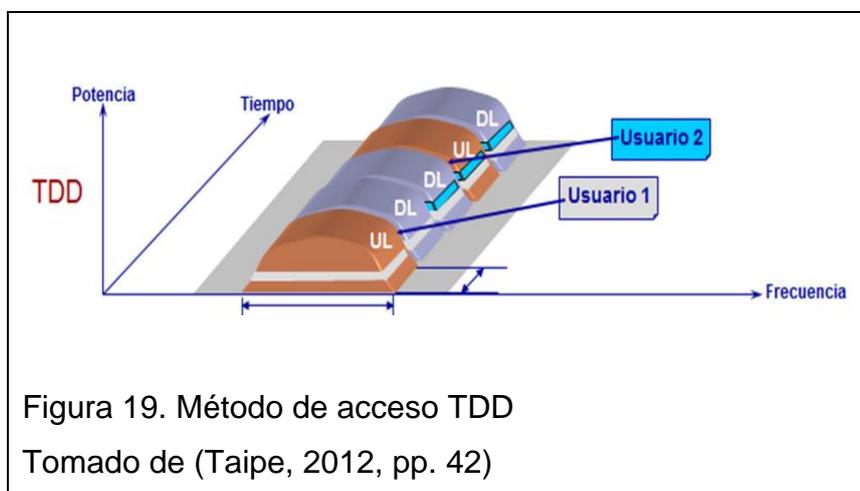
2.3.2 Esquemas Empleados en la Tecnología WCDMA

La tecnología WCDMA puede utilizar dos métodos distintos de acceso.

- **FDD (Frequency Division Duplexing):** Es un método donde la transmisión de subida y bajada usa dos bandas de frecuencia diferentes de un ancho de banda de 5MHz.

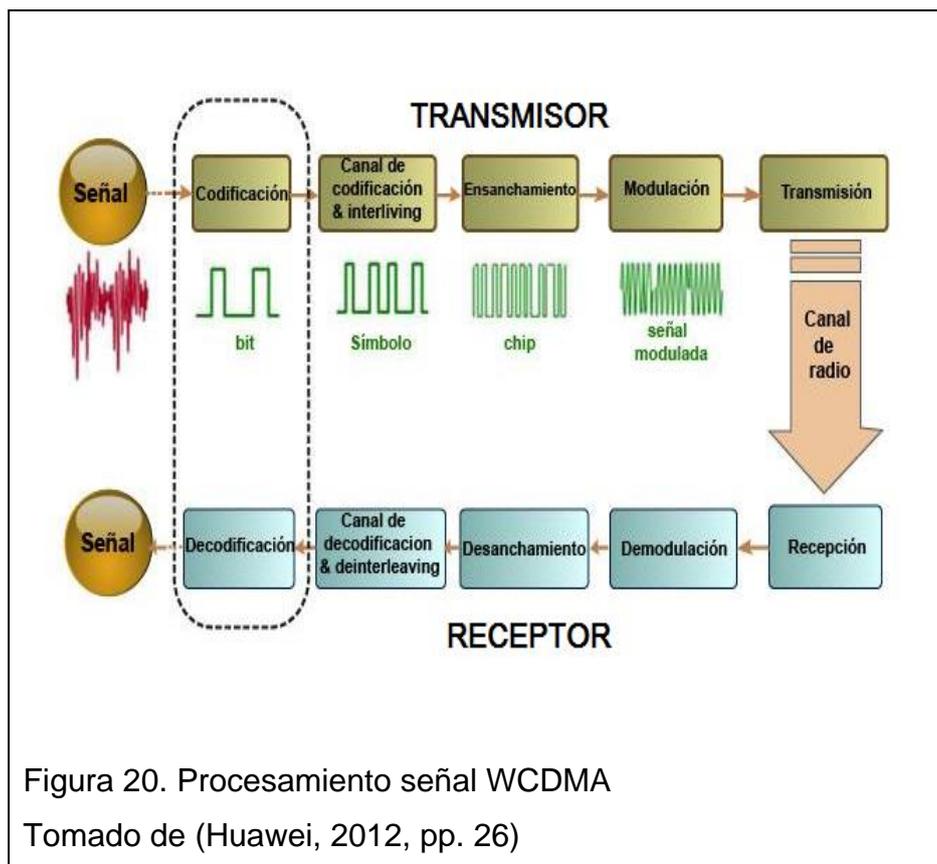


- **TDD (Time Division Duplexing):** Es un método de duplexación por división de tiempo, la cual consta de un ancho de banda de 5MHz dividida en ranuras de tiempo mediante en el cual transmisión de subida y bajada son transportados en la misma frecuencia usando intervalos de tiempo sincronizados.



2.3.3 Procesamiento de la Señal utilizada en la Tecnología WCDMA

El procesamiento de la señal enviada consta de 5 etapas para poder ser transmitida hacia el receptor sin tener afectación del mensaje enviado. El receptor debe realizar el mismo procedimiento de forma inversa para poder transmitir la información hacia el transmisor.



a) Digitación de Audio

Esta etapa se encarga del proceso de codificación de la señal teniendo como finalidad mejorar las condiciones de transmisión, corrección de errores y ensanchar el ancho de banda de la portadora.

La 3GPP ha adaptado el estándar AMR (Adaptive Multi-rate). AMR es un códec de voz compuesto por 8 tipos de clases que permiten tener la calidad del servicio de voz.

CODEC	Bit Rate (kbps)
AMR_12.20	12.2 (GSM EFR)
AMR_10.20	10.2
AMR_7.95	7.95
AMR_7.40	7.4 (TDMA EFR)
AMR_6.70	6.7 (PDC EFR)
AMR_5.90	5.9
AMR_5.15	5.15
AMR_4.75	4.75

Figura 21. Codec vs Bit Rate

Cada tipo de códec tiene la posibilidad de adaptarse al sistema de modulación según sea vea la necesidad y disponibilidad del mismo teniendo en consideración.

- Condiciones del ambiente de radio.
- Condiciones del medio de transmisión.

b) Codificación del canal e Interleaving

En esta etapa se intenta garantizar una transmisión de la señal que sea segura, fiable y sin errores considerando que durante la transmisión se puede tener interferencias o desvanecimientos de la señal que pueden degradar y terminar la comunicación abruptamente.

La codificación de canal utiliza dos tipos de esquemas para corrección de errores siendo códigos convolucionales y códigos turbo.

Códigos Convolucionales

Consisten en tener X entradas, Y salidas con Z registros para cada entrada, es decir cada bit que ingrese es influido por XYZ bits de salida, teniendo como resultado la secuencia codificada.

Códigos Turbo

Los códigos turbo son usados ya que se caracterizan por ser más eficientes en condiciones de transmisión de información a alta velocidad permitiendo alcanzar una mayor capacidad y eficiencia al momento de la asignación de recursos.

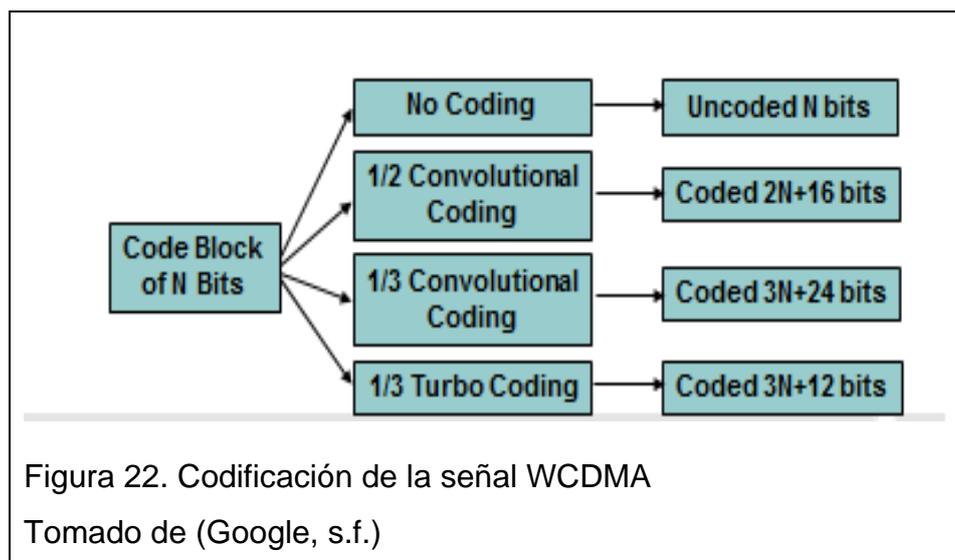


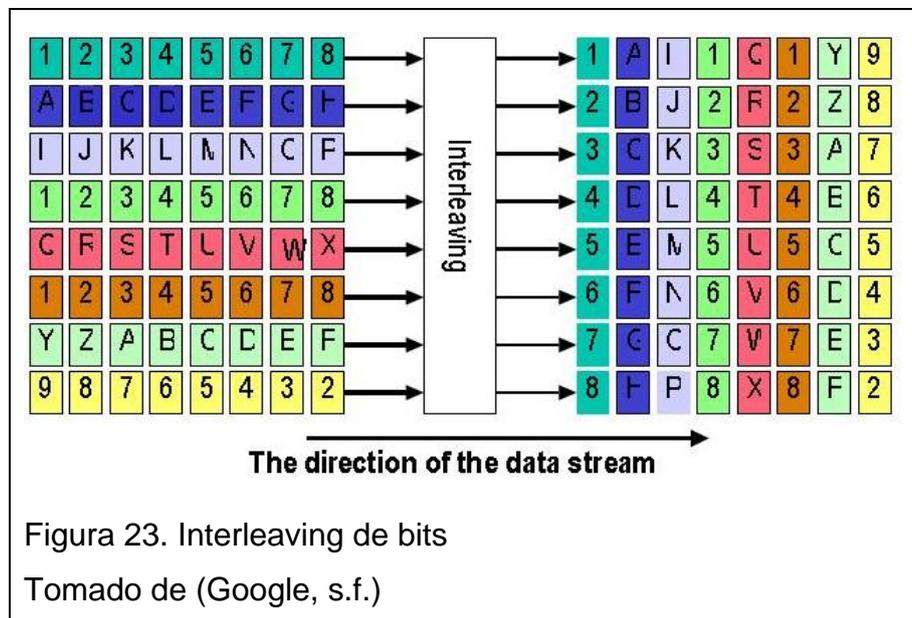
Figura 22. Codificación de la señal WCDMA

Tomado de (Google, s.f.)

En la tecnología WCDMA, se tiene dividido los códigos convolucionales para servicios de voz y los códigos turbo para los servicios de datos a alta tasa de transmisión de datos.

Las comunicaciones inalámbricas tienden a tener mayores problemas en las comunicaciones que se envían ráfagas de información por lo que para evitar este tipo de inconvenientes se utiliza la técnica de interleaving permitiendo tener mayor resistencia a los errores.

Su funcionalidad es cambiar de ubicación a los bits y enviarlos a una distinta frecuencia como se puede observar en la siguiente figura.



c) Ensanchamiento de Banda o Spreading

La etapa de ensanchamiento de banda consiste en dos procesos.

Canalización

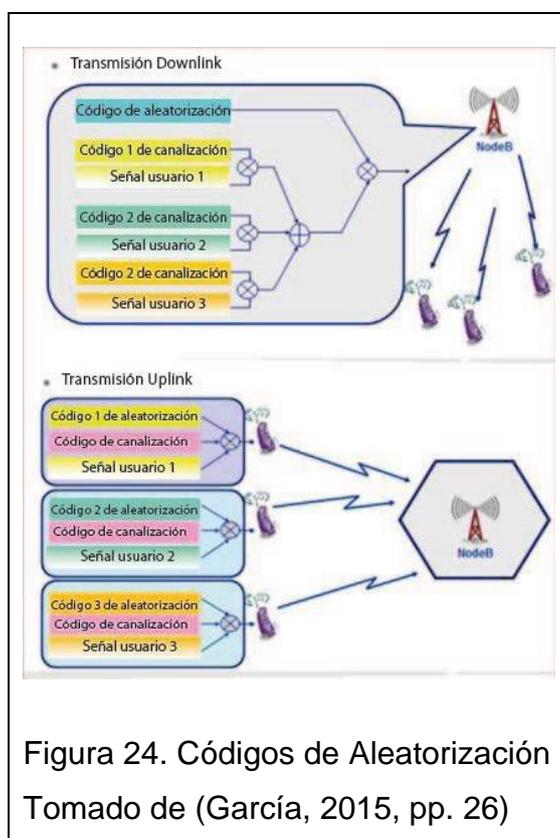
Es la encargada de transformar cada símbolo de datos en un número de chips, aumentando así el ancho de banda de la señal. Para generar la señal se debe asignar a cada usuario un código de canalización único, el cual debe ser el mismo que posee el receptor, para que la señal original pueda ser recibida en su totalidad por el destinatario.

Aleatorización

La principal característica de este proceso es diferenciar a los distintos transmisores para evitar interferencias entre los mismos también denominados como PSC (Primary Scrambling Code).

Los PSC son utilizados y asignados a cada celda del Nodo B con la finalidad de distinguir a los diferentes transmisores teniendo en consideración el siguiente criterio.

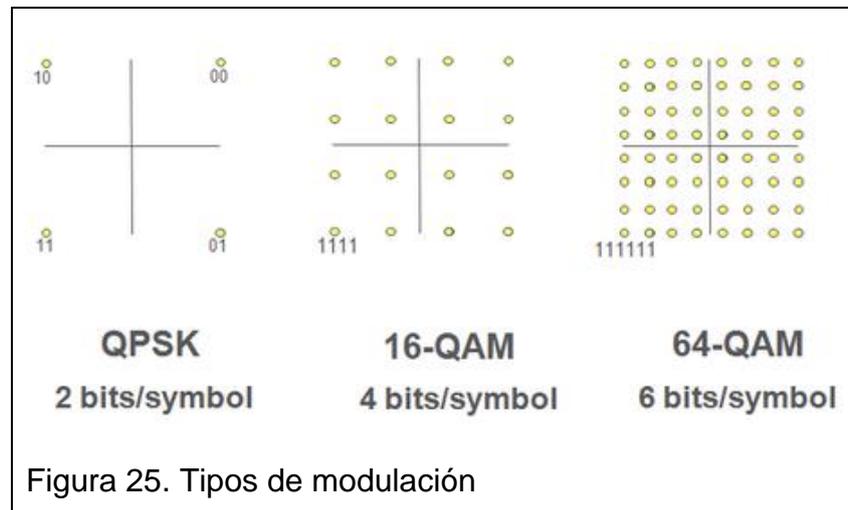
- En enlaces descendentes se utiliza para separar diferentes celdas en una misma portadora.
- En enlaces ascendentes se utiliza para diferenciar e identificar la conexión de los UE´s en una sola portadora.



d) Modulación

En esta etapa la señal es preparada para la transmisión de radio frecuencia, por lo que el criterio para la utilización de la técnica de modulación debe ser acorde a las condiciones de radio y capacidad existente.

El esquema de modulación escogido puede ser QPSK, 16QAM y 64QAM respectivamente sin embargo para la tecnología WCDMA se tiene mayor tolerancia a las modulaciones de tipo 16QAM y 64QAM permitiendo tener velocidades de transmisión más altas.



e) Transmisión

Esta encargada de enviar la información hacia el receptor, considerando que la misma debe estar libre de errores lo cual es un proceso complejo debido a las atenuaciones, interferencias, retardos existentes en la trayectoria de la señal.

Este tipo de inconvenientes se encuentran más en ambientes urbanos ya que con el movimiento del UE hace que la amplitud, el retardo y la fase de la señal varían en tiempo y lugar debido a las multi-trayectorias que debe sufrir la señal hasta llegar a su destino.

Para evitar este tipo de fallas en la tecnología WCDMA se ha creado receptores RAKE que disminuyen este tipo de inconvenientes. Con la ayuda de los receptores RAKE se puede:

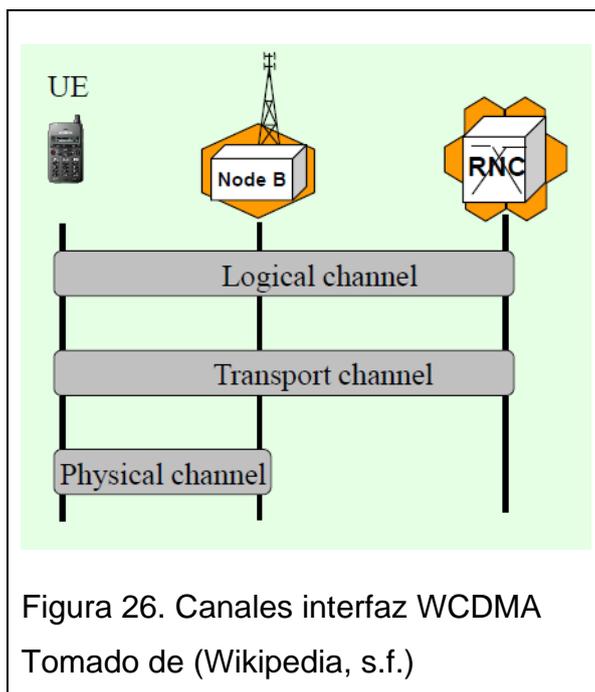
- Disminuir el retardo.
- Discriminar señales externas al sistema.

- Mejorar calidad de la señal.

Los receptores RAKE usan la técnica de diversidad de código, la cual se encarga de recibir dos o más señales distintas en tiempo, el sistema demodula estas señales y las suma obteniendo como resultado señales útiles y descartando las señales basura.

2.4 Canales de la interfaz de radio wcdma

La interfaz de radio de la tecnología 3G se basa sobre las 3 primeras capas del modelo OSI (capa física, capa de enlace y capa de red), por lo cual para el correcto funcionamiento del sistema UMTS se ha dividido en tres tipos de canales que operan sobre las capas antes mencionadas.



2.4.1 Canales Físicos

Los canales físicos son los encargados de transmitir la información hacia el usuario por medio de la interfaz de radio acondicionándose a las características

físicas del canal. Cada canal físico se encuentra definido por una frecuencia, código y fase.

A continuación se encuentra un listado de los principales canales físicos utilizados en el sistema UMTS.

- **Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH):** Canal físico que lleva la información del BCH.
- **Secondary Common Control Physical Channel (SCCPCH):** Canal físico que lleva a los canales FACH y PCH.
- **Physical Random Access Channel (PRACH):** Canal físico que lleva la información del RACH.
- **Dedicated Physical Data Channel (DPDCH):** Canal bidireccional que envía la información del DCH.
- **Dedicated Physical Control Channel (DPCCH):** Su función es transportar la información de la capa física hacia el sistema, trabaja conjuntamente con el canal DPDCH.
- **Physical Common Packet Channel (PCPCH):** Canal físico que lleva al CPCH, es compartido para varios usuarios debido a que utiliza multiplexación por tiempo.
- **Synchronisation Channel (SCH):** Canal físico en el cual el UE realiza la sincronización con los Nodos B.
- **Common Pilot Channel (CPICH):** Canal más significativo para el análisis de cobertura, debido que dentro de este canal se transmiten mediciones y secuencias de bits que dan a conocer cuál es la celda servidora dentro de UE.
- **Acquisition Indicator Channel (AICH):** Interviene en el proceso de acceso del canal PRACH.
- **Paging Indication Channel (PICH):** Este canal permite descifrar la información del canal PCH.
- **Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel (CD/CA-ICH):** Dicho canal presenta la existencia de colisión en el canal CPCH.



Figura 27. Elementos Canal Físico

2.4.2 Canales Lógicos

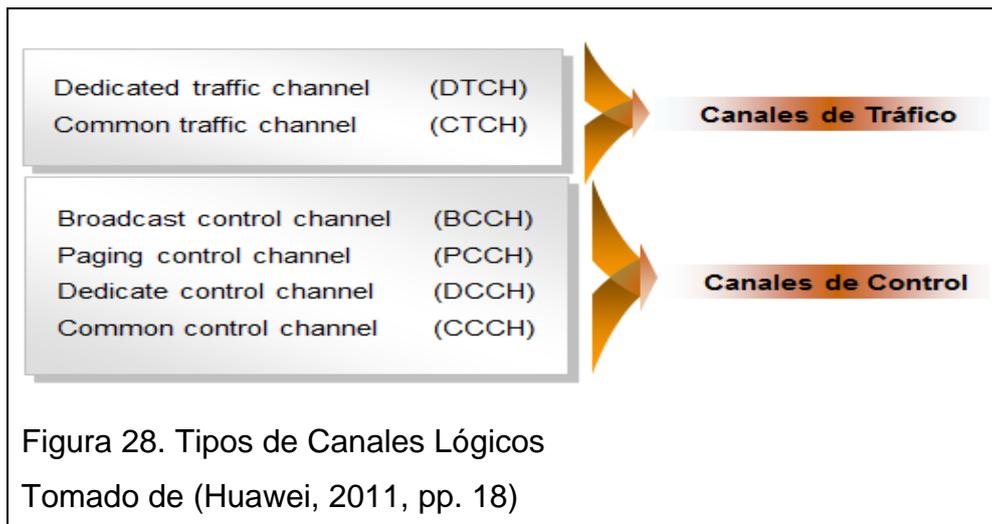
Son encargados de transportar e identificar el tipo de información solicitado por el usuario (voz, datos), los mismos se encuentran divididos en dos tipos: canales de control y canales de tráfico.

2.4.3 Canales de Control

- **Broadcast Control Channel (BCCH):** Es un canal de downlink que tiene como principal función informar al UE la señalización de celda.
- **Paging Control Channel (PCCH):** Canal en downlink el cual tiene como objetivo actualizar el registro del UE a la red móvil.
- **Dedicated Control Channel (DCCH):** Canal punto a punto bidireccional el cual mantiene mensajería de control con el UE y la red móvil.
- **Common Control Channel (CCCH):** Canal bidireccional similar al DCCH, es utilizado para mantener comunicación de control entre UE y la red móvil.

2.4.4 Canales de Tráfico

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH):** Es un canal bidireccional que se encarga de transmitir información del UE.
- **Common Traffic Channel (CTCH):** Canal punto-multipunto, el cual transfiere información de un usuario a varios.



2.4.5 Canales de Transporte

Los canales de transporte realizan la función de mantener la comunicación entre la capa 2 (enlace) con la capa 1 (red) de la interfaz de radio. Los criterios que toman los diferentes canales de transporte al momento de enviar información consideran; Si la información compartida es de carácter general se utiliza los canales comunes pero si se encuentra dirigida a un solo usuario se maneja los canales dedicados

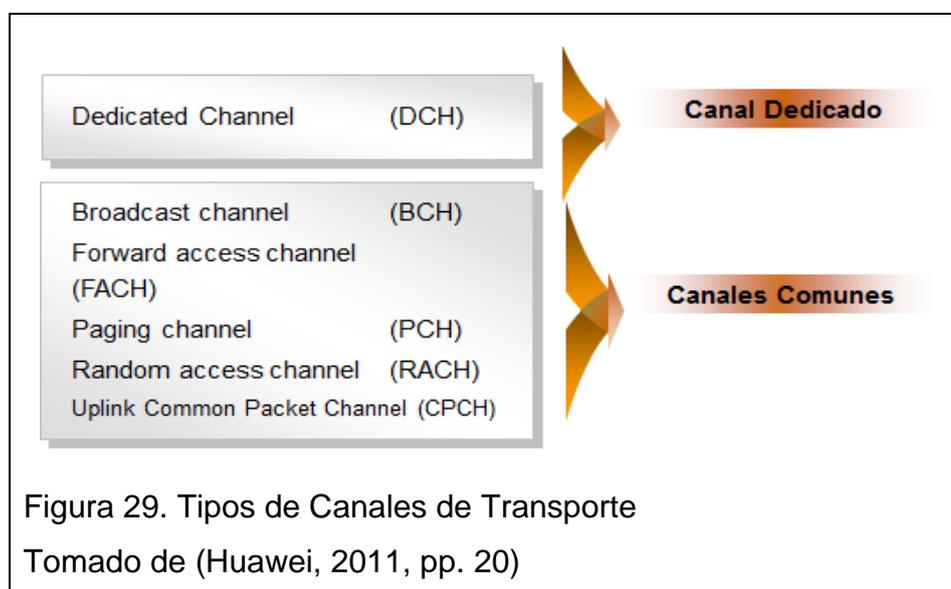
2.4.6 Canal Dedicado

- **Dedicated Transport Channel (DCH):** Es un canal bidireccional dedicado, en la cual se transmite señales de control y de tráfico de usuario.

2.4.7 Canales Comunes

- **Broadcast Channel (BCH):** Canal en downlink por donde se envía información del sistema de cada celda, permitiendo que el UE puede decodificar dicha información para discriminar la celda.

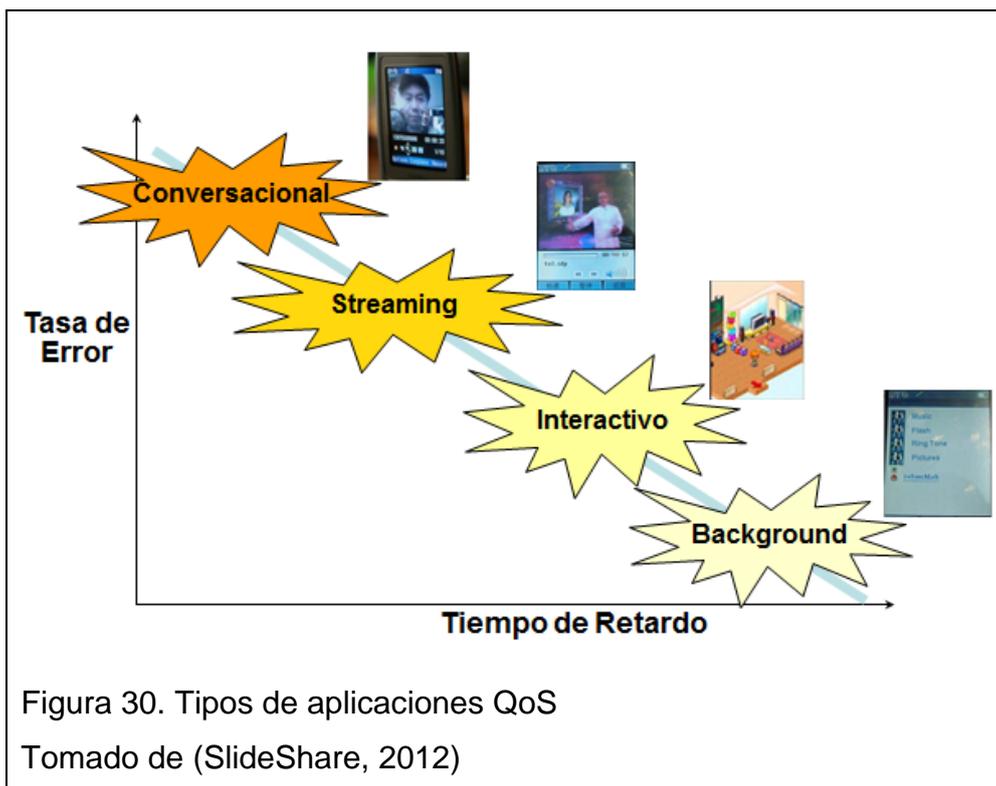
- **Forward Access Channel (FACH):** Canal en downlink que transmite señalización de control al UE.
- **Paging Channel (PCH):** Canal en downlink el cual realiza la actualización periódica del UE en el sistema UMTS.
- **Random Access Channel (RACH):** Canal de transporte de uplink, el cual transmite señales de control, es susceptible a colisiones debido a que se transmite control de potencia de bucle abierto.
- **Uplink Common Packet Channel (CPCH):** Canal similar al RACH a diferencia que este canal controla las posibles colisiones que puedan existir.



2.5 Calidad de servicio tecnología wcdma

Un parámetro fundamental para determinar el rendimiento de los servicios provistos por una red móvil visto desde el lado de los usuarios es la calidad del servicio donde se mide la respuesta del servicio, interrupciones, señal a ruido, ecos, etc.

En el mundo de la telefonía móvil la calidad de servicio se ha dividido en cuatro tipos de aplicaciones denominadas “Clase de Calidad de Servicio UMTS”.



2.5.1 Clase Conversacional

Son los servicios en los que el usuario mantiene comunicaciones en tiempo real y que demandan una calidad alta. El retardo extremo a extremo debe ser inferior a (<400 ms). El tráfico suele ser simétrico. Ejemplo: voz, videollamada, juegos online, etc.

2.5.2 Clase Streaming

También denominada clase de flujo continuo. Son aquellos servicios donde la información es procesada y presentada al usuario final conforme van llegando los paquetes del flujo de datos.

Para este tipo de clase no es necesario esperar a que toda la información sea recibida por el destinatario es utilizado cuando la velocidad de descarga es baja. El tráfico es asimétrico. Ejemplo: Aplicativos multimedia, plugs-in en navegadores.

2.5.3 Clase Interactiva

Aplicada cuando el usuario final se encuentra solicitando datos desde un equipo remoto, los servicios requeridos no son en tiempo real. Algunos ejemplos son: Acceso a páginas web, ubicación móvil, etc.

2.5.4 Clase de Fondo

Este esquema se aplica cuando el usuario destinatario no espera la información en un tiempo determinado, únicamente es utilizado para el envío y recepción de archivos de datos. Algunos ejemplos son: E-mails, SMS.

Tabla 7. Clase de QoS

Tipo de tráfico	Conversacional	Flujo Continuo (Streaming)	Interactivo	De fondo (Background)
Características Fundamentales	Bidireccional. Tiempo Real. Retardo pequeño pero constantes.	Unidireccional. Retardo constante.	Bidireccional. Retardo moderado. Baja tasa de errores.	Bidireccional. Integridad de datos. Respuesta no inmediata del usuario.
Ejemplo	Voz, videollamada y juegos online.	Streaming video TV, radio.	Navegación web.	Emails y mensajes cortos.

2.6 Parámetros de medición de cobertura y calidad

Los indicadores de cobertura y calidad son factores relevantes que intervienen en la telefonía móvil 3G, considerando que los mismos nos dan a conocer el estado de la red celular en un escenario específico y la disponibilidad del servicio solicitado por el usuario.

La degradación de la señal o la falta de cobertura en una zona determinada son las causas más frecuentes de pérdidas de calidad por parte de la red móvil generando malestar en el servicio contratado por el usuario.

A continuación se encuentra la definición de varios parámetros de cobertura y calidad inmersos en la tecnología 3G.

2.6.1 Potencia Recibida de la Señal de Código (RSCP)

Es el nivel de potencia recibida por la antena receptora por medio del canal físico CPICH (Common Pilot Channel) por el dispositivo móvil (UE). Se mide en el canal CPICH ya que este canal es usado por el Nodo B y mantiene una comunicación continua con los usuarios enviando información de ubicación.

El RSCP es utilizado para obtener la intensidad de la señal recibida en el conector de la antena del dispositivo móvil (UE) y su unidad de medida es dBm.

Los niveles de RSCP en la tecnología UMTS fluctúan en el siguiente rango.

- $0\text{dBm} \geq -75\text{dBm}$ (Bueno).
- $-75\text{dBm} \geq -85\text{dBm}$ (Muy Buena).
- $-85\text{dBm} \geq -95\text{dBm}$ (Aceptable).
- $>-105\text{dBm}$ (Mala).

2.6.2 Energía de Canal CPICH sobre Interferencia (E_c/I_o)

Este parámetro nos muestra la calidad del servicio que obtiene el usuario al solicitar un servicio sin embargo el mismo puede variar dependiendo de la interferencia de la señal de radio frecuencia que perciba el dispositivo móvil por causa externas al sistema y la carga de tráfico existente en una celda.

La calidad se ve influenciada directamente por factores externos como ruido, interferencia externa o la presencia de varias celdas servidoras en un mismo punto.

El E_c/I_o se encuentra dividido en dos terminologías y su unidad de medida es dB.

E_c =Energía del canal piloto (CPICH).

I_o = Interferencia de otros canales y tráfico.

Los niveles de E_c/I_o se encuentran en el siguiente rango.

- $0\text{dB} \geq -10\text{dBm}$ (Bueno).
- $-10\text{dB} \geq -12\text{dB}$ (Aceptable).
- $>-12\text{dB}$ (Mala).

2.6.3 Contaminación de la Señal (PILOT POLLUTION)

Este parámetro nos indica la falta de una celda servidora en una zona de cobertura por lo cual se posee varias señales pero ninguna de ellas es suficientemente fuerte.

Se considera una celda dominante cuando la diferencia de RSCP es $\geq 6\text{dBm}$ de las otras celdas que se encuentran en una determinada zona.

2.6.4 Indicador de Fuerza de la Señal Recibida (RSSI)

Indica el nivel de potencia de las señales recibidas en la antena receptora, de tal manera que mientras se encuentra el valor cerca de 0 se obtiene un nivel de señal más fuerte y con menos probabilidad de interferencia o caídas abruptas del sistema.

Su unidad de medida es en dBm y se encuentran en el siguiente rango.

- 0dBm \geq -40dBm (Excelente).
- -40dBm \geq -60dBm (Buena).
- -60dBm \geq -70dBm (Muy Buena).
- -70dBm \geq -80dBm (Mala).
- \geq -80dBm (Pésima).

2.6.5 Código Primario Aleatorio (PSC)

El PSC es usado para distinguir la señal de radio frecuencia enviada por varios transmisores permitiéndonos identificar el origen de la celda que se encuentra dotando de cobertura a una área específica.

Se encuentra en el siguiente rango numérico.

- 0 a 512

2.6.6 Handover o Proceso Continuo de Conexión

El proceso de handover es muy importante para la telefonía móvil, este proceso ayuda con la conexión entre celdas distintas para evitar la desconexión del UE con la red, para así proporcionar un servicio continuo y balanceo de carga (evitar tráfico excesivo dentro de una celda).

Se tiene varios tipos de handover, los cuales son escogidos por el sistema de acuerdo a los valores tomados de mediciones de parámetros, estos valores son medidos y determinados mediante la comparación del valor real con un valor umbral definido por el fabricante de los equipos, el cual determina que acción tomar (medición, decisión y ejecución).

Se ha dividido al handover de acuerdo a varios criterios y a las características de señalización obteniendo las siguientes:

- Softer handover
- Soft handover
- Hard handover

2.6.7 Softer Handover

En este proceso se tiene que el sistema realiza el cambio de celda dentro del mismo nodo B, es decir misma RNC y en la misma frecuencia. Para realizar este cambio la red compara los valores de RSCP de cada celda y realiza el cambio por la celda que tenga mejores condiciones como se muestra en la figura 31:

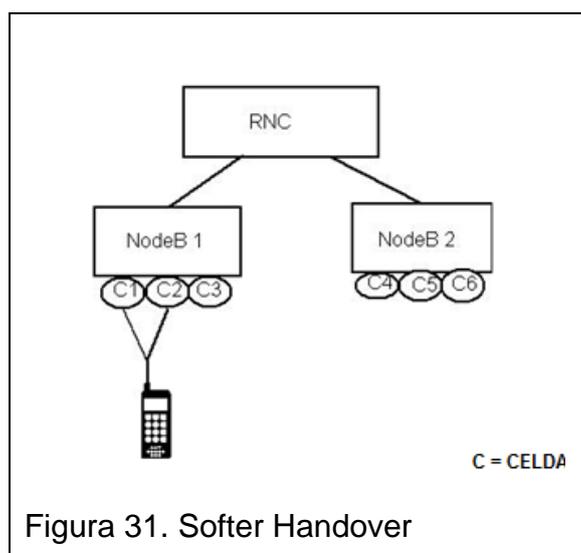
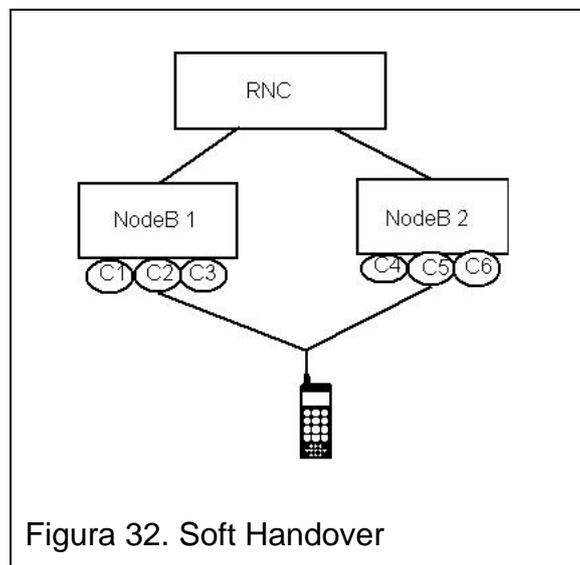


Figura 31. Softer Handover

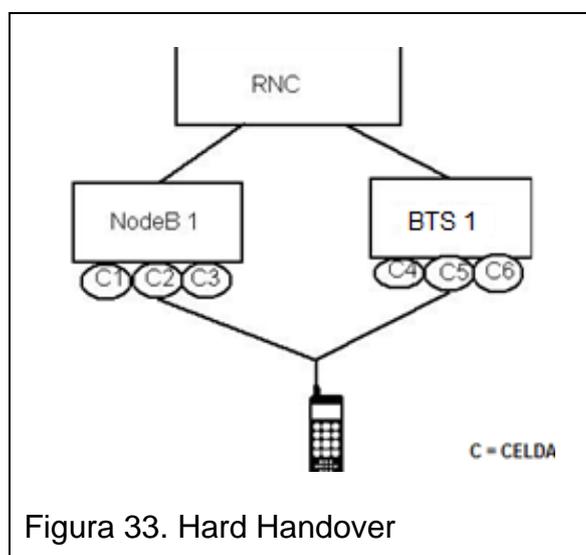
2.6.8 Soft Handover

El sistema realiza el cambio de celdas en distintos nodos B, en la misma RNC o en otra, pero dentro de la misma banda de frecuencia, como se muestra en la siguiente figura.



2.6.9 Hard Handover

Para el proceso hard handover se tiene el cambio de celda a otro nodo B, pero con la diferencia que en este traspaso puede cambiar la frecuencia, la técnica de multiplexación y la RNC, según sea el requerimiento.



2.7 Indicadores claves de desempeño (KPI)

Los KPI's son indicadores claves de rendimiento que nos permiten evaluar el desempeño de la red celular a través de los indicadores de: Accesibilidad, Retenibilidad e Integridad del servicio.

2.7.1 Accesibilidad (Llamadas Establecidas)

La accesibilidad o también conocido como "llamadas establecidas" representa al número de total de llamadas establecidas exitosamente en un periodo determinado de tiempo, este criterio se aplica a las llamadas originadas y finalizadas dentro del mismo proveedor del servicio.

El resultado de este indicador no debe ser inferior al 98%, el cálculo matemático para determinar la accesibilidad se lo realiza de la siguiente manera.

$$\% \text{ Llamadas Establecidas} = \frac{\# \text{ Llamadas Establecidas}}{\# \text{ Total de intentos}} * 100$$

Ecuación 1

2.7.2 Retenibilidad (Llamadas Caídas)

La retenibilidad o también conocido como "Llamadas Caídas" se define como la relación de las llamadas establecidas correctamente y las mismas son finalizadas abruptamente terminando la comunicación entre el emisor y receptor.

El resultado de este indicador debe ser inferior o igual al 2%, el cálculo matemático para determinar la retenibilidad se lo realiza de la siguiente manera.

$$\% \text{ Llamadas Caídas} = \frac{\# \text{ Llamadas Caídas}}{\# \text{ Llamadas completadas} + \text{Llamadas Caidas}} * 100$$

Ecuación 2

2.7.3 Integridad (Llamadas Exitosas)

La integridad o también conocido como “Llamadas Exitosas” representa al número total de llamadas establecidas/finalizadas por el usuario y no fueron terminadas abruptamente por agentes externos.

El resultado de este indicador no debe ser inferior al 98%, el cálculo matemático para determinar la accesibilidad se lo realiza de la siguiente manera.

$$\% \text{ Conexiones} = \frac{\text{Solicitudes exitosos}}{\text{Solicitudes exitosos} + \text{Solicitudes rechazadas}} * 100$$

Ecuación 3

2.8 Solución móvil para ambientes interiores (IBS)

Los operadores de telefonía celular con el propósito de brindar un servicio de calidad en edificaciones como: Centro comerciales, establecimientos de enseñanza, estacionamiento, túneles, etc. han visto la necesidad de crear nuevas técnicas que permitan: generar, mejorar y garantizar el servicio celular para localidades interiores.

La telefonía móvil fue desarrollada con el concepto de brindar comunicación cuando los usuarios se encuentren en áreas abiertas o en zonas específicas de alta concentración de oficinas, es por esto motivo que es muy frecuente experimentar problemas de cobertura al interior de inmuebles donde no se tenga desplegado soluciones.

Los operadores móviles han identificado que el 70% de los servicios de voz y el 90% del servicio de datos se origina en el interior de edificaciones por lo que la visión del negocio en la actualidad se enfoca en realizar un análisis de rentabilidad sobre posibles ubicaciones de soluciones para interiores basadas en una estimación del tráfico generado y la cual justifique la inversión de la solución.

El campus Udlapark de la Universidad de las Américas se encuentra en una zona donde la cobertura celular presenta falencias en ambientes interiores y exteriores causados por las siguientes razones.

1. Falta de capacidad en las estaciones celulares existentes en el sector.
2. Atenuación de la señal por materiales como: concreto, estructuras metálicas y obstáculos que dificultan el paso de las ondas de radio.
3. Atenuación de la señal por el cuerpo humano.
4. Interferencia de señales proveniente de varias estaciones aledañas al campus.
5. Baja calidad en el servicio de voz y datos.
6. Distancia entre las estaciones celulares y el campus.

El problema principal existente en el campus Udlapark es que las señales de radio frecuencia no pueden penetrar la construcción robusta que posee, lo cual conduce a una cobertura débil y nula en ciertas áreas.

Sin embargo la solución IBS previo a un buen diseño y despliegue nos permite garantizar la cobertura, capacidad y calidad del servicio móvil siendo esta solución óptima para corregir las falencias de radio frecuencia existente en el campus Udlapark.

3. Capítulo III. Descripción de equipos IBS “Indoor Base Station” y sistema radiante distribuido

3.1 Introducción

Las soluciones para ambientes interiores son aquellas que proveen de cobertura de RF (Radio Frecuencia) dedicada dentro de inmuebles donde se ha comprobado que se tiene problemas de cobertura, capacidad y calidad celular.

Las soluciones diseñadas para ambientes interiores tienen la característica de ser multi-operador y multi-tecnología permitiendo la conectividad de uno o varios operadores en el mismo sistema con el propósito de reducir el tiempo de despliegue y los costos que generan los mismos basando en estándares celulares como TDMA, GSM, UMTS.

Los operadores de telefonía celular han visto la necesidad de desarrollar nuevas soluciones que permitan dotar de cobertura a las áreas que no tienen un apropiado servicio celular, tener conectividad inalámbrica de alta velocidad y un servicio de voz eficiente requerido por el usuario.

En la actualidad existen tres empresas pioneras en el desarrollo de soluciones IBS como son: Huawei Technologies S.A, ZTE y Nokia Siemens Networks las cuales procuran utilizar soluciones flexibles para ayudar a los operadores celulares a resolver problemas de cobertura, ahorrar costos, promover la imagen del operador y atraer nuevos suscriptores.

Los usuarios de telefonía móvil en la actualidad necesitan disponibilidad total del servicio (voz y datos) contratada tanto en ambientes interiores como exteriores ya que la comunicación hoy en día se ha convertido en una necesidad del diario vivir y en varios casos en una herramienta de trabajo.

En el escenario de la sede Udlapark se va a realizar el diseño de una solución IBS utilizando un sistema distribuido de antenas (DAS) para distribuir la señal de forma adecuada en los 10 pisos que se encuentran conformados por aulas, oficinas administrativas, parqueaderos, etc.

3.2 Indoor base station (IBS)

La solución IBS se fundamenta en que una estación celular o nodo B irradie su potencia hacia el interior de una edificación por medio de elementos como: cable coaxial, fibra óptica y antenas los cuales son configurados para funcionar a baja potencia con la finalidad de controlar su área de cobertura.

La potencia transmitida por el nodo B se conduce a través del cable coaxial lo cual dependerá del diseño realizado considerando que la potencia será dividida a través de splitters que permitirá distribuir la potencia a todas las antenas consideradas en el diseño.

El equipo IBS se compone de dos módulos:

- **Unidad de banda base (BBU):** Es la unidad de procesamiento de banda base que procesa las señales de una estación base y las convierte a radio frecuencia adicional en la BBU se encuentra el sistema de transmisión de la estación y permite el acceso remoto para la operación y mantenimiento.

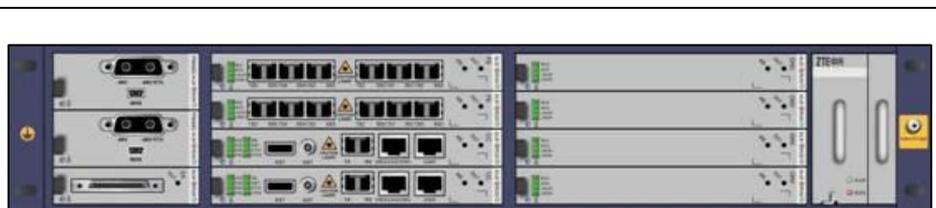


Figura 34. BBU

Tomado de (Bestelco, s.f.)

- **Unidad de radio remota (RRU):** Es la unidad de corrección de errores, ajuste de la frecuencia que opera el operador, procesamiento de la señal analógico-digital y amplificación de potencia, se debe tener en consideración su limitante para las soluciones para ambientes interiores que una RRU soporta un máximo de 18 antenas.



Los equipos antes detallados se encuentran almacenados en un gabinete o mini shelter el cual tiene como funcionalidad mantener los equipos climatizados, resguardados de la lluvia, energizados y seguros.



3.3 Tipo de soluciones para ambientes interiores

Gracias al desarrollo de soluciones para ambientes interiores la mejora de la cobertura y calidad se puede realizar a través de diferentes métodos los cuales dependerán del escenario de radio frecuencia, características de la edificación y factores económicos.

Para un correcto diseño se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Dimensiones del inmueble.
- Material de construcción.
- Número de usuarios.
- Número de pisos.
- Áreas con deficiencia de cobertura.
- Ubicación geográfica.

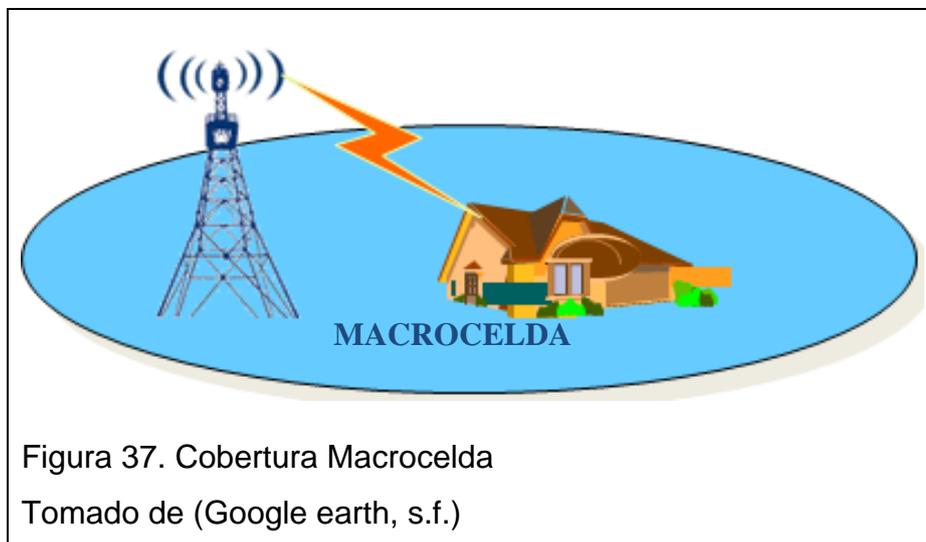
A continuación se detalla las principales soluciones empleadas para proveer de cobertura para ambientes interiores y que las mismas no afecten a la cobertura generada por las celdas exteriores.

3.3.1 Macroceldas

Este es el método más usado para generar cobertura en interiores. La señal de RF es proveniente de las celdas que se encuentran ubicadas en el exterior de la edificación, esto es posible siempre y cuando las estaciones macro se encuentren a una distancia inferior a los 300m y tengan línea de vista directa.

Sin embargo la cobertura total y homogénea en toda la edificación no se puede garantizar ya que las pérdidas de penetración en el edificio pueden superar los 20dB, dependiendo del material de construcción y se debe tener en

consideración que los pisos inferiores como subsuelos por su ubicación suelen ser los más afectados en cobertura.



Como principal beneficio se debe recalcar que este tipo de soluciones a los operadores de telefonía móvil no generan un gasto o inversión adicional como son las soluciones indoor, sin embargo la gran desventaja que tiene es que su capacidad es compartida con los usuarios que se encuentran en el exterior e interior del entorno donde encuentra la edificación provocando la reducción de la calidad del servicio.

3.3.2 Microceldas

Las soluciones denominada microcelda son usadas para atender zonas específicas que cuenten con baja cobertura/calidad, alta demanda de tráfico y sean concurridas por un alto número de usuarios (zonas urbanas).

La microcelda cuenta con una cobertura reducida (300m) lo que significa que dota de cobertura una cuarta parte de la distancia de la solución macrocelda, por lo que su uso no es muy atractivo ante los operadores móviles por su limitada cobertura.

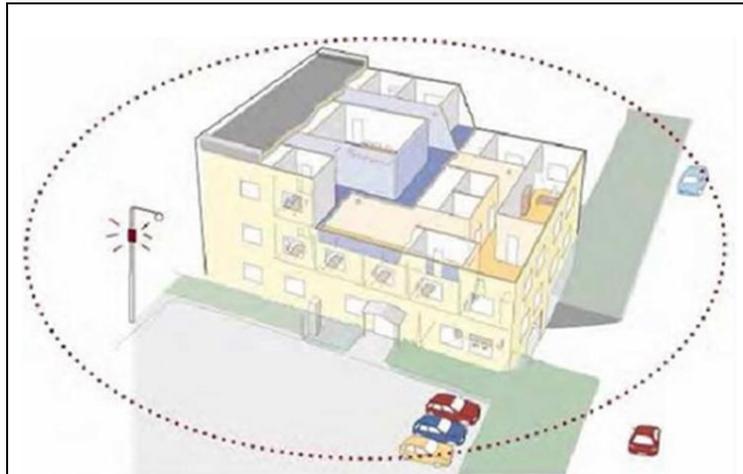


Figura 38. Cobertura Microcelda
Tomado de (Taípe, 2012, pp. 52)

Las principales ventajas que tiene la solución microcelda son que incrementa la cobertura celular, asigna mayor capacidad en la red y permite atender a un mayor número de usuarios.

Se debe tener en consideración que para su correcto funcionamiento los equipos de la solución microcelda deben tener la funcionalidad de interoperabilidad con los sistemas previamente instalados por el operador de telefonía móvil.

3.3.3 Repetidores

Los repetidores son soluciones de rápido despliegue y son utilizados para extender la cobertura celular de celdas exteriores en áreas indoor donde se percibe problemas de cobertura y calidad ocasionado por obstrucciones o pérdida de propagación en el espacio.

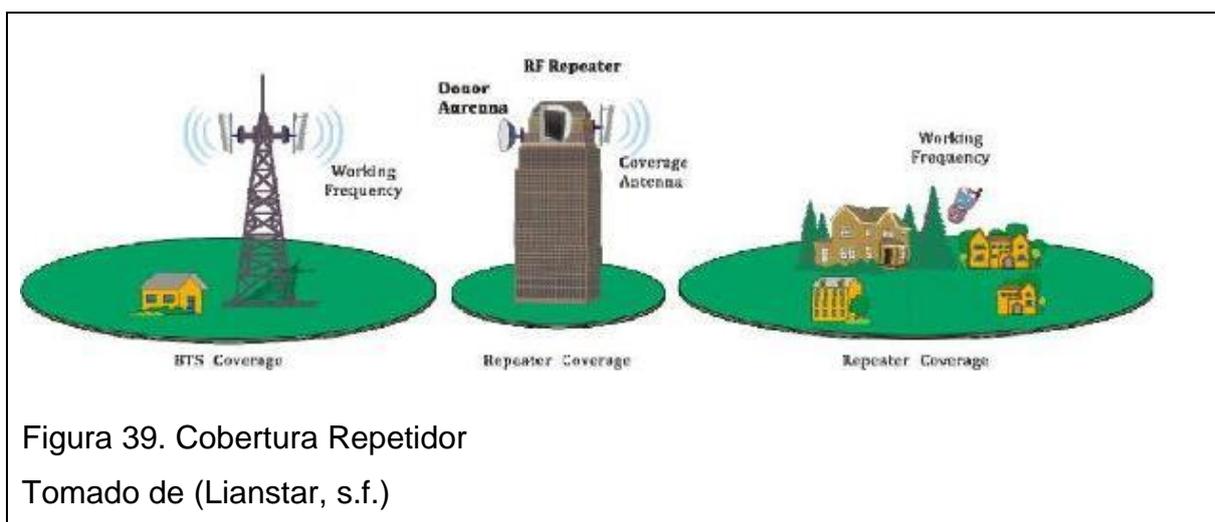
El funcionamiento del repetidor se basa en amplificar la señal de radiofrecuencia tomada de las celdas que se encuentran en el exterior para posterior proveer de una comunicación más robusta en las áreas que se encontraban degradadas.

La solución se conforma de una antena donora la cual recepta las señales de las celdas outdoor (exteriores), amplifica la señal mejorando los niveles de recepción y transmite la señal por medio del sistema radiante (antenas) mejorando el servicio.

En la actualidad existen dos tipos de repetidores que son usados por los operadores de telefonía móvil.

1. **Repetidores pasivos:** Su función es amplificar la señal en una banda de frecuencia específica sin realizar procesos corrección de errores y mejora de la calidad de la señal.
2. **Repetidores activos:** Tienen la funcionalidad de seleccionar la banda de frecuencia a amplificar, modificar la señal recibida y retransmitir la señal mejorada.

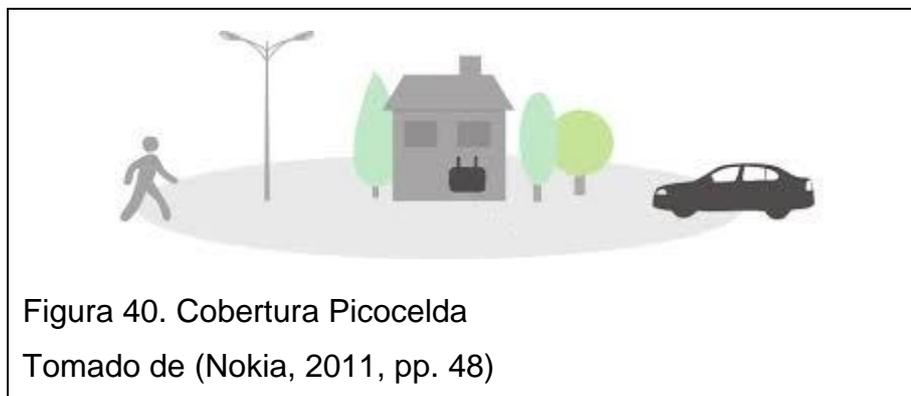
La principal ventaja de esta solución es su fácil instalación y bajos costos al momento de adquirirla sin embargo su principal debilidad es que no proveen de capacidad propia y su cobertura es reducida.



3.3.4 Picocelda

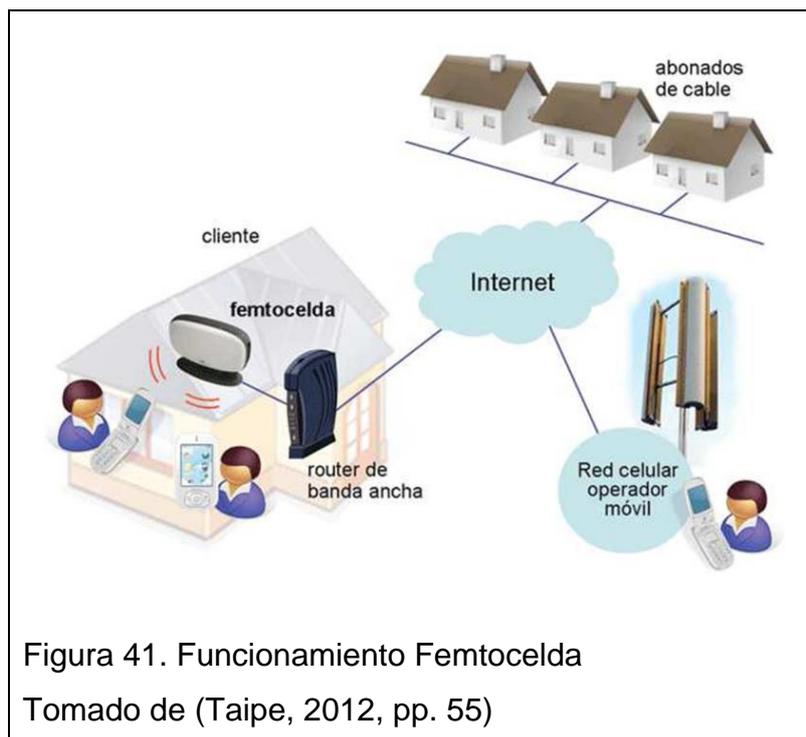
Una picocelda es una pequeña estación base ubicada en el interior de una zona específica y que normalmente genera cobertura a una área pequeña, cuenta con una antena que irradia la señal a baja potencia y proporciona capacidad propia a los usuarios.

Son utilizadas para ampliar la cobertura a zonas interiores donde la señal proveniente del exterior llega con dificultad o para agregar capacidad adicional en áreas donde el uso del servicio de voz es denso.



3.3.5 Femtocelda

La femtocelda tiene una apariencia física similar a un router, se conecta al internet fijo del proveedor ADSL y mediante una correcta configuración permite enrutar el tráfico telefónico móvil de voz y datos generado por el usuario en el interior de su hogar u oficina.



A continuación se encuentra una tabla comparativa con los datos más relevantes de las solución Femtocelda vs Picocelda.

Tabla 8. Comparación entre Femtocelda y Picocelda

Parámetro	Femtocelda	Picocelda
Encargado Instalación	El usuario	La operadora
Conexión con la Central	ADSL, cable	Coaxial o fibra óptica
Precio	Económico	Costoso
Capacidad	3-8 usuarios	10-50 usuarios
Rango de cobertura	< 30m	< 100m

3.4 Sistema distribuido de antenas (DAS)

Una sistema distribuido de antenas o DAS es un sistema de distribución de la señal utilizada para proporcionar la cobertura de red móvil de alta calidad dentro de edificaciones o túneles.

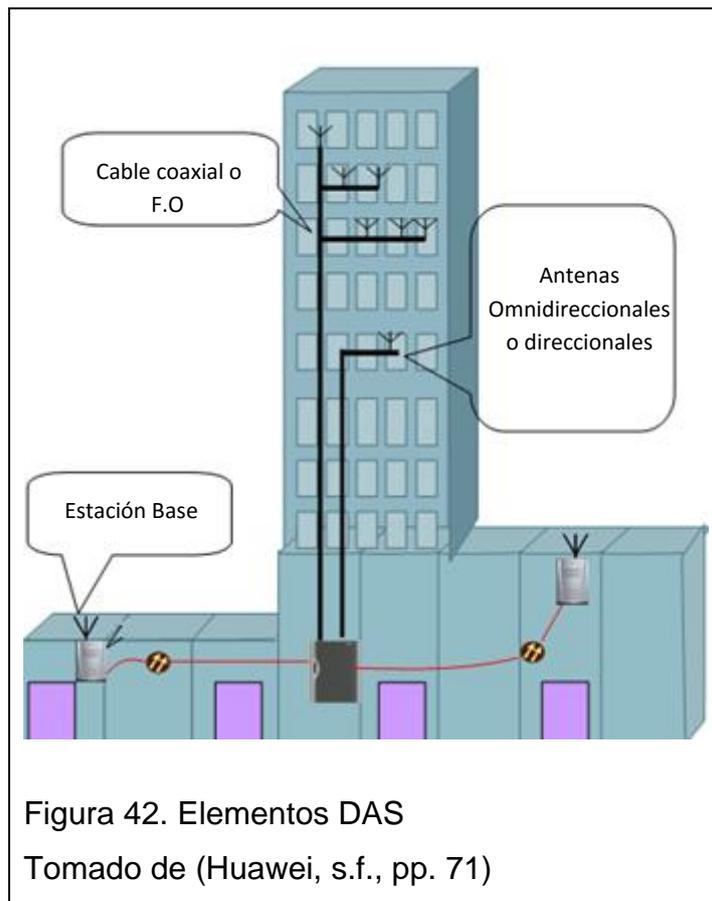
La idea básica de la solución DAS es dividir la potencia de transmisión a lo largo de varios elementos como antenas, cable coaxial, fibra óptica, etc separadas a una distancia eficiente con el fin de proporcionar una cobertura de potencia reducida y con mayor fiabilidad.

Las soluciones DAS son diseñadas para ser multi-operador y multi-tecnología capaces de distribuir las señales de varias tecnologías como GSM, UMTS y LTE por un mismo medio de transmisión sin la necesidad de filtrar o implementar dispositivos adicionales.

Todos los sistemas de IBS requieren una fuente de radio frecuencia ya sea a través de una antena donora o por medio de un estación base (NodoB) que permita receptor una señal confiable para luego ser distribuida por medio de técnicas adecuadas y eficientes.

Las estaciones base conectadas a las soluciones DAS son usadas para dotar de cobertura a áreas extensas como aeropuertos, centros comerciales, edificios, universidades, etc donde la cobertura y capacidad son puntos críticos de mejoras.

Como ventajas tenemos que las soluciones DAS son de rápida planificación y proporcionan cobertura y calidad propia obteniendo un servicio de voz y datos único para la zona que se verá beneficiada no obstante su única desventaja es el costo alto de implementación en comparación con otras soluciones de ambientes para interiores.



Los sistemas DAS se clasifican en tres categorías: pasivos, activos e híbridos.

3.4.1 Sistemas Pasivos

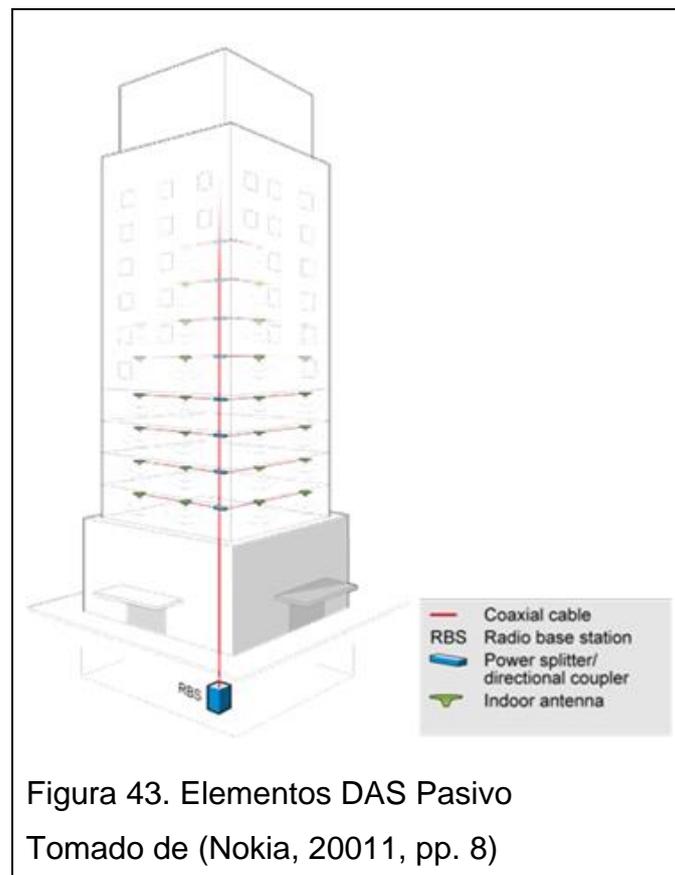
Los elementos que componen la solución no necesitan ser energizados, no cuenta con ningún tipo de amplificación únicamente posee elementos que permiten distribuir la señal de radio frecuencia dentro de pequeños inmuebles en los que la atenuación del cable por la distancia existe no sea un problema.

Entre los principales elementos pasivos tenemos:

- Cable coaxial.
- Splitter.
- Atenuador.

- Acoplador.
- Conectores.

Su principal ventaja es su menor costo ya que requiere de un mínimo mantenimiento preventivo y correctivo posterior a la implementación y puesta en funcionamiento sin embargo una gran limitante para su despliegue es la distancia de cobertura que mantiene la misma.

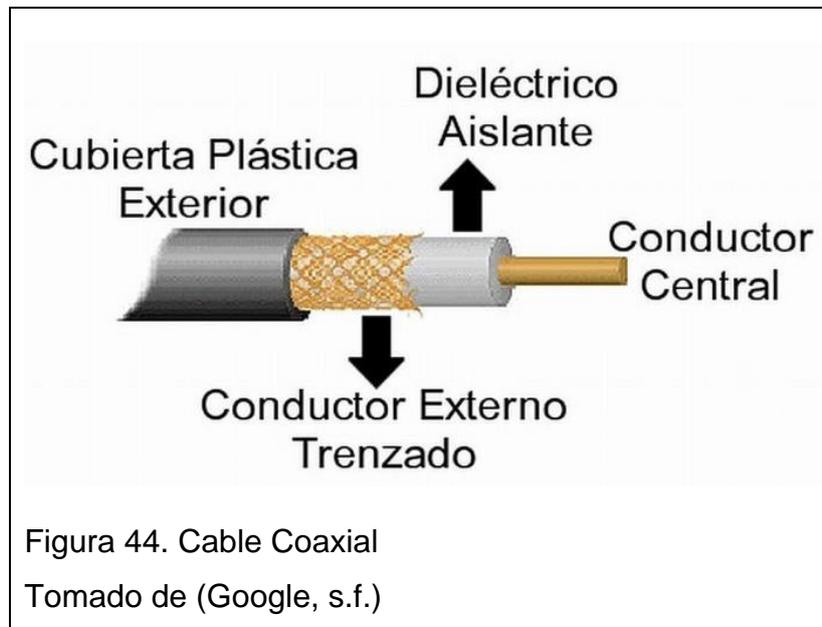


Funcionalidades y características de los elementos pasivos

Cable coaxial

El cable coaxial es utilizado para distribuir la señal de radio frecuencia por medio de los elementos que componen la solución DAS y con ello formar un enlace de radio frecuencia que nos permita distribuir la señal apropiadamente.

Está compuesto por un conductor central rodeado de una capa plástica la cual tiene como función aislar de cualquier interferencia externa producida por elementos externos a la solución y una malla de cobre tejida actuando como blindaje para el conductor central.



Se debe considerar que su desventaja es la alta atenuación y pérdidas de la señal de acuerdo a la longitud del cable (metro).

En la siguiente tabla se encuentran las pérdidas típicas del cable coaxial considerando la frecuencia a trabajar.

Tabla 9. Pérdidas Cable Coaxial

Tipo de cable (Diámetro)	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
1/4	13 dB x 100m	19 dB x 100m	20 dB x 100m
1/2	7 dB x 100m	10 dB x 100m	11 dB x 100m
7/8	3.56 dB x 100m	5.20 dB x 100m	5.51 dB x 100m

Splitters

Este elemento nos permite dividir la señal de entrada en dos o más señales de salida permitiendo tener una distribución de señal homogénea.

El splitter en el ámbito de las telecomunicaciones móviles es utilizado para la interconexión entre varias antenas que se encuentran ubicadas a diferentes distancias. Se debe tener en consideración que al momento de insertar un splitter en el circuito se producen algunas pérdidas ya que se divide la señal y la potencia de entrada será dividida entre todos los puertos de salida más la pérdida del conector que es normalmente de 0.1dB la cual puede variar de acuerdo al fabricante del elemento.



La reducción de la potencia puede ser calculada de acuerdo al tipo de splitter y el número de salidas que posee, en la siguiente tabla se encuentra los valores típicos de pérdidas.

Tabla 10. Perdidas por número de puertos

Número de Puertos	Perdida (dB)
2	3.0
3	4.8
4	6.0
5	7.0
6	7.8
8	9.0
10	10.0

Atenuador

Los atenuadores son utilizados para reducir o atenuar la potencia de la señal de recepción cuando es excesivamente alta y causa inconvenientes. Los atenuadores tienen la capacidad de ser regulables manualmente permitiendo atenuar la señal de acuerdo a la necesidad hasta obtener la señal óptima y el funcionamiento adecuado del sistema.



Figura 46. Atenuador

Tomado de (Google, s.f.)

Acoplador

Los acopladores tienen un funcionamiento similar a los splitters, agregando una ventaja que estos elementos son capaces de dividir la señal de entrada en dos o más señales de salida con diferentes potencias permitiendo ajustar la potencia y de esa manera tener una distribución equitativa de potencia.



Figura 47. Acoplador
Tomado de (Google, s.f.)

Conectores

Los conectores utilizados para instalaciones de soluciones DAS, son elementos lineales y pasivos en la cadena de transmisión, su modelo y aplicación son definidos por el fabricante dependiendo de la potencia de los equipos y el medio en el que serán utilizados.

La presencia de impurezas (material magnético) en las partes que componen al conector, conductividad no lineal, irregularidades en los contactos, humedad, etc tienden a causar problemas de intermodulación afectando a la propagación de la señal.

Un valor típico de pérdida en cada conector es de 0.25dB.



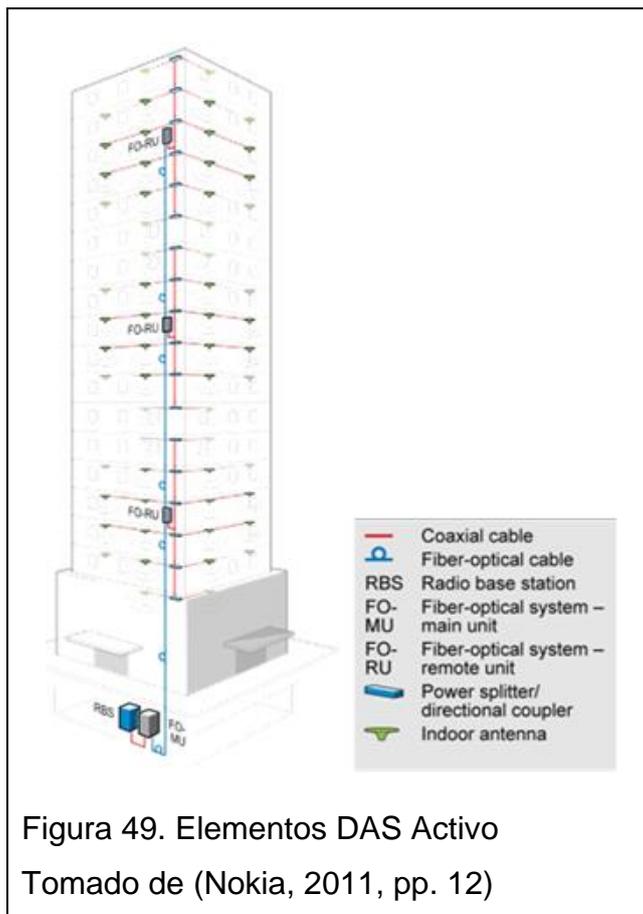
Figura 48. Tipos de Conectores
Tomado de (Google, s.f.)

3.4.2 Sistemas Activos

Los sistemas activos cuentan con elementos como: repetidores o amplificadores que necesitan alimentación eléctrica para poder operar permitiendo dotar de cobertura a áreas con dimensiones considerables.

Este tipo de soluciones tienen mayor complejidad al momento de implementarlos ya que son más propensos a la distorsión e intermodulación de la señal considerando su gran capacidad de cobertura para escenarios interiores.

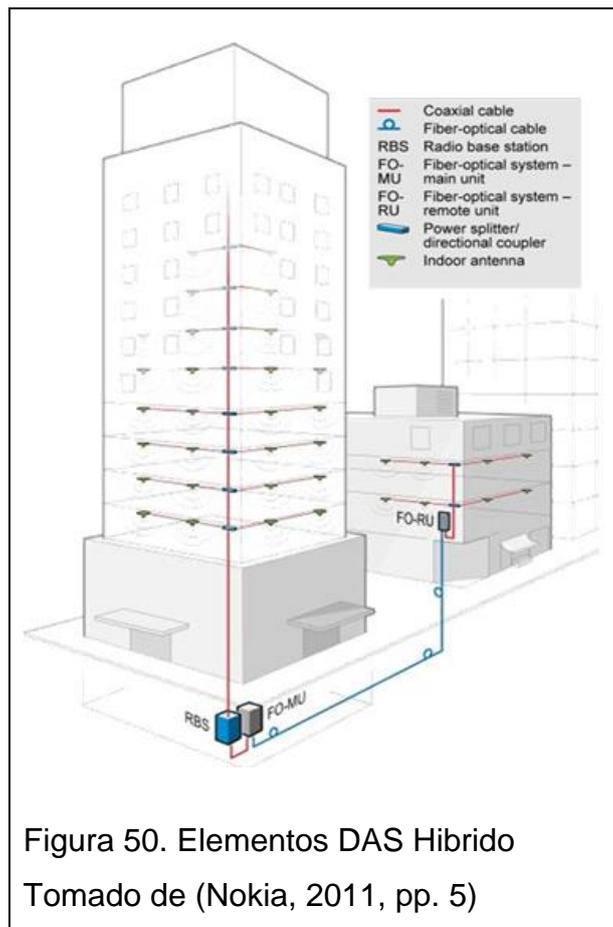
Son instalados frecuentemente en edificaciones que tienen grandes superficies, típicamente donde se verifica que es necesario considerar un número mayor a cien antenas como son en los aeropuertos, centros universitarios, estadios, etc.



3.4.3 Sistemas Híbridos

Esta solución se compone de elementos pasivos y activos, son utilizados con frecuencia en edificaciones con distribución geométrica irregular y características especiales.

Para un correcto funcionamiento del sistema se sugiere dividir el inmueble en dos áreas concentrando en una zona el sistema pasivo y en otra el sistema activo.



En la siguiente tabla se presenta una breve comparación de los sistemas de soluciones DAS antes descritos.

Tabla 11. Comparación sistemas DAS

	DAS Pasivo	DAS Activo	DAS Híbrido
Distancia de Cobertura	Hasta 400 m	Hasta 3 km	Hasta 5Km
Costo de Implementación	Bajo	Medio	Alto
Dificultad de Instalación	Sin dificultad	Poco Complejo	Complejo
Potencia de Salida	Baja	Media	Alta

3.5 Antenas para ambientes interiores

Una antena es un conductor pasivo llevando señal de radio frecuencia en varias direcciones, el cual causa el flujo de corriente que irradia campos electromagnéticos y estos a su vez causan corriente en la antena receptora.

Para ambientes interiores o también conocido como indoor existe una gran limitante en el tamaño y forma de las antenas que son requeridas ya que las mismas deben ser lo más discretas y que no deben generar un alto impacto visual.

En la actualidad existen varios fabricantes como Katrein, Comba, CommScope, Andrew, etc que diseñan y fabrican antenas con diferentes características como son:

- Ganancia.
- Patrón de radiación.
- Modelo.
- Tamaño.

Las características de fabricación varían de acuerdo al diseño y al lugar de aplicación considerando que en el mercado las antenas más utilizadas son las tipo panel y omnidireccionales.

Al sugerir o recomendar la posición de una antena dependerá de la ubicación, tipo de obstrucciones y la aplicación que tendrá en la solución DAS, teniendo en cuenta que existen varios criterios para la ubicación de antenas para ambientes interiores y exteriores.

Como ejemplo se puede mencionar que cuando se tiene una edificación de tamaño normal, forma regular y sin obstrucciones basta implementar una antena omnidireccional para dotar de cobertura a una sala o pasillo completo.



Figura 51. Área de cobertura

Existen dos tipos de antenas usadas para mejorar la cobertura en ambientes interiores conocidas como: antenas Omnidireccionales y antenas Panel.

3.5.6 Antena Omnidireccional

La antena omnidireccional es un transmisor inalámbrico que irradia campos electromagnéticos de radio frecuencia de manera uniforme en todas las direcciones de un plano es decir a los 360°.



Figura 52. Antena
Omnidireccional
Tomado de (Google, s.f.)

3.5.7 Antena Panel

La antena panel o direccional orienta la señal de radio frecuencia en una sola dirección favoreciendo que la mayor parte de la energía sea radiada a una única zona y permitiendo alcanzar una mayor distancia de cobertura.



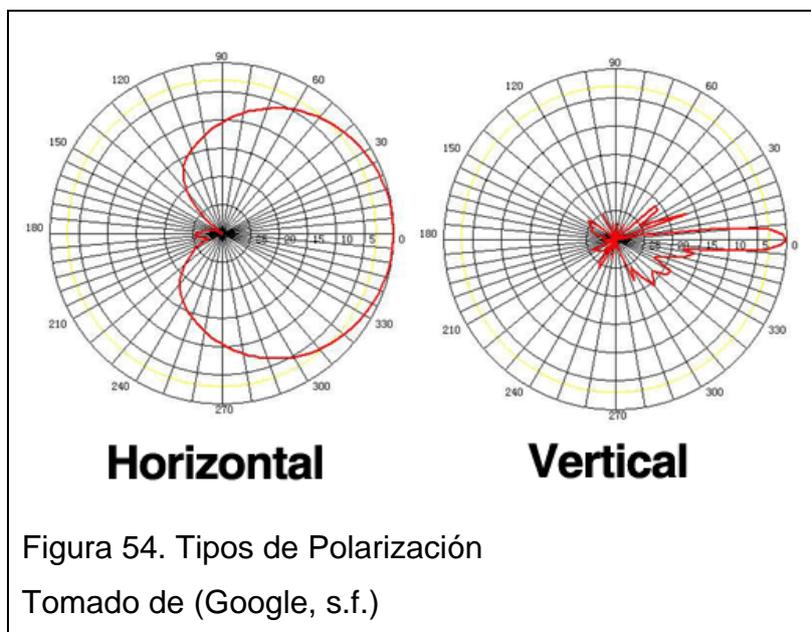
Figura 53. Antena Panel
Tomado de (Google, s.f.)

3.5.8 Características de las Antenas

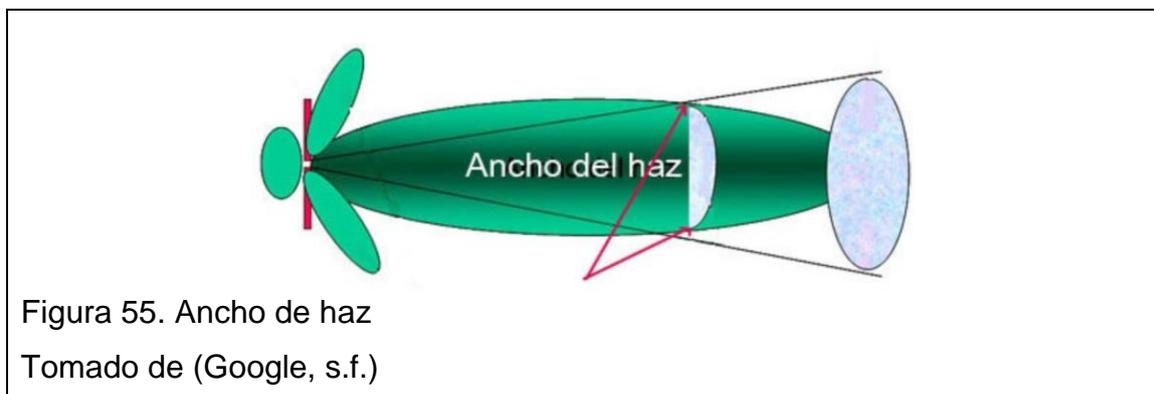
Entre las principales características de las antenas podemos encontrar:

- **Ganancia de la antena:** Esta dada como el cociente entre la cantidad de energía irradiada en la dirección preferencial y la que irradiaría una antena isotrópica alimentada por el mismo transmisor. Este número lo expresamos en decibelios con relación a la isotrópica y por ende se denota en dBi. Este es el parámetro que mejor caracteriza a las antenas, entre más grande sea la ganancia de una antena, esta es más directiva y el haz de radio es más angosto.
- **Polarización:** La polarización corresponde a la orientación del campo electromagnético de la antena en el plano del eje de las X. Para

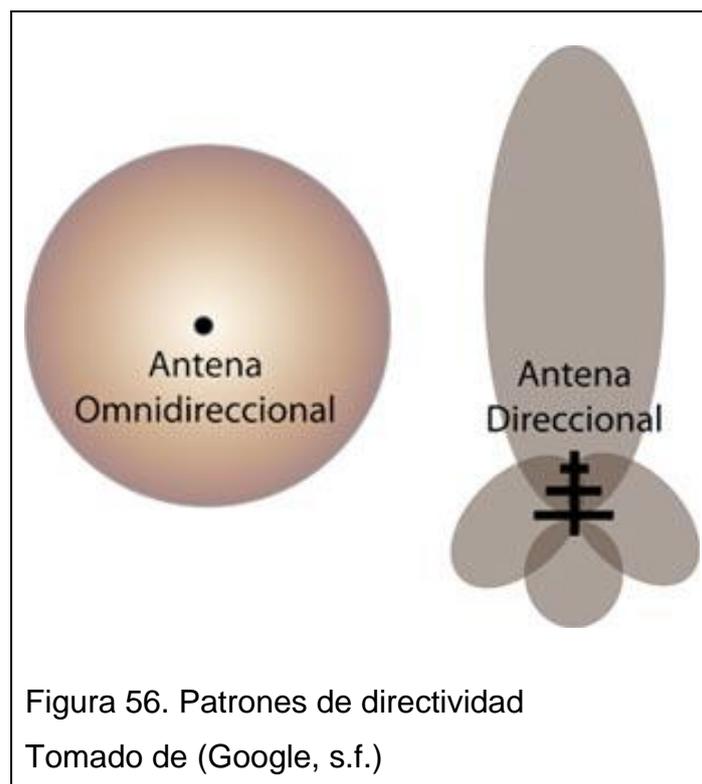
interceptar una cantidad de energía significativa la antena receptora debe ser orientada paralela a la antena transmisora. La polarización puede ser vertical, horizontal y elíptica, Circular (hacia la derecha o hacia la izquierda).



- **Ancho de haz:** El ancho del haz es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad (3dB), respecto a la radiación máxima. Usando el diagrama de radiación figura 1.16, podemos determinar la cobertura donde la antena ofrece óptima cobertura. El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido como ancho del haz y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical.



- **Eficiencia:** Es la relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena en también se describe como la relación entre la ganancia y la directividad
- **Ancho de Banda:** El ancho de banda en una antena es el rango de frecuencia sobre la cual se considera que funciona en forma aceptable. Cuanto más extenso es el rango de frecuencias que abarca cierta banda, más amplio es el ancho de banda de la antena.
- **Directividad:** La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección también se define como la habilidad para concentrar la radiación en una dirección.



3.6 Atenuación de la señal en ambientes interiores

En las edificaciones es muy importante reconocer los materiales utilizados para su construcción como: concreto, acero, aluminio, etc ya que los mismos influyen de forma directa en la propagación de las ondas de RF y ocasionan atenuación en la señal.

En la siguiente tabla se encuentran los valores de atenuación de los materiales comúnmente utilizados para la construcción.

Tabla 12. Valores promedio de atenuación interior

Tipo de Material	Perdida (dB's)
Espacio Abierto	0
Vehículos	6
Cuerpo Humano	3
Edificios	18
Ventana (Vidrio)	3
Ventana Metálica	5 – 8
Paredes delgadas	5 – 8
Madera	10
Pared de concreto	15 – 20
Perdida entre pisos	20 – 30
Suelo y techo delgado	15 – 20
Suelo y techo ancho	20 – 25
Aluminio	4
Pared de aluminio	20
Escalera metálicas	5

3.7 Modelos de propagación para interiores

Los modelos de propagación para ambientes interiores permiten predecir el comportamiento de las señales electromagnéticas en un escenario específico, permitiendo visualizar los niveles teóricos de cobertura y calidad que se obtendrá.

Los modelos de propagación son configurados en programas de simulación como: Atoll o Ebway que permiten planificar y diseñar la cobertura de redes móviles para ofrecer un óptimo desempeño en un ambiente determinado.

A nivel de interiores, los modelos de propagación se pueden clasificar en tres grupos: modelo empírico de banda estrecha, modelo empírico de banda ancha y modelo determinístico.

3.7.1 Modelo empírico de banda estrecha

Los modelos empíricos de banda estrecha vienen expresados en ecuaciones matemáticas que permiten tener de manera aproximada medidas de propagación entre el transmisor y el receptor.

Las ecuaciones en general son función de la distancia que nos permiten predecir únicamente las pérdidas de propagación en el aire y están basados en campañas de mediciones que dan como resultado una aproximación a las pérdidas medias de propagación entre el Tx y Rx.

3.7.2 Modelo empírico de banda ancha

El modelo empírico de banda ancha permite predecir las pérdidas de propagación de manera aproximada en función del delay spread promediado de distintas mediciones de entornos con similares condiciones.

El delay spread o retardo de propagación es la diferencia entre el tiempo que

le lleva a una señal viajar entre el transmisor y receptor.

3.7.3 Modelo determinístico

Son métodos de cálculo que simulan físicamente la propagación de ondas electromagnéticas brindando información tanto en banda ancha como en banda estrecha del canal dentro de las edificaciones.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará el modelo Motley Keenan ya que se encuentra formado de valores teóricos y de mediciones reales que nos permitirán tener con exactitud los valores adecuados para el diseño de la solución.

El modelo Motley Keenan considera el trayecto directo entre el transmisor y receptor para el cual asume que las pérdidas generadas en el trayecto se producen debido a la suma dos factores:

1. Pérdidas en el espacio libre.
2. Pérdidas debido a la atenuación de la señal.

Este modelo permite considerar las pérdidas originadas por la trayectoria con la fuerza de la señal recibida con relación a la distancia entre el transmisor y receptor.

La ecuación que describe a este modelo es la siguiente.

$$L = 37 + 20 \log d + Nlf + \sum_{j=1}^2 Kwj.Lwj$$

Ecuación 4

Dónde:

N=Número de suelos atravesados.

L_f (dB)= Factor pérdida unitaria por piso.

K_{wj} = Factor de pérdidas para paredes ligeras ejm Madera.

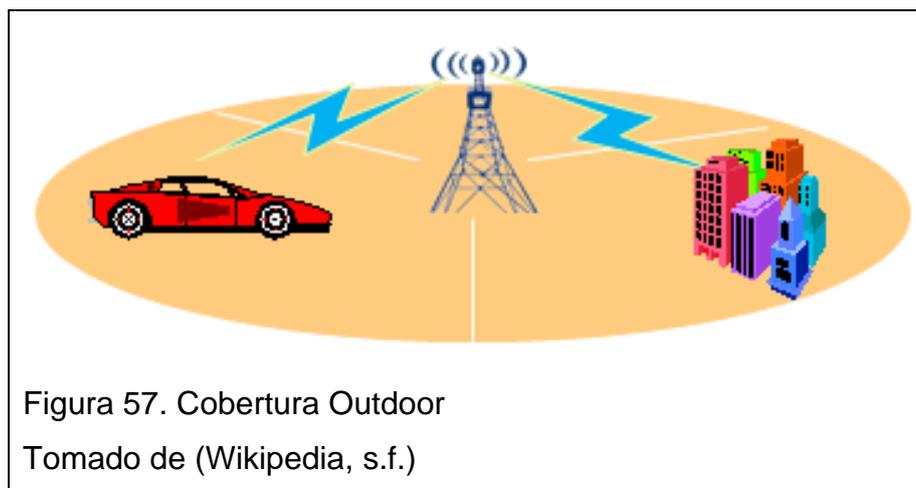
L_{wj} = Factor de pérdidas para paredes gruesas ejm Concreto.

d = Distancia entre el transmisor y receptor.

3.8 Cobertura para ambientes exteriores

La cobertura para ambientes exteriores o conocido también con el nombre de Outdoor se refiere a un área geográfica específica que dispone del servicio de telefonía móvil, el mismo es generado por una o varias antenas ubicadas en zonas estratégicas con la finalidad de cubrir la mayor distancia posible y que su propagación sea controlada.

El operador móvil realiza pruebas y análisis para identificar zonas con posibles problemas de cobertura con la finalidad de brindar un servicio garantizado y que el usuario tenga la posibilidad de realizar llamadas sin rupturas de señal, sin cortes de comunicación y que el abastecimiento de la señal móvil un lugar determinado sea suficiente para que el dispositivo móvil pueda operar normalmente y que el abonado pueda intercambiar información utilizando la red móvil.



3.9 Tipo de estructuras para ambientes exteriores

En el Ecuador las operadoras de telefonía móvil tienen diseñado e implementado a nivel nacional cinco tipos de estructuras las cuales son elegidas acorde al requerimiento de cobertura (distancia) y a la zona en estudio.

3.9.1 Monopolo

El monopolo es una estructura elaborada de acero inoxidable y galvanizado, el mismo se encuentra constituido de 8 lados (octágono) y está conformada por tramos de 6m obteniendo una altura máxima de 42m.

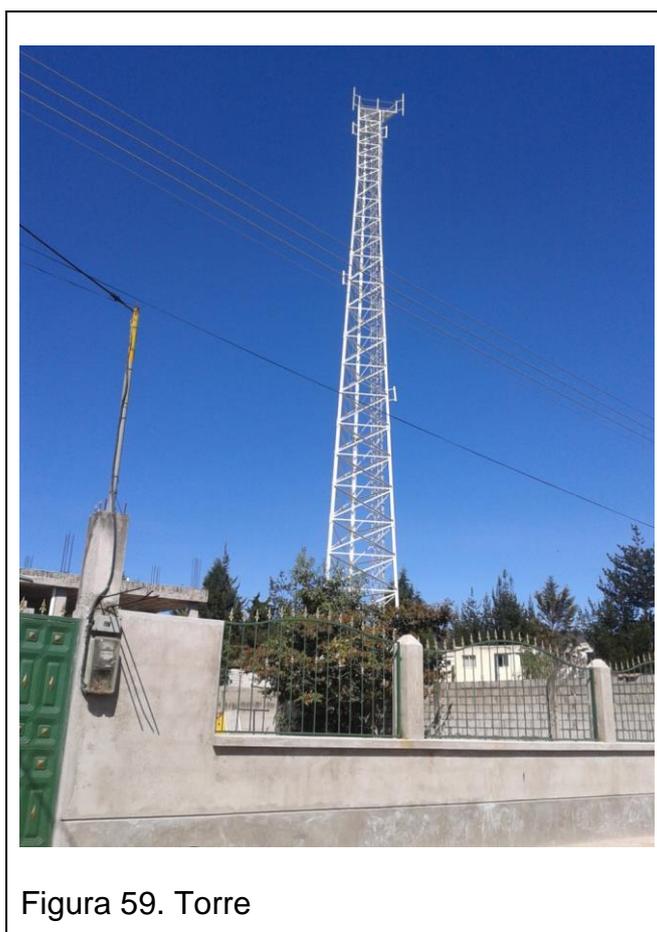


Figura 58. Monopolo

3.9.2 Torre

La torre es una estructura elaborada de acero inoxidable, la misma se encuentra constituida de 3 lados (triangular) y está conformada por tramos de 6m obteniendo una altura máxima de 102m.

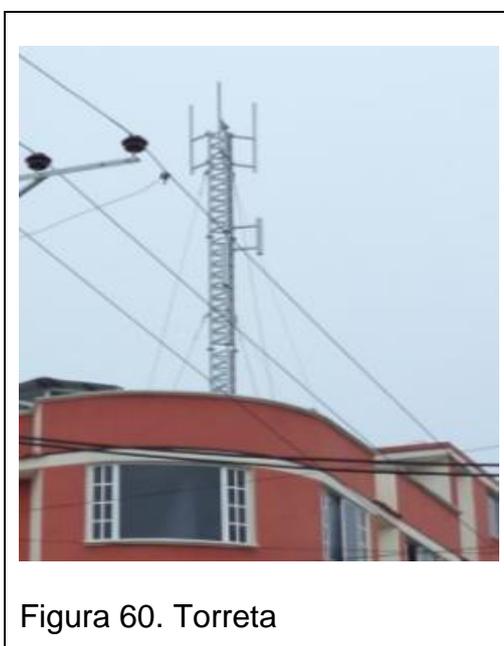
La característica particular de la torre es que se encuentra pintada de colores blanco, rojo y naranja ya que por su altura es necesario que los distintos medios de transportes aéreos puedan distinguir y visualizar. En la actualidad la Dirección General de Aviación Civil (DAC) se encuentra en un constante control con la finalidad de prevenir y controlar que se cumplan los requerimientos solicitados.



3.9.3 Torreতা

La torreता es una estructura elaborada de acero inoxidable y galvanizado, la misma se encuentra constituido de 3 lados (triangular) y es implementado en terrazas de edificaciones, se puede encontrar en tres distintas dimensiones: 6m, 9m y 12m.

Para una mayor estabilidad y seguridad se instalan rigidizadores que permiten aumentar la resistencia a las cargas laterales y a la presión ejercida por la velocidad del viento.



3.9.4 Mástiles

El mástil es una estructura elaborada de acero inoxidable y galvanizado, su forma es de un cilindro y es implementado en terrazas de edificaciones, se puede encontrar en tres dimensiones: 3m, 6m y 9m.

Para una mayor estabilidad y seguridad se instalan rigidizadores que permiten aumentar la resistencia a las cargas laterales y a la presión ejercida por la velocidad del viento.



Figura 61. Mástil

3.9.5 Soporte en fachada

El soporte en fachada es una estructura elaborada de acero inoxidable y galvanizado, su forma es de un cilindro y es implementado en las fachadas de las edificaciones, se puede encontrar en dimensiones únicas de 3m.



Figura 62. Soporte en fachada

3.10 Modelos de antenas para ambientes exteriores

La antena para ambientes exteriores es un conductor pasivo que lleva la señal de radio frecuencia en varias direcciones, el cual causa el flujo de corriente que irradia campos electromagnéticos y estos a su vez causan corriente en la antena receptora.

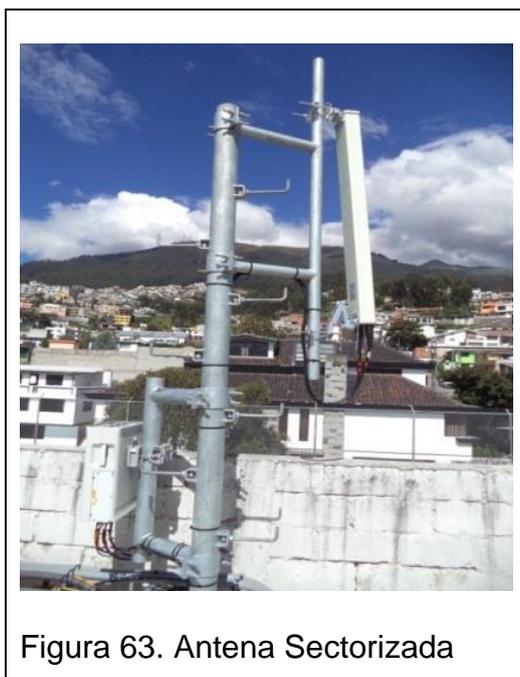
Los modelos de antenas que son usadas para ambientes exteriores poseen las mismas características de las antenas consideradas para mejorar la cobertura y calidad en ambientes interiores.

- **Ganancia de la antena:** Relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de la potencia que radiara una antena isotrópica.
- **Polarización:** Es la orientación del campo electromagnético de la antena en el plano del eje de las X.
- **Ancho de haz:** El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido como ancho del haz y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical.
- **Eficiencia:** Relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena.
- **Ancho de Banda:** Es el rango de frecuencia sobre la cual se considera que funciona en forma aceptable.
- **Directividad:** Relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección.

3.10.1 Antena Sectorizada

La antena sectorizada es una mezcla de antenas direccionales y omnidirecciones, es usada para ambientes urbanos, urbanos denso, y suburbano donde se necesita generar cobertura, capacidad y calidad.

La configuración más popular que utilizan es de 3 antenas sectoriales pudiendo llegar a un máximo de 6 por tecnología. Dentro del uso de las antenas sectorizadas tenemos con aperturas horizontales de 120°, 90°, 65° y 33°, mientras que para las verticales lo típico es encontrar aperturas de 10° a 17° estos valores pueden variar acorde al fabricante.



3.10.2 Inclinación de antenas

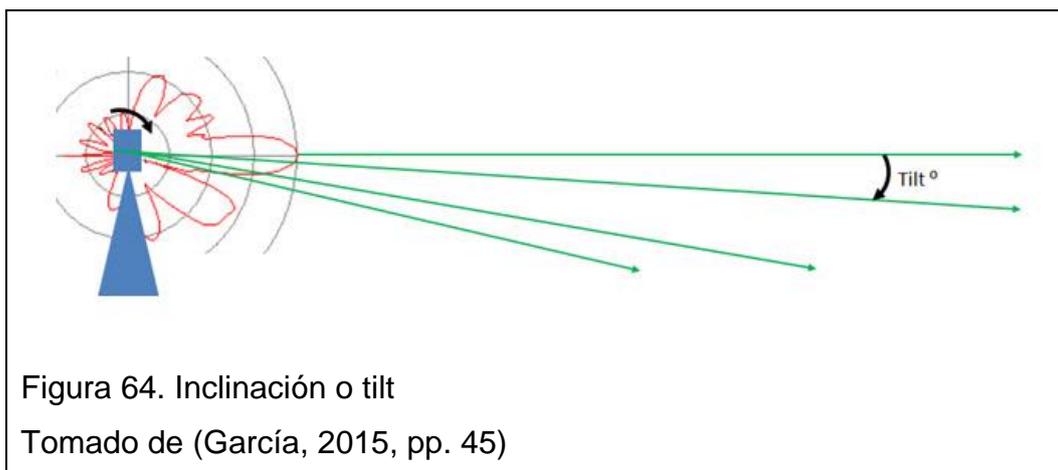
Para brindar un buen servicio de telefonía celular se debe tener una óptima configuración lógica y física, es ahí donde intercede la inclinación de antenas de transmisión y recepción de señal de radio frecuencia.

La inclinación de antenas o también conocido tilt es un parámetro físico relevante para el buen funcionamiento de la red y con ello brindar un servicio de calidad. Esta inclinación está presente en grados sexagesimales (0° - 90°).

El término "Tilt" proviene del idioma inglés que significa inclinación palabra usada frecuentemente para expresar dicho parámetro.

La antena puede estar direccionada en dos posiciones:

1. **Vista hacia abajo o downtilt:** La antena se encuentra direccionada o con vista hacia el suelo.
2. **Vista hacia arriba o uptilt:** La antena se encuentra direccionada o con vista hacia el cielo.



Es importante considerar que para la inclinación Downtilt o Uptilt, la concentración de radiación están directamente proporcionada a la inclinación, es decir a mayor Downtilt mayor concentración de radiación y a mayor Uptilt menor concentración

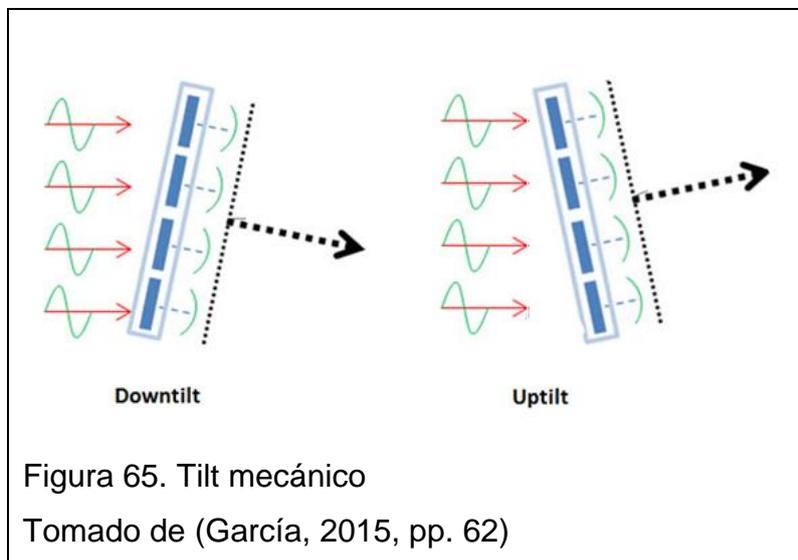
3.10.3 Tilt Mecánico

Es la inclinación física de la antena, sus características de radiación sufren un ensanchamiento horizontal, tomando la forma de un globo de agua, la antena es inclinada mecánicamente.

Existen dos opciones de tilt mecánico:

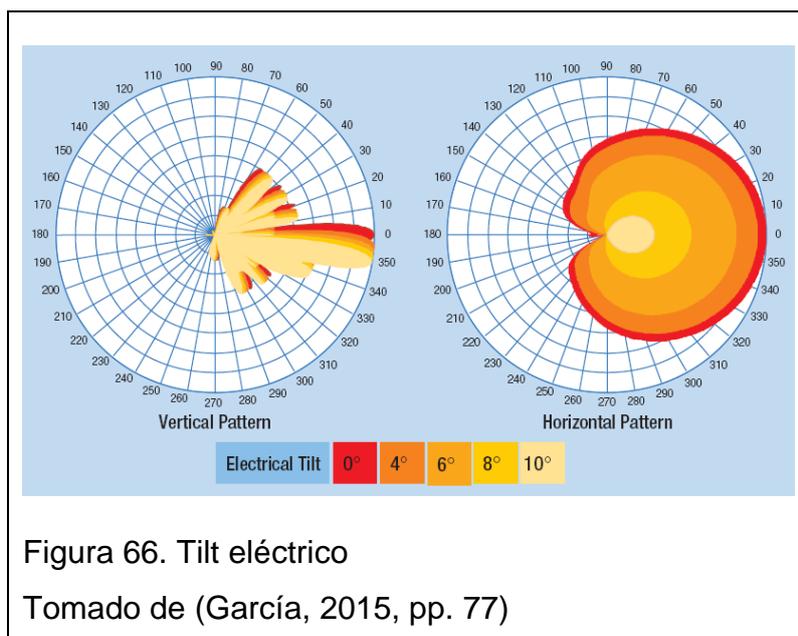
1. **Tilt Positivo:** Es aquella inclinación de la antena direccionada hacia el suelo, es decir downtilt.

2. **Tilt Negativo:** Es aquella inclinación de la antena direccionada hacia el cielo, es decir uptilt.



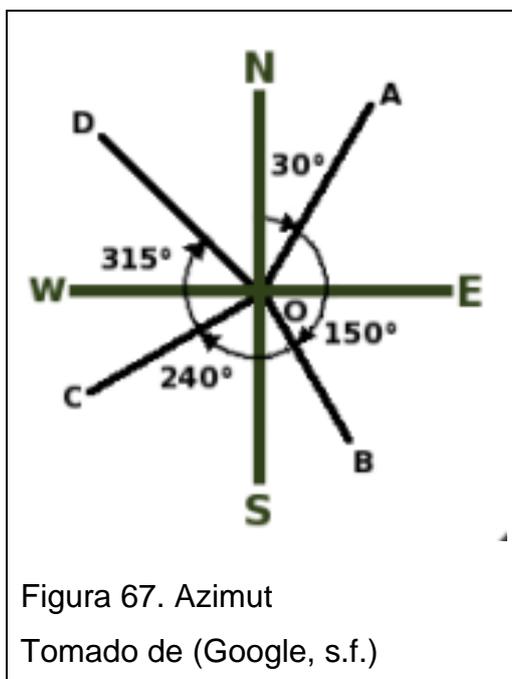
3.10.4 Tilt Eléctrico

Sus características de radiación se reducen, es decir parecería que sufre una atenuación en todo el lóbulo principal variando la fase de la señal transmitida, este puede ser ajustado manualmente o remotamente.



3.10.5 Azimut

Es la orientación que tiene cada antena de una estación celular, este parámetro es medido a partir del punto cardinal Norte en sentido horario de 0° a 360° .



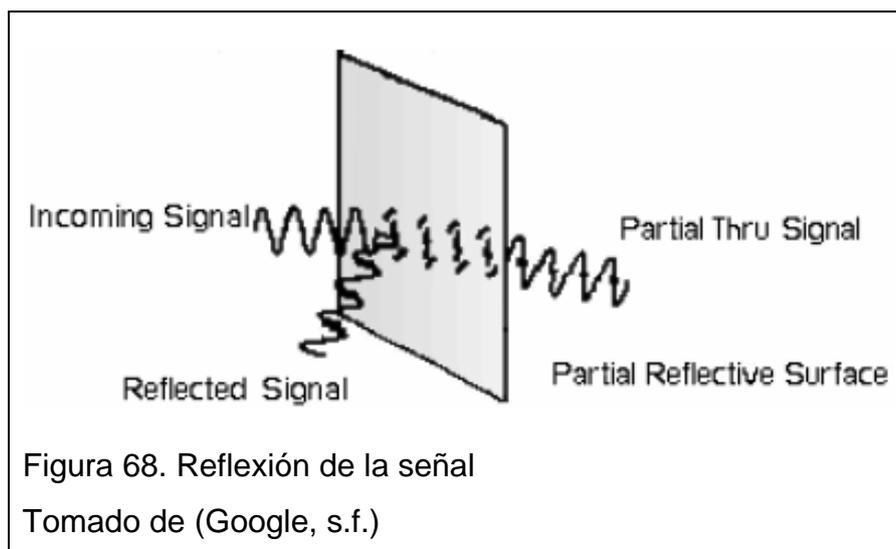
3.11 Desvanecimiento y propagación de la señal

El desvanecimiento de la señal se produce principalmente por la distancia existente entre el transmisor y receptor sin embargo intervienen otros factores como obstáculos, tipo de antena, patrón de radiación que varían temporalmente la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación a la señal original.

Los mecanismos de propagación o conocidos también como fenómenos son la reflexión, difracción, dispersión y refracción dando lugar a trayectorias adicionales de propagación de las ondas electromagnéticas.

3.11.1 Reflexión

La reflexión ocurre cuando una señal electromagnética que se propaga por el aire incide o golpea sobre un objeto cuyas dimensiones son mayores que la longitud de onda de la señal y tiene diferentes propiedades eléctricas.

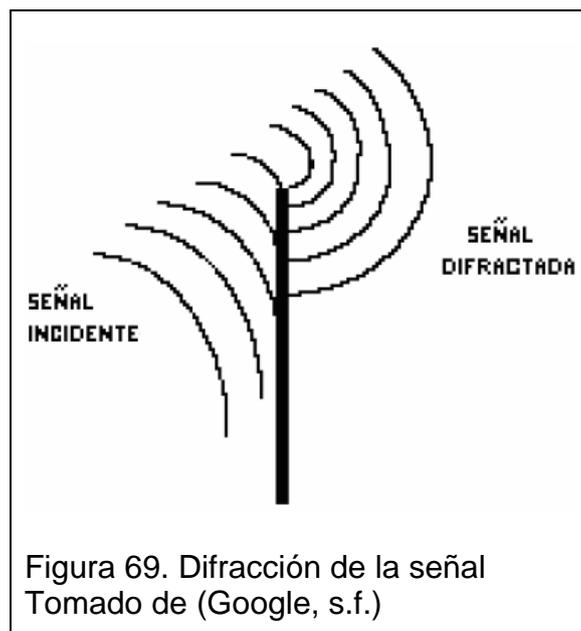


Como se puede apreciar en la figura 68 un porcentaje de la señal es transmitido dentro del objeto y el porcentaje sobrante es reflejado.

3.11.2 Difracción

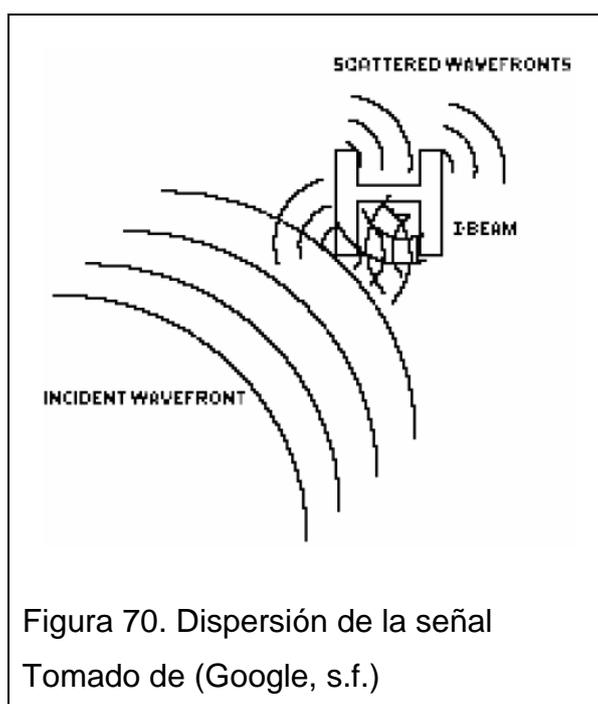
La difracción es la curva o desviación de una señal electromagnética al rozar un objeto, lo cual provoca un cambio de dirección de la señal. El cambio de dirección o la desviación dependerá de las siguientes características.

- Grosor de los objetos.
- Longitud de onda de la señal.



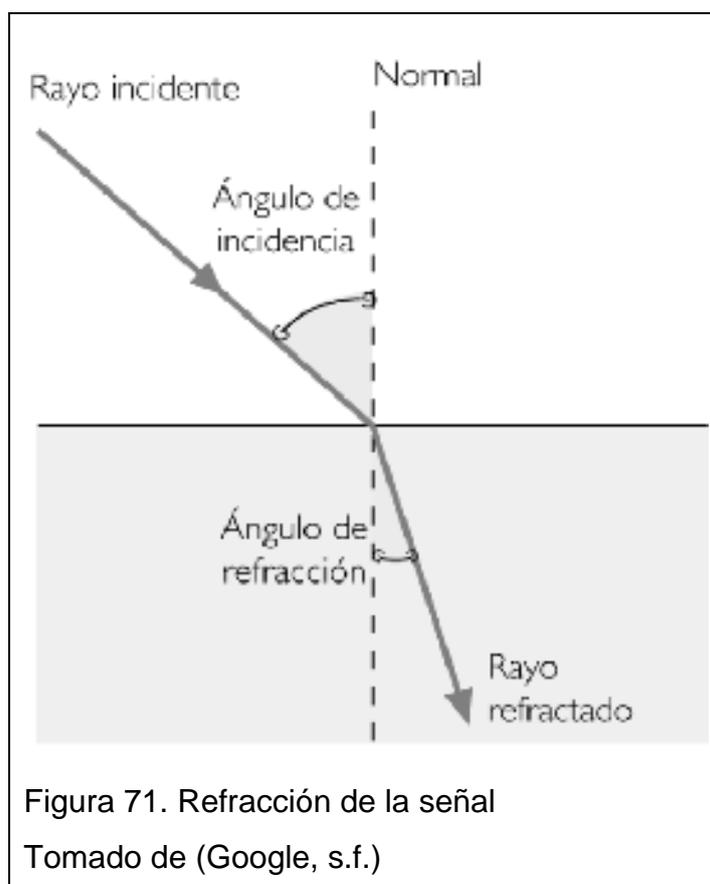
3.11.3 Dispersión

La dispersión ocurre cuando una señal electromagnética golpea una superficie rugosa o áspera, cuyas dimensiones son pequeñas con relación a la longitud de onda y obteniendo como resultado que la energía reflejada es difundida en varias direcciones.



3.11.4 Refracción

La refracción es el cambio de dirección o curvatura de una señal electromagnética que experimenta la onda al pasar de un medio material a otro. Este fenómeno se produce si la onda incide inclinadamente sobre la superficie de separación de los dos materiales considerando índices de refracción distintos.



3.12 Factores de atenuación y pérdidas en ambientes exteriores

Las pérdidas generadas en ambientes exteriores debilitan la señal de radio frecuencia reduciendo la distancia de cobertura deseada o en varios casos limitando el servicio celular dentro de edificaciones.

Las pérdidas debidas a la atenuación de la señal por factores exteriores se definen como: la diferencia de cobertura entre la señal medida a nivel de calle y la señal medida en el interior de una edificación.

En la tabla 1.5 se encuentran varios tipos de obstrucciones encontradas en ambientes exteriores y la pérdida que generan los mismos.

Tabla 13. Valores promedio de atenuación exterior

Tipo de Obstrucción	Pérdida (dB´s)
Área densa urbana	20
Área urbana	15
Área suburbana	8
Bosques, arbustos y vegetación natural	13 – 15
Espacio abierto	0
Cuerpo humano	3
Edificios	12 – 18
Ventana de vidrio	3
Ventana metálica	5 – 8
Paredes	5 – 8
Paredes de concreto	15 – 20

3.13 Interferencia y ruido

La interferencia es uno de los factores más relevantes que deben ser considerados al momento del diseño, operación y mantenimiento de sistemas inalámbricos.

La principal causa de interferencia en cualquier ambiente de radio frecuencia son los materiales que se encuentran en su entorno especialmente los constituidos de materiales metálicos con tendencia a reflejar la señal.

Existen equipos electrónicos que operan a la misma frecuencia que pueden ser considerados como fuentes de interferencia produciendo degradación en la calidad del servicio y perjudicando la operatividad en un ambiente de radio frecuencia determinado.

Las interferencias de intermodulación e inter-símbolo también constituyen problemas al momento del diseño y despliegue de sistemas inalámbricos.

3.13.1 Intermodulación

La intermodulación es un problema de interferencia multi-señal en la que dos o más señales con frecuencias diferentes se mezclan en una fase no lineal para formar nuevas señales.

Las tres principales fuentes de intermodulación se describen a continuación.

1. Intermodulación entre transmisores estrechamente espaciados.
2. Interferencia en los receptores causada por señales fuertes fuera de la frecuencia de recepción.
3. Interferencia en antenas, conectores, mástiles y filtros.

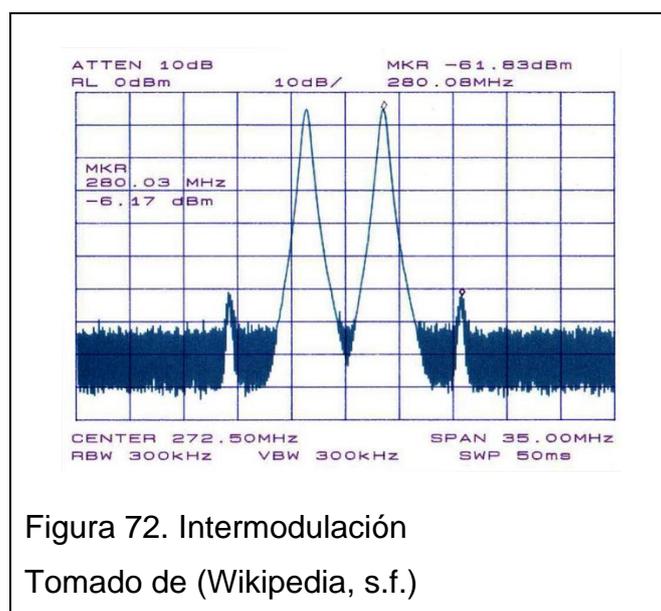


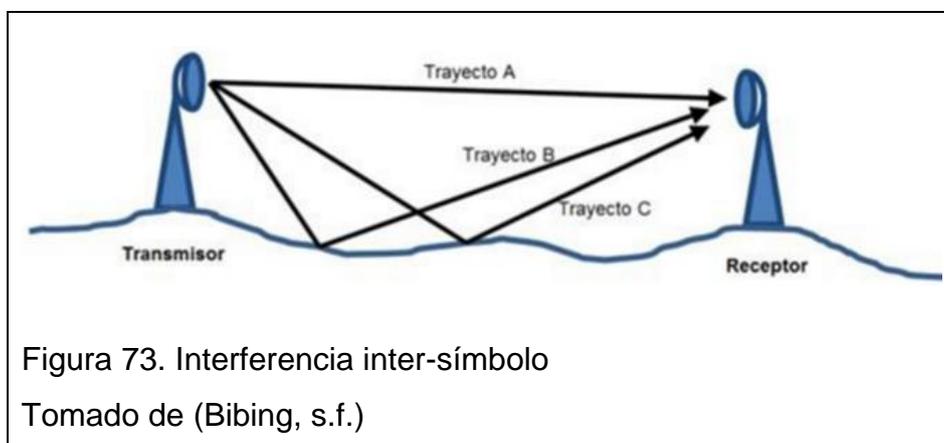
Figura 72. Intermodulación

Tomado de (Wikipedia, s.f.)

3.13.2 Interferencia inter-símbolo

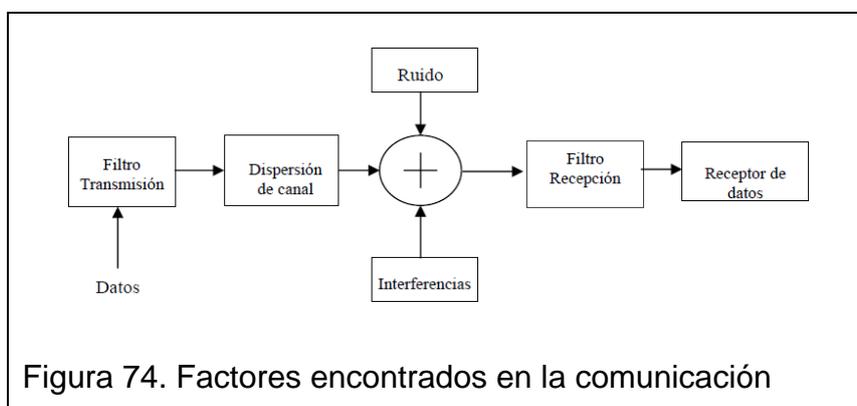
La presencia de trayectos múltiples de propagación de radio frecuencia es un fenómeno que se origina a las reflexiones de las ondas sobre obstáculos presentes en el trayecto que une el transmisor con el receptor.

Este fenómeno causa el desvanecimiento de la señal recibida, produciendo una fuerte degradación de la tasa de error, aumentando los bits errados y obteniendo una señal deteriorada e ineficiente.



3.13.3 Ruido

El ruido es la señal no deseada presente en un sistema eléctrico, reduciendo la capacidad del receptor para reconocer correctamente los símbolos enviados por el transmisor limitando la velocidad de transmisión.



3.14 Modelos de propagación para exteriores

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio en un ambiente determinado.

Los modelos de propagación nos dan una explicación de uso de la cobertura y las pérdidas máximas que deben existir en un punto determinado, es decir nos indica cómo llega la señal de radio frecuencia a propagarse sobre un determinado terreno.

3.14.1 Modelo Okumura Hata

Este modelo de propagación fue basado en un extensivo plan de mediciones tomadas por Okumura en la ciudad de Japón. Hata proporciona ecuaciones que describen los datos recolectados por Okumura, los cuales fueron procesados y presentados en formato gráfico.

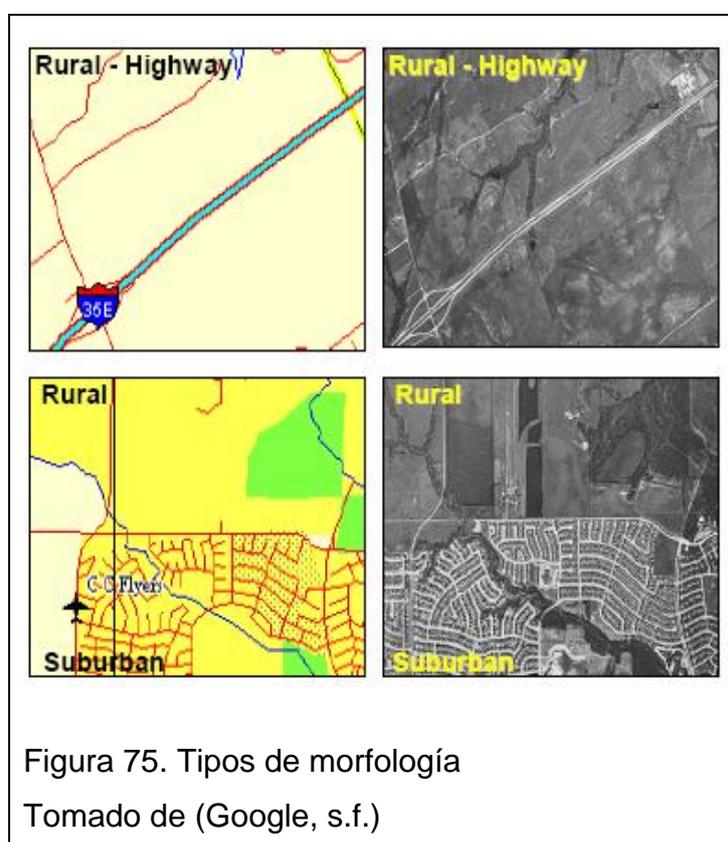
El modelo Hata (originalmente publicado) es válido para:

- 400 MHz a 1500 MHz.
- Altura de la antena del dispositivo móvil entre 1m y 10m.
- Altura de la antena de la estación celular entre 30m a 200m.
- Antena de la estación celular bien definida en un tipo de clutter.
- Radio de la celda entre 1km y 20km.

Existen 4 tipos de morfologías (clutter) de terreno que se usan dentro del modelo Hata:

- **Dense Urban:** Urbano denso, morfología de ciudad, típicamente contiene edificios, centros de negocios, altos rascacielos, crecimiento notable en la construcción de edificios conteniendo una alta densidad de abonados.

- **Urban:** Urbano, pesadamente construido, abarrotado con edificios medianamente altos, multifamiliares, residencias, muchas casa, largas villas con poca densidad de bosques y una población medianamente instalada.
- **Suburban:** Suburbano, compuesto de villas, carreteras o autopistas con pocas casas, pequeños edificios y árboles con un volumen de población mínimo.
- **Rural:** Rural, pocos obstáculos como árboles o pequeños edificios para el camino de la propagación de la señal, con claras áreas entre 300 a 400 m libres o de campo abierto.



3.14.2 Hata Urbano

Cuando optimizamos un modelo Hata, se deberá entender cuáles parámetros están siendo optimizados y cómo afectarán en el desempeño del modelo. En este modelo la vía más sencilla para optimizarlo es añadiendo un coeficiente C,

Si el modelo es usado sobre una gran distancia mayor a 1 Km esto producirá un bajo error (típicamente 0 dB) pero la desviación estándar puede ser importante, para esto usamos el rango de la estación.

$$LHU = c1 + c2 \log(f) - 13.82 \log(hB) - a(hM) + [44.9 - 6.55 \log(hB)] \log(d).$$

Ecuación 5

Dónde:

f=Frecuencia en MHz

hB= Altura de la antena de la estación celular en metros.

hM= Altura de la antena del dispositivo móvil en metros.

d= distancia desde la estación celular en Km.

$$a(hM) = [1.1 \log(f) - 0.7]hM - [1.56 \log(f) - 0.8]$$

Ecuación 6

Los valores tipos usados en los coeficientes C dependiendo de la frecuencia se describen a continuación.

Tabla 14. Valores coeficientes

Coeficiente	Frecuencia (MHz)	Valor
C1	400 - 1500	69.55
	1500 - 2000	46.3
C2	400 - 1500	26.16
	1500 - 2000	3.9

3.14.3 Hata Urbano Denso

Comparado con el modelo Hata Urbano se añade el coeficiente C_m , esto implica que la diferencia son 3dB con relación a la morfología. Los rangos de distancia por lo general son menores comparados a los modelos urbano y suburbano.

$$LHD = c_1 + c_2 \log(f) - 13.82 \log(hB) - a(hM) + [44.9 - 6.55 \log(hB)] \log(d) + C_m$$

Ecuación 7

Dónde:

f =Frecuencia en MHz

hB = Altura de la antena de la estación celular en metros.

hM = Altura de la antena del dispositivo móvil en metros.

d = Distancia desde la estación celular en Km.

$$a(hM) = 3.2[\log(11.75hM)]^2 - 4.97$$

Ecuación 8

3.14.4 Modelo Walfisch Ikegami

El modelo se encuentra basado en los trabajos desarrollados por Walfisch, Bertoni e Ikegami Et, es aplicable a grandes, pequeñas o micro celdas donde las antenas son montadas bajo terrazas de edificios, tejados y asume las pérdidas generadas por la obstrucción de edificaciones.

$$L = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f)$$

Ecuación 9

Dónde:

L = Pérdidas en dB.

d= Distancia en Km.

f= Frecuencia en MHZ.

Existen otros modelos de propagación definidos en la 3GPP TR 25.942 para escenarios de macro celdas y micro celdas.

Macro Celda

$$L = 40 (1 - 4 * 10^{-3} * D_{hb}) * \log R - 18 * \log D_{hb} + 21 \log f + 80$$

Ecuación 10

Micro Celda

$$L = 20 \log(4\pi d_n / \lambda)$$

Ecuación 11

Dónde:

D_{hb}= Altura de las antenas de la estación celular.

R= Distancia entre el dispositivo móvil y la estación.

f= Frecuencia en MHZ.

λ = Longitud de onda.

d_n= Distancia ilusoria, es la suma de los segmentos de la calle.

4. Capítulo IV. Recolección de datos en campo y análisis del entorno de cobertura 3G existente en el campus Udlapark

4.1 Introducción

Los niveles de cobertura y calidad de la señal celular deben encontrarse dentro de un rango aceptable el cual se encuentra establecido por el ente regulador y el operador móvil con la finalidad de garantizar al abonado la entrega adecuada del servicio requerido.

Las técnicas de medición pueden variar dependiendo la ubicación geográfica, escenario de radio frecuencia y tiempo, lo cual influenciará de forma directa al momento de realizar el análisis y diseño de la solución con la cual se proyectará mejorar y garantizar el servicio móvil.

Las operadoras móviles en el Ecuador realizan constantes monitoreos de su red para garantizar su correcto funcionamiento y determinar la parametrización adecuada que garantice la calidad del servicio contratado por el usuario.

En este capítulo se procederá a la recolección de datos y a la ejecución del protocolo de pruebas que nos permitirá identificar y presentar los principales indicadores cobertura y calidad existentes en el interior y exterior del campus Udlapark.

4.2 Ubicación geográfica del campus Udlapark

El campus Udlapark se encuentra ubicado en la Av. Simón Bolívar y la Vía a Nayón junto al redondel del ciclista, se encuentran conformados por once pisos en los cuales se encuentran laboratorios de investigación, ciencias de la salud e ingeniería, talleres de diseño, salas de clase, auditorios, biblioteca,

cafetería, salas de exposición, salas de cómputo, parqueaderos y espacios de bienestar estudiantil.

Tabla 15. Información preliminar Udlapark

INFORMACIÓN PRELIMINAR DEL CAMPUS Udlapark	
LATITUD (WGS84):	-0.163304°
LONGITUD (WGS84):	-78.459333°
ASNM(m):	2852m
DIRECCIÓN	Av. Simón Bolívar y la Vía a Nayón junto al redondel del ciclista
TIPO DE SOLUCIÓN	Indoor-Outdoor + Nodo B
DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS	Interiores y Exteriores
UBICACIÓN SATELITAL Y VISTA PANÓRAMICA DEL CAMPUS	
	
UBICACIÓN SATELITAL	VISTA PANORÁMICA

4.2.1 Problemas de cobertura y calidad

La sede udlapark en la actualidad tiene problemas de cobertura y calidad móvil en el interior y en los alrededores del campus. Los estudiantes, personal administrativo y visitantes experimentan constantes problemas al intentar realizar llamadas telefónicas o enviar datos desde sus dispositivos móviles, problemas que conllevan a una indisponibilidad del servicio, interrupciones repentinas y caídas abruptas de la señal.

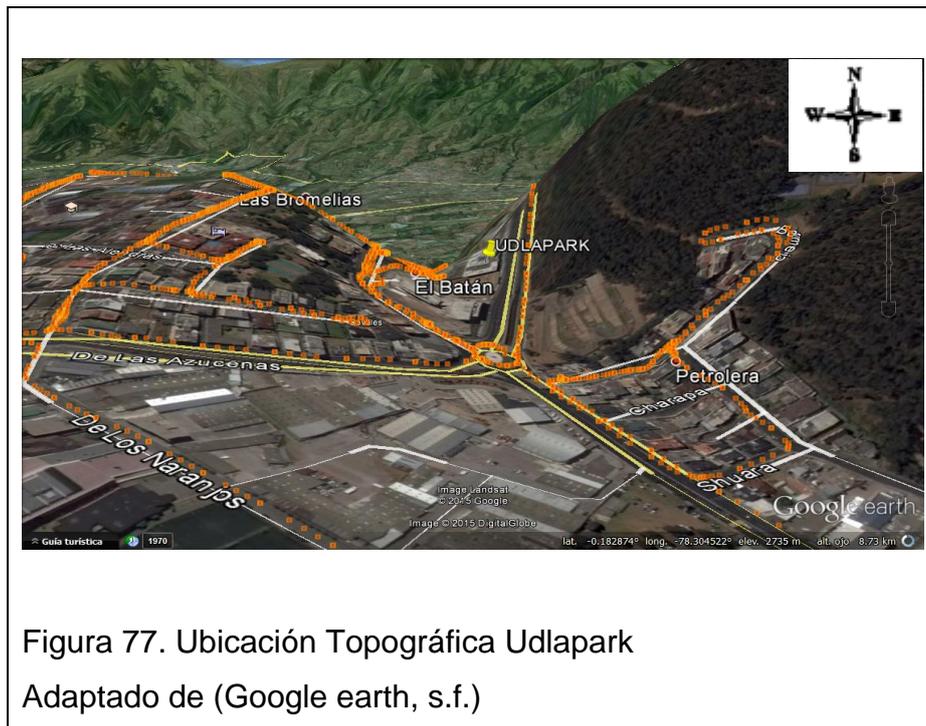
Este problema trae consigo consecuencias muy graves ya que al ser un centro educativo que alberga aproximadamente a 5000 personas distribuidos entre estudiantes, personal administrativo y visitantes es alta la exigencia de un servicio móvil óptimo para realizar actividades de índole académico y personal.

Los centros educativos son un punto económico estratégico para las operadoras móviles ya que al albergar un número considerados de usuarios generan grandes ganancias sin embargo si los abonados no pueden finalizar satisfactoriamente las llamadas o cursar datos, significa perdida de oportunidad para aumentar sus ingresos diarios.

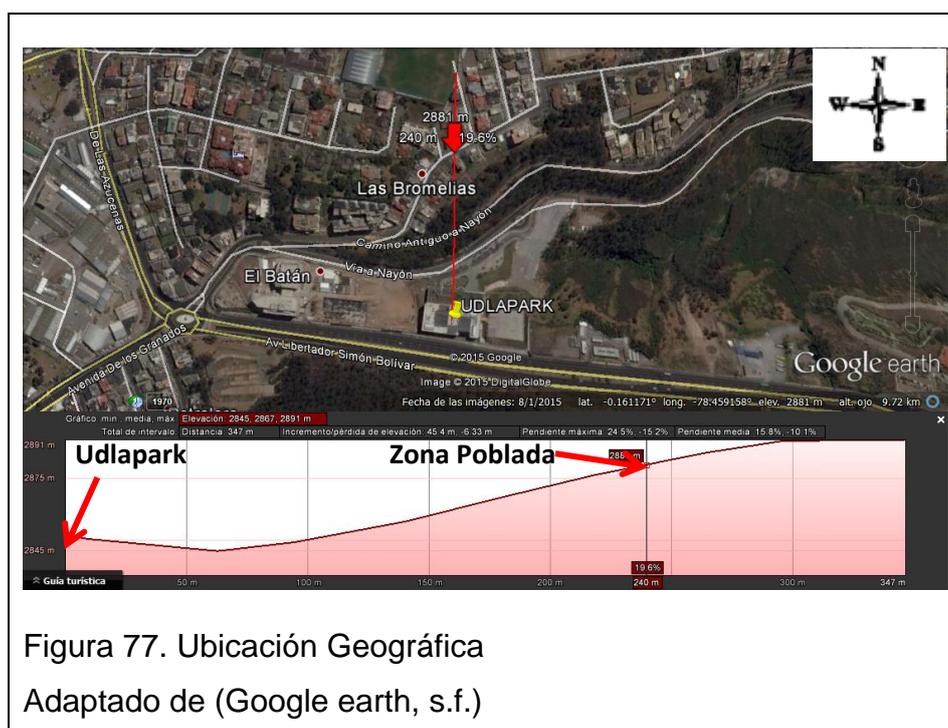
Analizando la ubicación de la sede Udlapark se puede observar posibles causas de esta problemática.



1. Se encuentra ubicado en un área suburbana, la misma que se encuentra rodeada de obstrucciones por naturaleza (montañas) y el número de estaciones celulares es limitada para la alta demanda existente en el sector.



2. La sede se encuentra edificada en una zona irregular (hueca) con respecto a las viviendas del sector por lo que genera que las ondas de radio frecuencia se dispersen en el ambiente.



Como se puede apreciar en la figura 77 la altura sobre el nivel del mar que difiere el campus de la zona poblada es de 30m.

3. La edificación cuenta con pisos 11 pisos fabricados de concreto y vigas robustas atenuando las señal significativamente en el interior.



Figura 78. Campus Udlapark

4. La presencia de obstrucciones como edificaciones, viviendas, arboles, etc limitan y debilitan la cobertura indoor y outdoor.



Figura 79. Obstrucciones aledañas al Campus
Adaptado de (Google earth, s.f.)

Considerando los anteriores puntos se puede concluir que el impedimento para establecer comunicaciones móviles de calidad es originado por la ausencia de estaciones celulares y la presencia de obstrucciones, es por esto que es necesario realizar mediciones de señal dentro y fuera del campus para confirmar las falencias en el ambiente de radio.

4.3 Descripción del protocolo de pruebas

Antes de proceder a realizar el diseño de una solución, es necesario evaluar el ambiente actual de la red móvil ofrecida por el operador con el propósito de identificar las zonas con falencia y proponer un plan de acción.

Una de las formas más utilizadas para evaluar la red es llevando a cabo un drive test y walk test lo cual dependerá del área a evaluar.

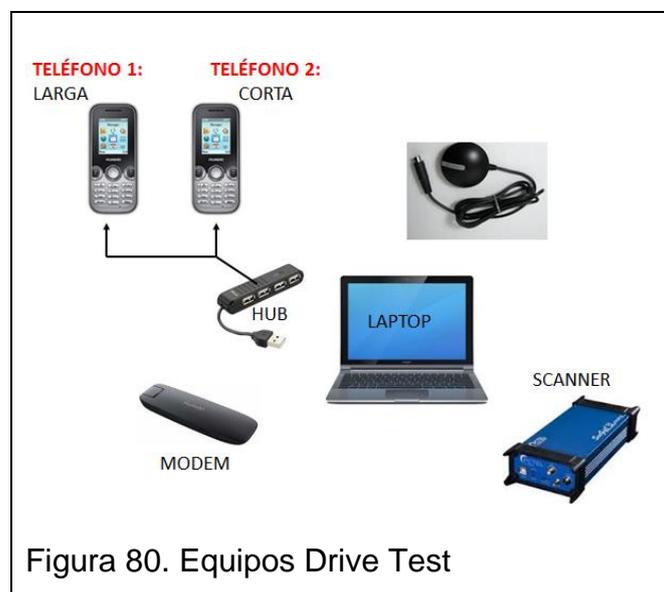
4.3.1 Drive Test

El drive test o recorrido de prueba es un examen efectuado en las redes celulares independientemente de la tecnología (GSM, CDMA, UMTS, LTE) que nos permiten visualizar como se está comportando la red en una zona específica. El drive test consiste en la recolección de datos y parámetros como: RSCP e Eclo mediante la circunvalación de un vehículo por una ruta predefinida.

El equipo de drive test se encuentra conformado de los siguientes elementos.

- Software de muestreo (Tems Discovery).
- Computadora portátil.
- Teléfonos abiertos la banda.
- Modem 3G (realiza la prueba de datos)
- Scanner

- Antena RF (recepta todas las señales del operador).
- GPS (posiciona los datos asignando longitud y latitud).



Durante el recorrido de drive test la computadora y el software de muestreo interactúan permitiendo la recolección de datos en tiempo real, lo cual nos permite visualizar el desempeño de la red en campo.

4.3.2 Walk Test

El walk test se basa en la recolección de datos y parámetros de cobertura (RSCP)- calidad (Ec/Io), calidad existentes en el interior de edificaciones, con la particularidad que las mediciones son obtenidas recorriendo a pie y no siendo necesario la ayuda de un vehículo.

4.3.3 Área de Cobertura

El área de cobertura (RSCP) en un sistema móvil es el área dentro del cual se tendrá un nivel de señal adecuado que permita la prestación del servicio requerido por el usuario. Este es un factor sensible relacionado con la habilidad para acceder a la red y constituye el requerimiento obligatorio para disponer de un servicio de tercera generación.

La falta de cobertura de la red celular en una determinada área es una de las causas más frecuentes para que exista degradación de la calidad y limite el servicio solicitado, perjudicando al abonado y por ende al operador móvil que ve reducido sus ingresos económicos.

4.3.4 Metodología de las mediciones de cobertura y calidad

El objetivo de la definición del siguiente protocolo de pruebas es establecer el procedimiento de medición de los indicadores de cobertura (RSCP) y calidad (Eclo) en redes UMTS existentes en la sede Udlapark.

Para conocer e identificar con exactitud los niveles existentes en el interior y exterior del campus, se realizarán mediciones con tres UE's en modo activo (Llamadas cortas).

Con la información recolectada se procederá a generar mapas de cobertura y calidad que me permitirán identificar de manera gráfica y puntual las zonas con problemas.

UE estado activo

El objetivo de utilizar tres UE's en modo activo (llamadas cortas) es para validar la cobertura- calidad y verificar que las llamadas originadas se cursen correctamente y no sean finalizadas abruptamente por la red.

Las llamadas de pruebas se consideran de tipo on-net, es decir el número de origen y destino pertenecen a la misma operadora, la metodología de las llamadas on-net, se debe a que el análisis a realizarse es a nivel de la interfaz aire de una determinada operadora móvil.

Las llamadas tendrán un tiempo de duración de 25 segundos, con un tiempo de espera entre cada llamada de 10 segundos permitiendo evaluar el desempeño de la red celular.

Tabla 16. Protocolo de pruebas

Modo	Tipo de Prueba
1 UE modo activo (llamada corta)	Duración: 25 seg. Tiempo entre llamadas: 10 seg.

4.3.5 Herramientas y métodos de medición

Para la toma de mediciones de los parámetros relacionados a la cobertura (RSCP) y calidad (Eclo) se utilizarán herramientas de recolección y procesamiento de datos desarrollados por la empresa Ascom también conocido con el nombre de Tems (software).

Para la recolección de la información se utilizará Tems Investigation versión 14.6.5 que soporta tecnología UMTS y el cual nos permite almacenar las muestras y eventos de la red de telefonía móvil tomadas por los teléfonos celulares, para luego ser procesada e interpretadas mediante Tems Discovery Device Professional versión 10.0.2.

Las mediciones se realizarán por medio de walk test (interior) y drive test (exterior) dependiendo del escenario de radio frecuencia, adicionalmente la información obtenida es recopilada en un archivo con extensión .log.

El área en el cual se tomaron las mediciones fue en los pasillos de los once pisos que se encuentra conformado la sede Udlapark previa autorización para el ingreso del mismo, así como también en los alrededores del campus en un radio aproximado de 750 metros.

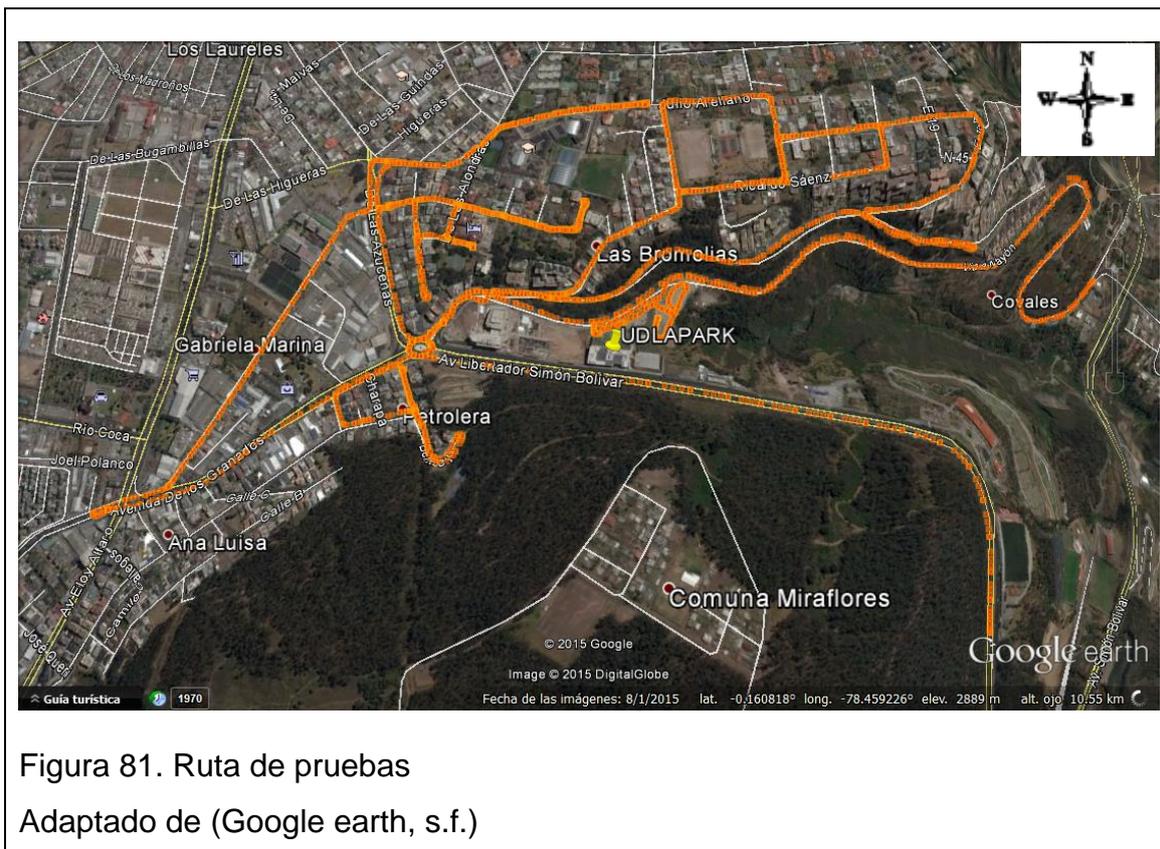


Figura 81. Ruta de pruebas

Adaptado de (Google earth, s.f.)

4.4 Análisis y presentación de resultados

En base a los parámetros previamente establecidos y al análisis realizado en el capítulo I la operadora CNT E.P cuenta con el peor escenario dentro y fuera del campus, posee un número inferior de radio bases y abonados en comparación con las otras operadoras que actualmente prestan servicios de telefonía móvil en el Ecuador.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el interior y exterior del campus Udlapark sobre la operadora móvil CNT E.P.

4.4.1 Niveles de cobertura y calidad ambiente Outdoor

Los niveles de cobertura o RSCP en el exterior del campus mantienen un valor promedio de -83dBm, sin embargo en las zonas como: Vía Nayón, Monteserrin, Academia Cotopaxi, parqueaderos estudiantes Udlapark y Av., Simón Bolívar

se aprecia valores superiores a -85dBm encontrándose dentro los rangos de aceptable y malo.

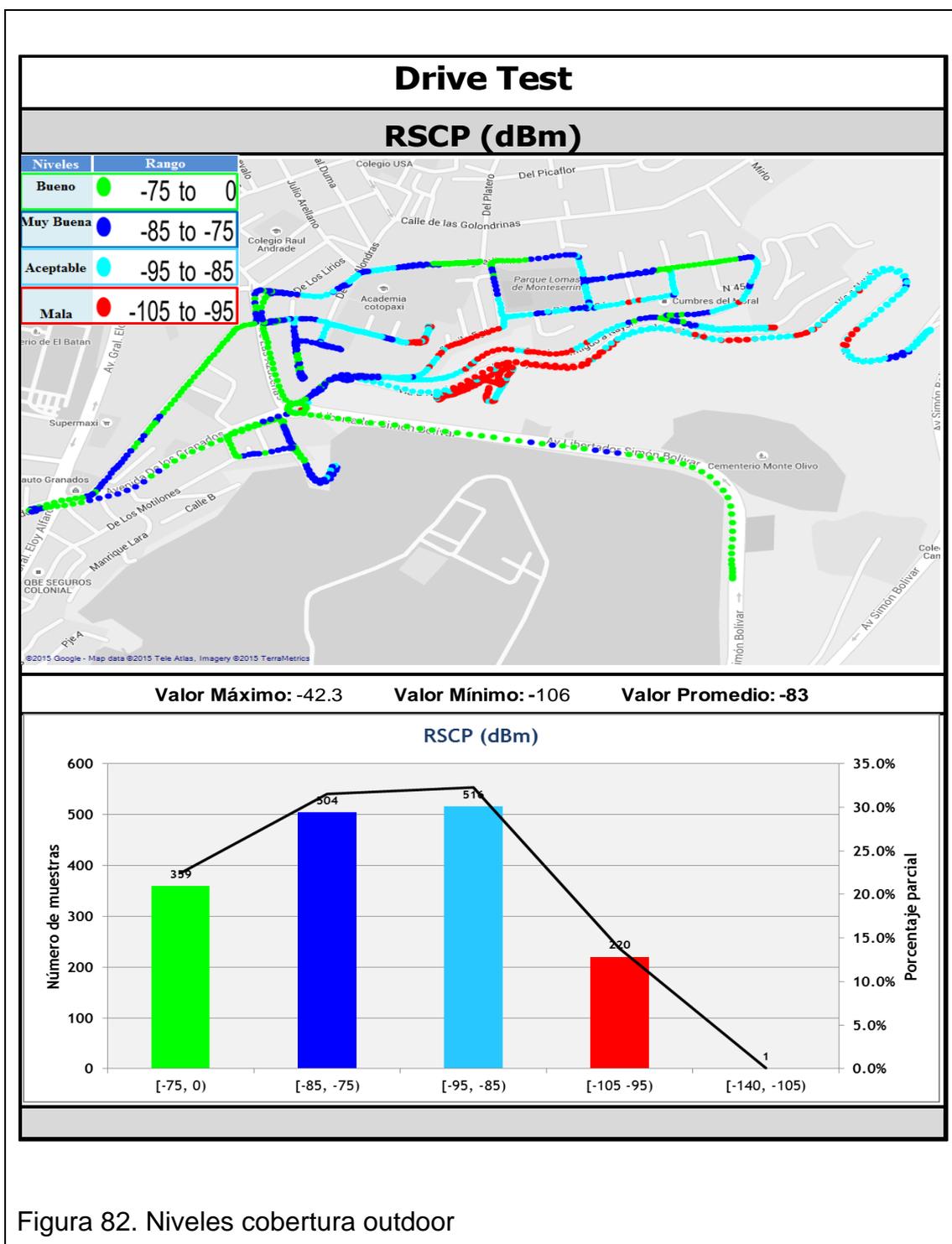


Figura 82. Niveles cobertura outdoor

Los niveles de calidad o Eclo mantienen un valor promedio de -8.1dB en el exterior del campus, sin embargo en las zonas de interés como: Vía Nayón, Monteserrin, y Academia Cotopaxi se aprecia valores superiores a -10dB encontrándose dentro los rangos de aceptable y malo.

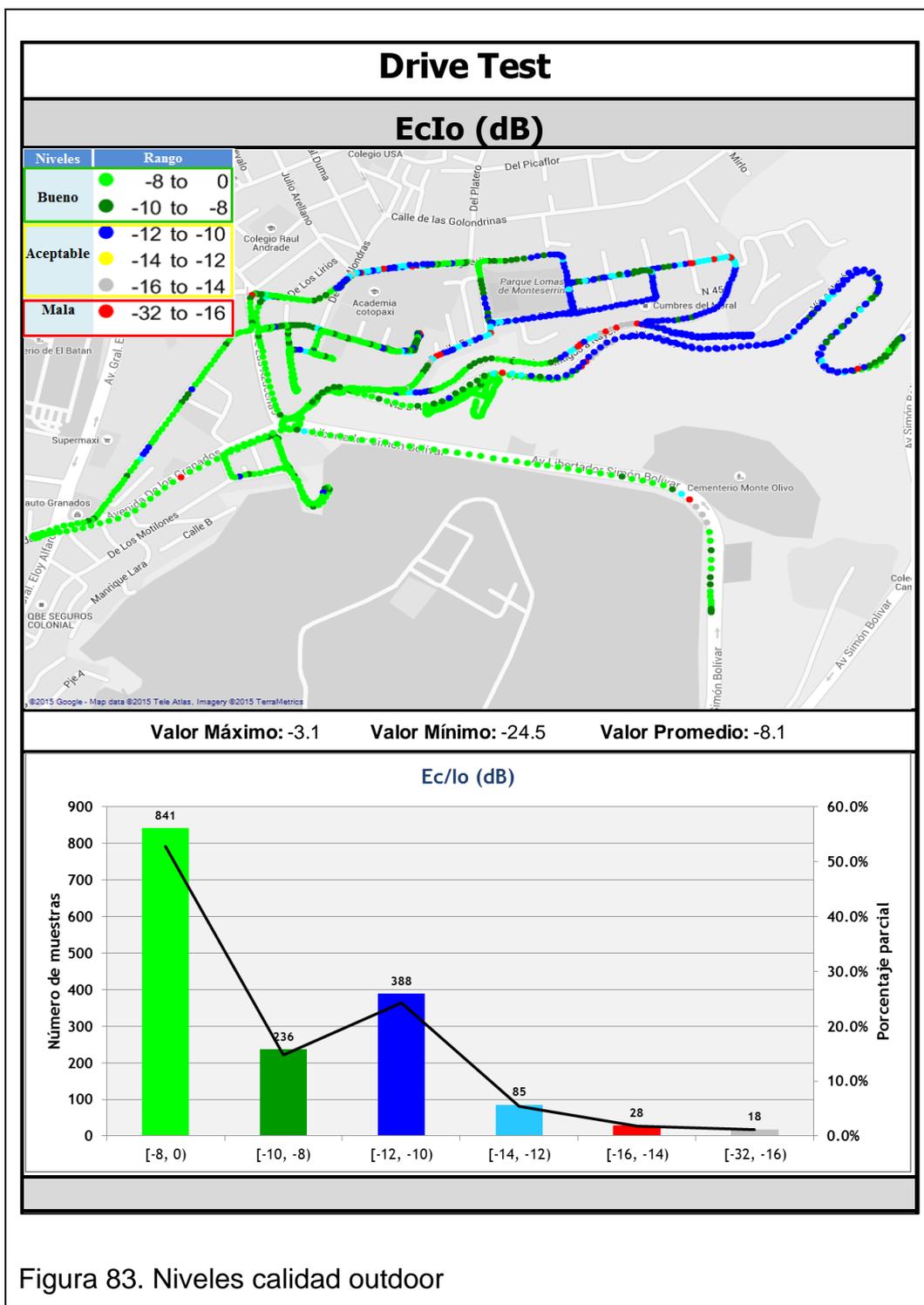


Figura 83. Niveles calidad outdoor

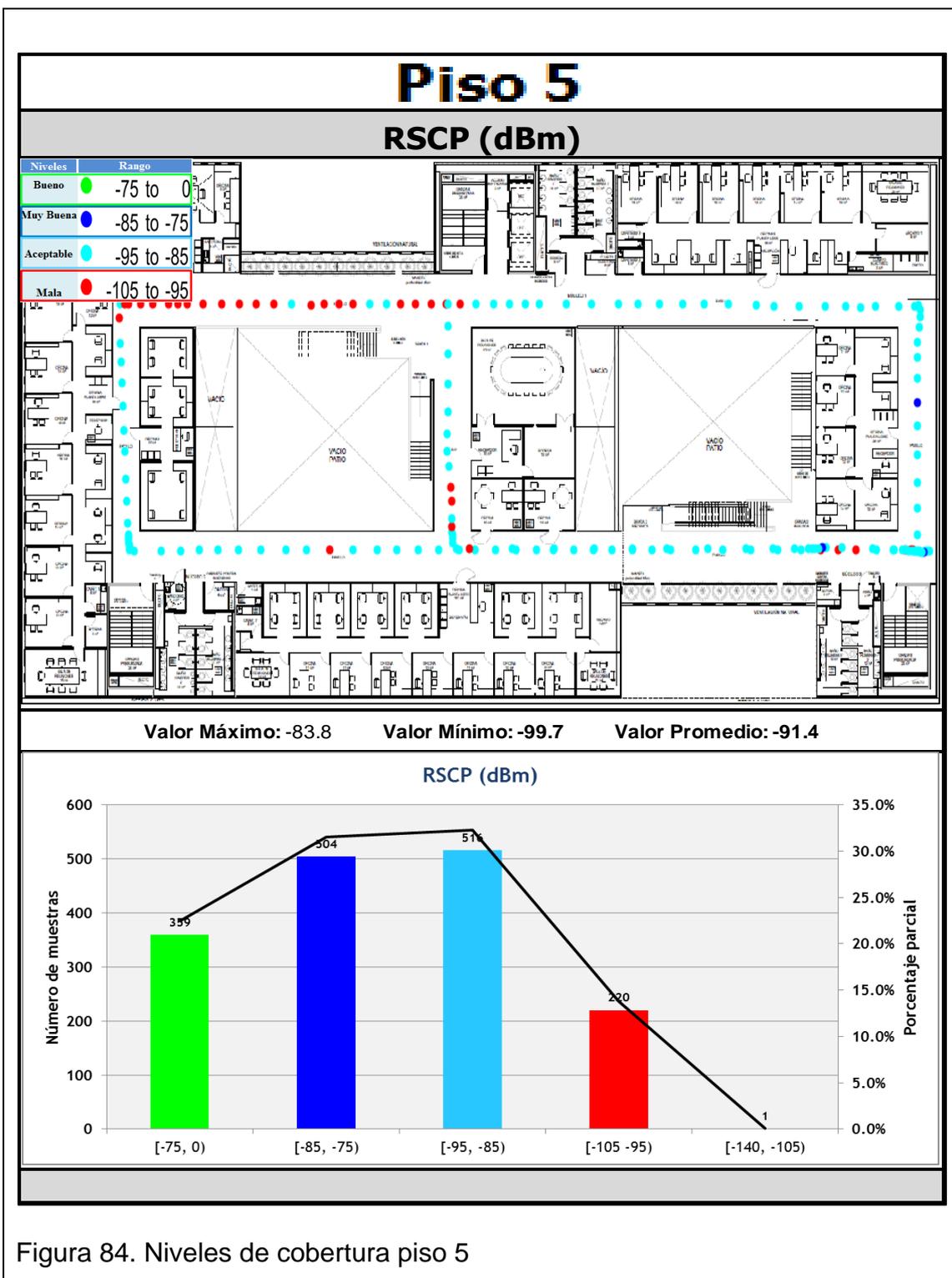
En las figuras antes presentadas se puede verificar que en varias zonas de interés los servicios ofertados por el operador y requeridos por los usuarios se ven afectados lo cual ocasiona una mala imagen ante el cliente, multas y la disminución en los ingresos económicos.

4.4.2 Niveles de cobertura y calidad ambiente indoor

Piso 5

En el piso 5 se encuentran varias zonas VIP y de interés como: rectorado, dirección general, secretaria general, facultad de ciencias de la salud, facultad de comunicación, facultad de educación, facultad de psicología y sala equinoccio.

En las áreas antes descritas el servicio solicitado es de alta exigencia ya que las personas que trabajan en esta zona mantienen una comunicación móvil continua y requieren un servicio óptimo para establecer la comunicación celular.



Los niveles de cobertura o RSCP en el piso 5 presentan un valor promedio de -91.4dBm encontrándose en los rangos entre buena y aceptable, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

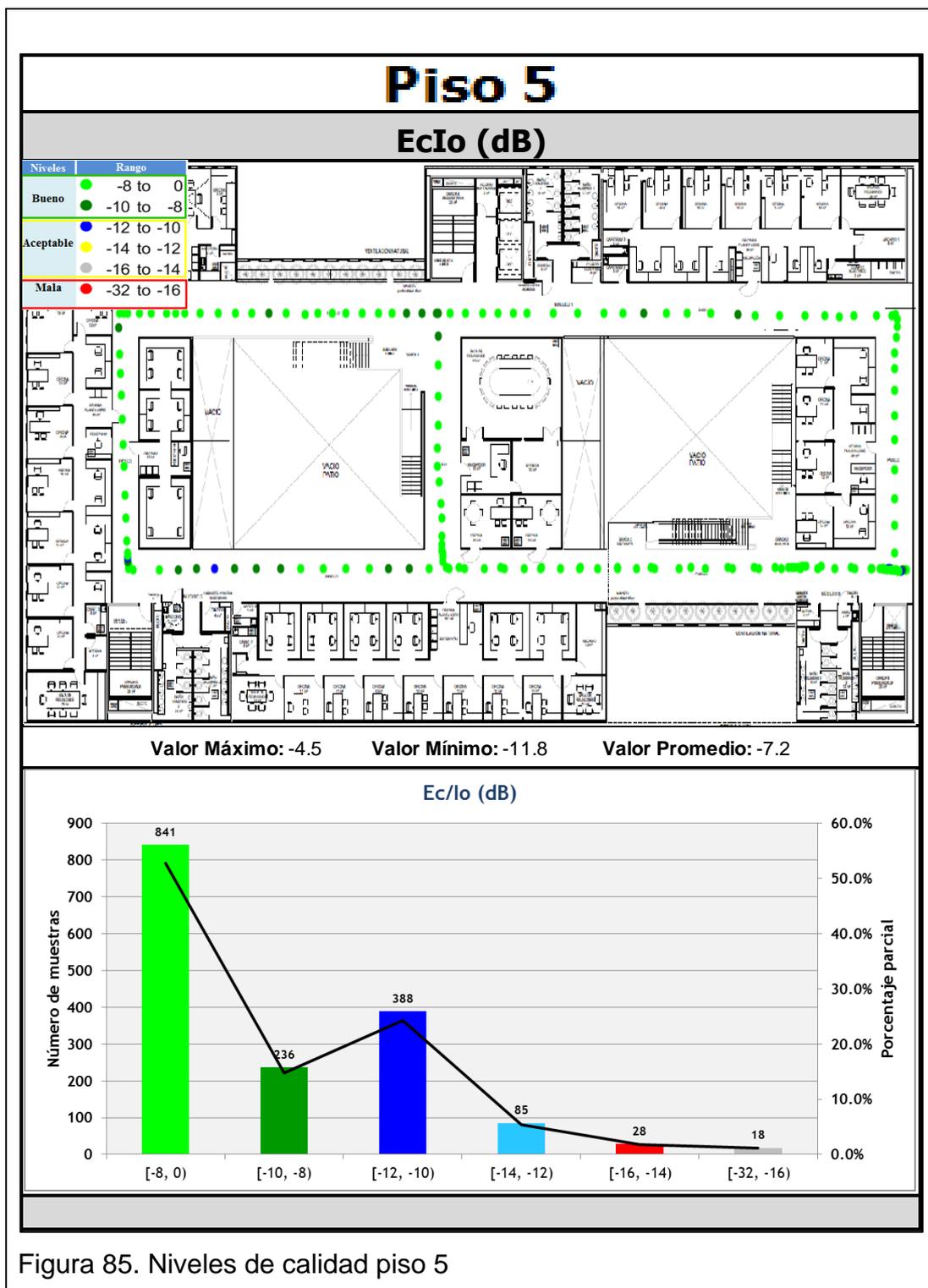


Figura 85. Niveles de calidad piso 5

Los niveles de calidad o EcIo presentan un valor promedio de -7.2dB y valor mínimo de -11.8dB, lo cual nos indica que el problema de telefonía móvil se origina por mala cobertura existente en el piso evaluado.

Piso 4

En el piso 4 se encuentran dos zonas de interés que son: oficinas de docentes a tiempo completos y aulas.

En el área de oficinas de docentes existe un número alto de personas que suelen utilizar su teléfono móvil o dispositivo inalámbrico para realizar consultas de investigación, revisión de correo electrónico, actividades de índole académico por lo que la demanda del servicio requerido es alto.

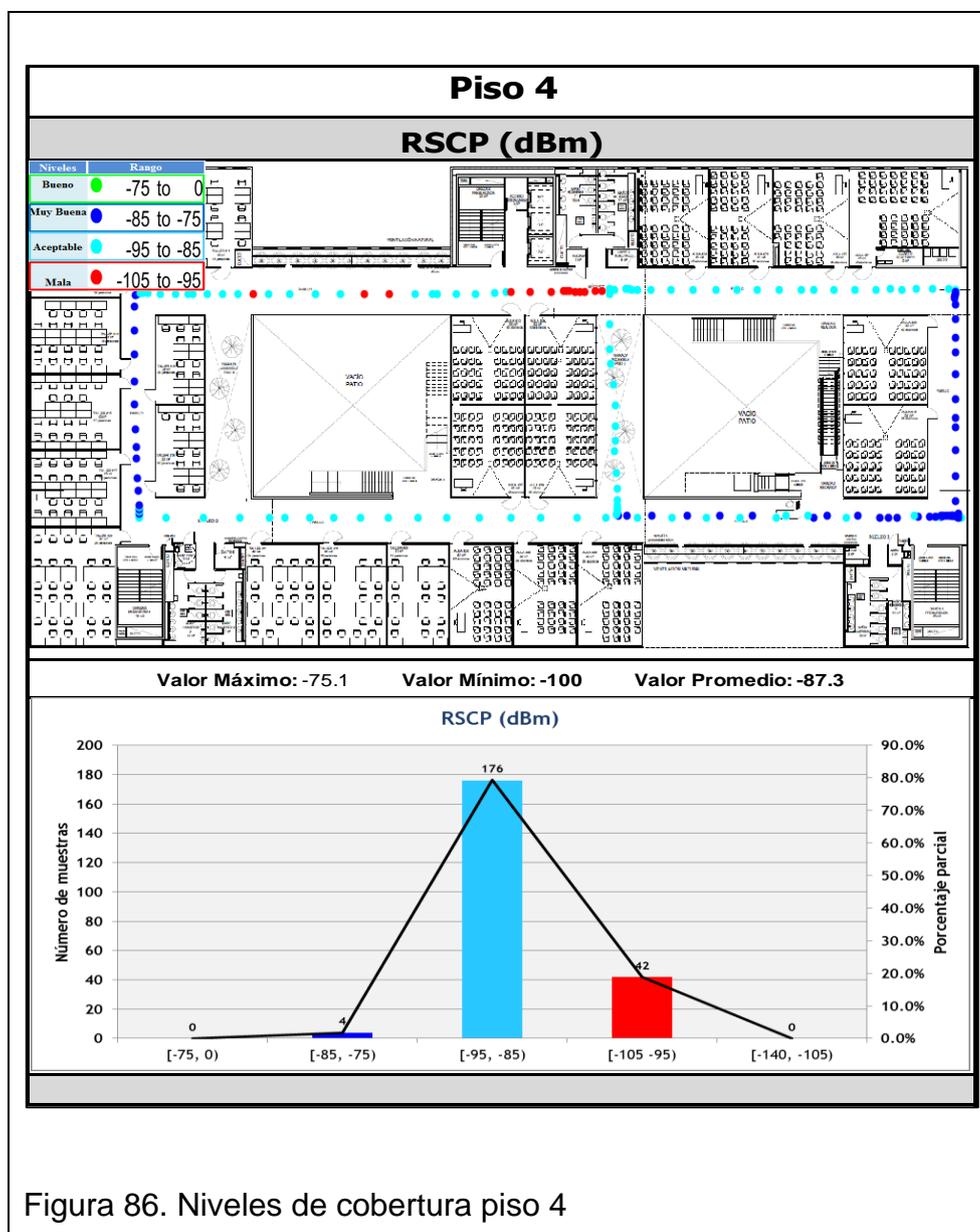


Figura 86. Niveles de cobertura piso 4

Los niveles de cobertura o RSCP en el piso 4 presentan un valor promedio de -87.3dBm encontrándose en los rangos entre bueno y aceptable, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

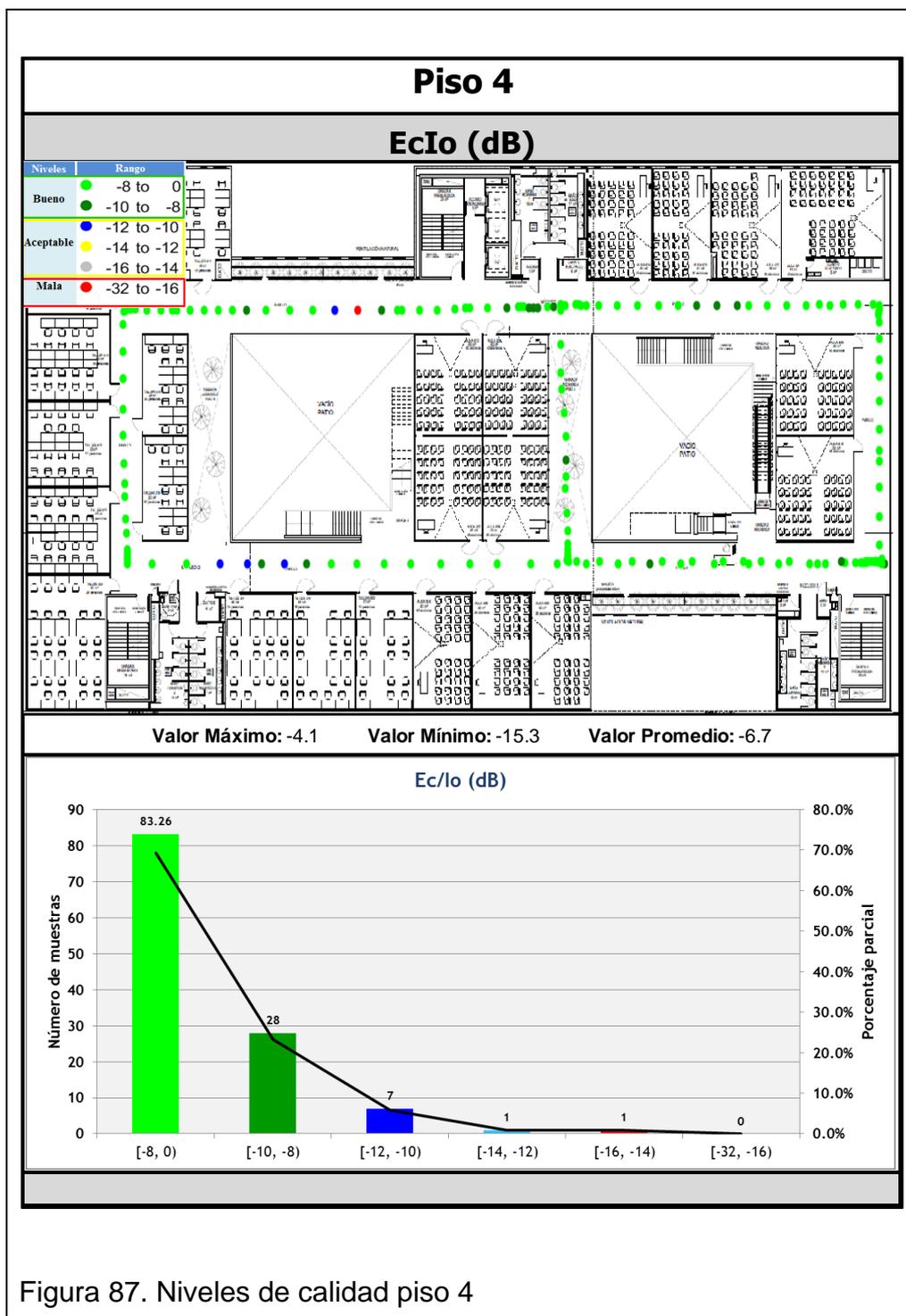


Figura 87. Niveles de calidad piso 4

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -6.7dB y valor mínimo de -15.3dB , lo cual nos indica que el problema de telefonía móvil se origina por mala cobertura existente en el piso evaluado.

Piso 3

En el piso 3 se encuentran varias zonas de interés como: centro de simulación clínica, laboratorio de fisioterapia, sala de Hospitalización, laboratorio de Destrezas, morfofunción, sala de docentes, laboratorio de educación y psicología.

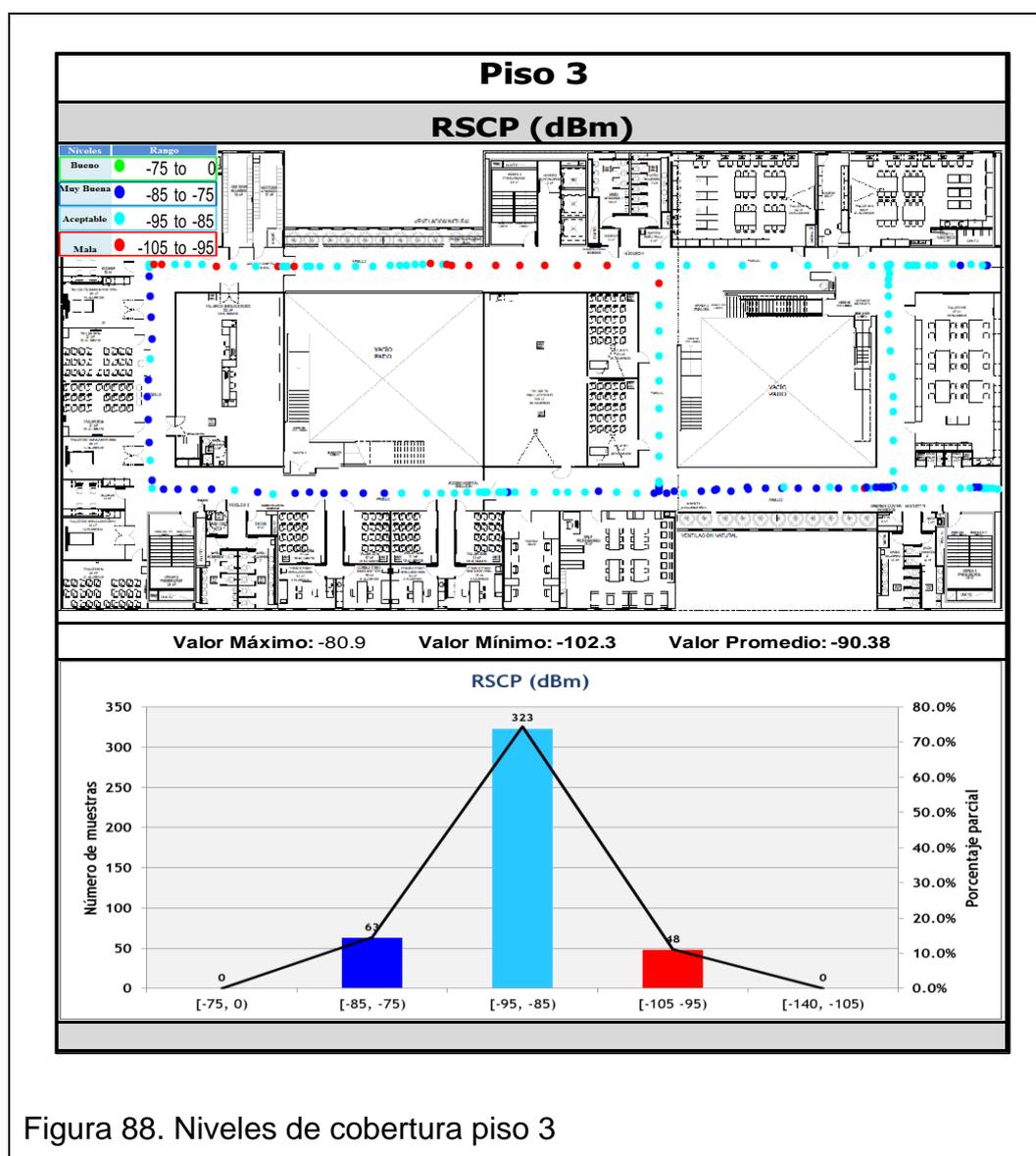


Figura 88. Niveles de cobertura piso 3

Los niveles de cobertura o RSCP en el piso 3 presentan un valor promedio de – 90.3dBm encontrándose en los rangos entre muy bueno y aceptable, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

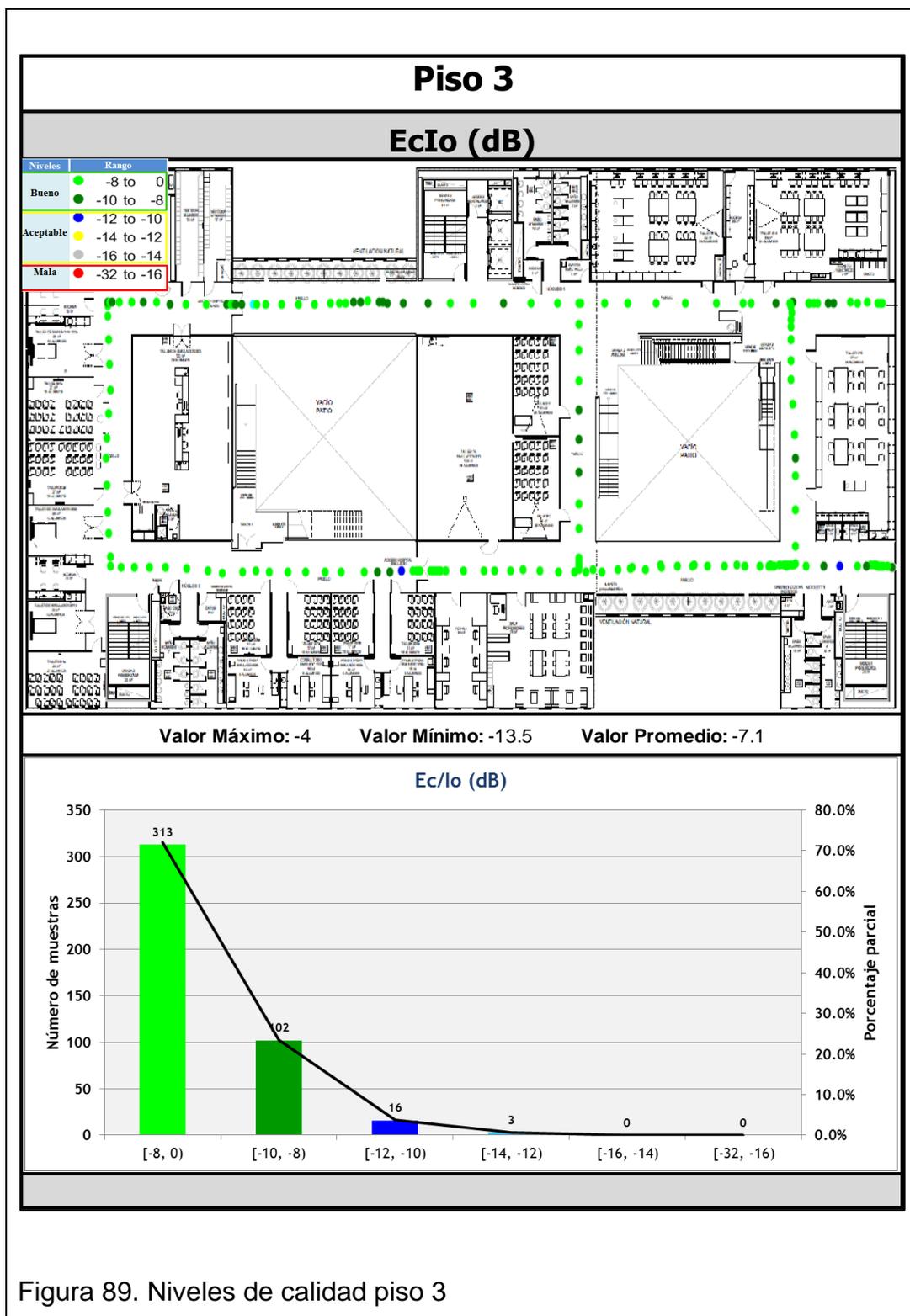
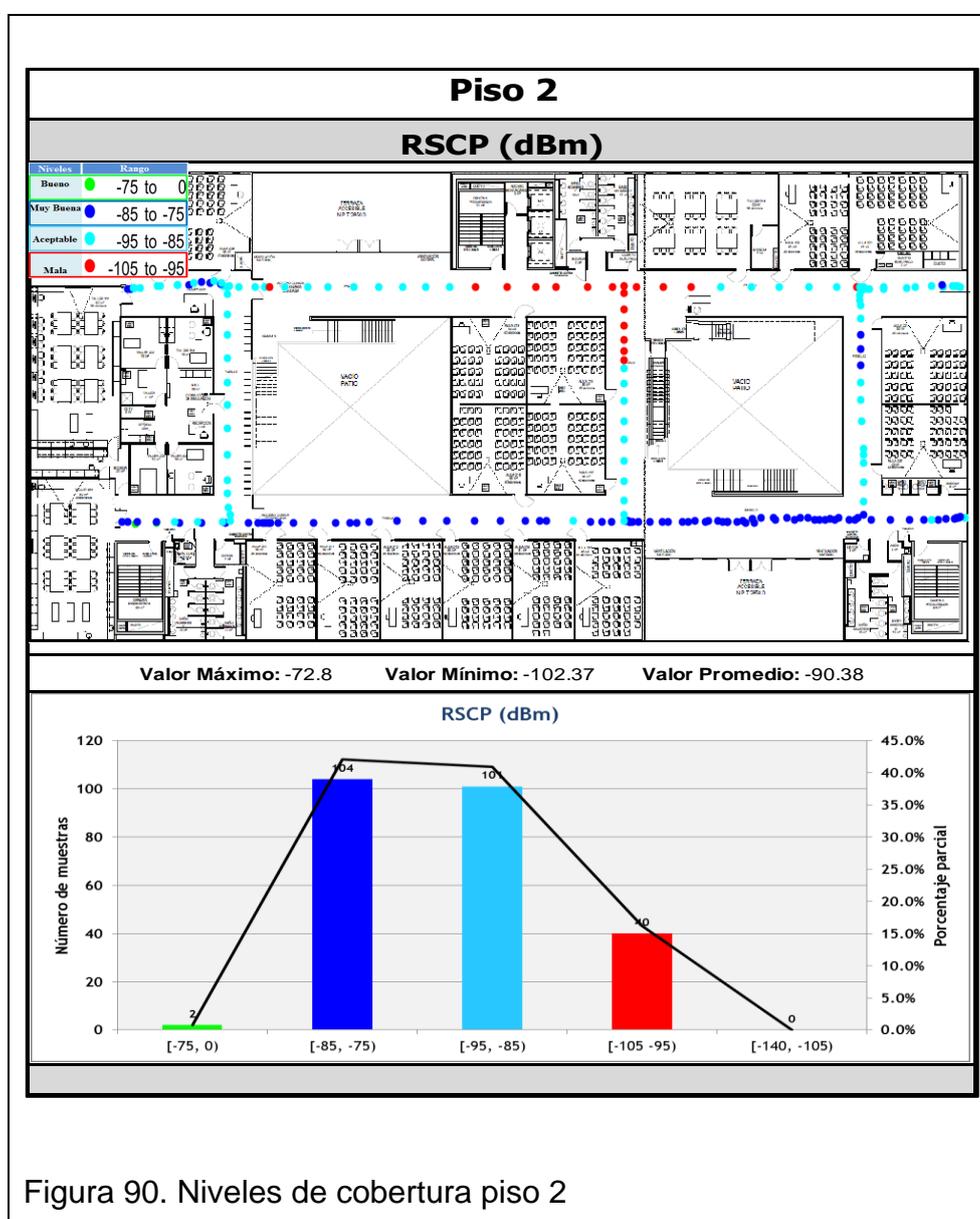


Figura 89. Niveles de calidad piso 3

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -7.1dB y valor mínimo de -13.5dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura existente en el piso evaluado.

Piso 2

En el piso 2 se encuentran dos zonas de interés que son: aulas y clínica veterinaria. En estas zonas la concentración de personas es alta ya que se realiza continuamente clases para estudiantes, cursos y prácticas médicas.



Los niveles de cobertura o RSCP en el piso 2 presentan un valor promedio de -90.38dBm encontrándose en los rangos entre bueno y aceptable, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

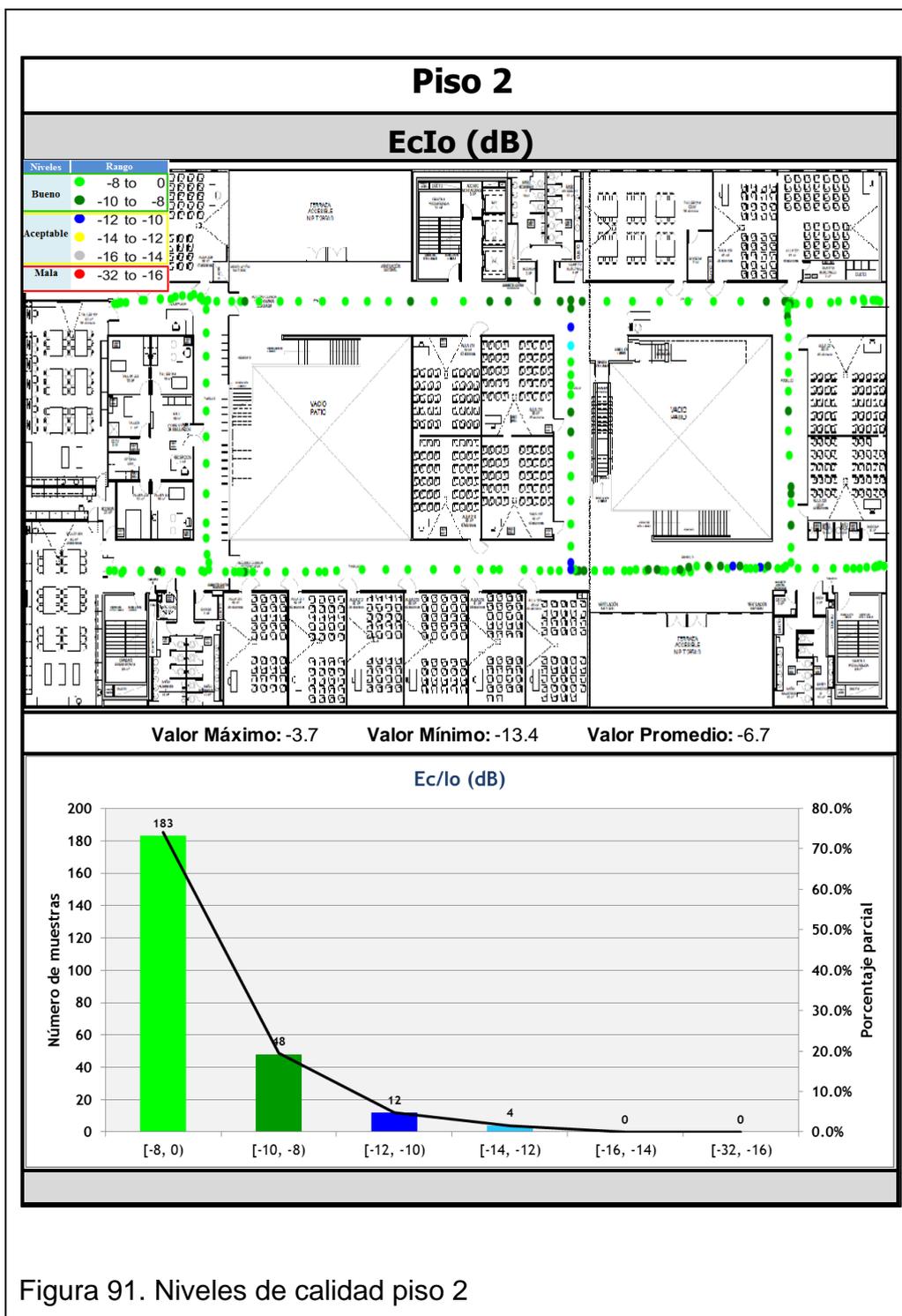


Figura 91. Niveles de calidad piso 2

Los niveles de calidad o Eco presentan un valor promedio de -6.7dB y valor mínimo de -13.4dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura existente en el piso evaluado

Piso 1

En el piso 1 se encuentran conformado por 24 aulas con capacidad de 25 alumnos cada uno, donde la cantidad de dispositivos móviles en horas de clases es aproximada de 600 equipos.

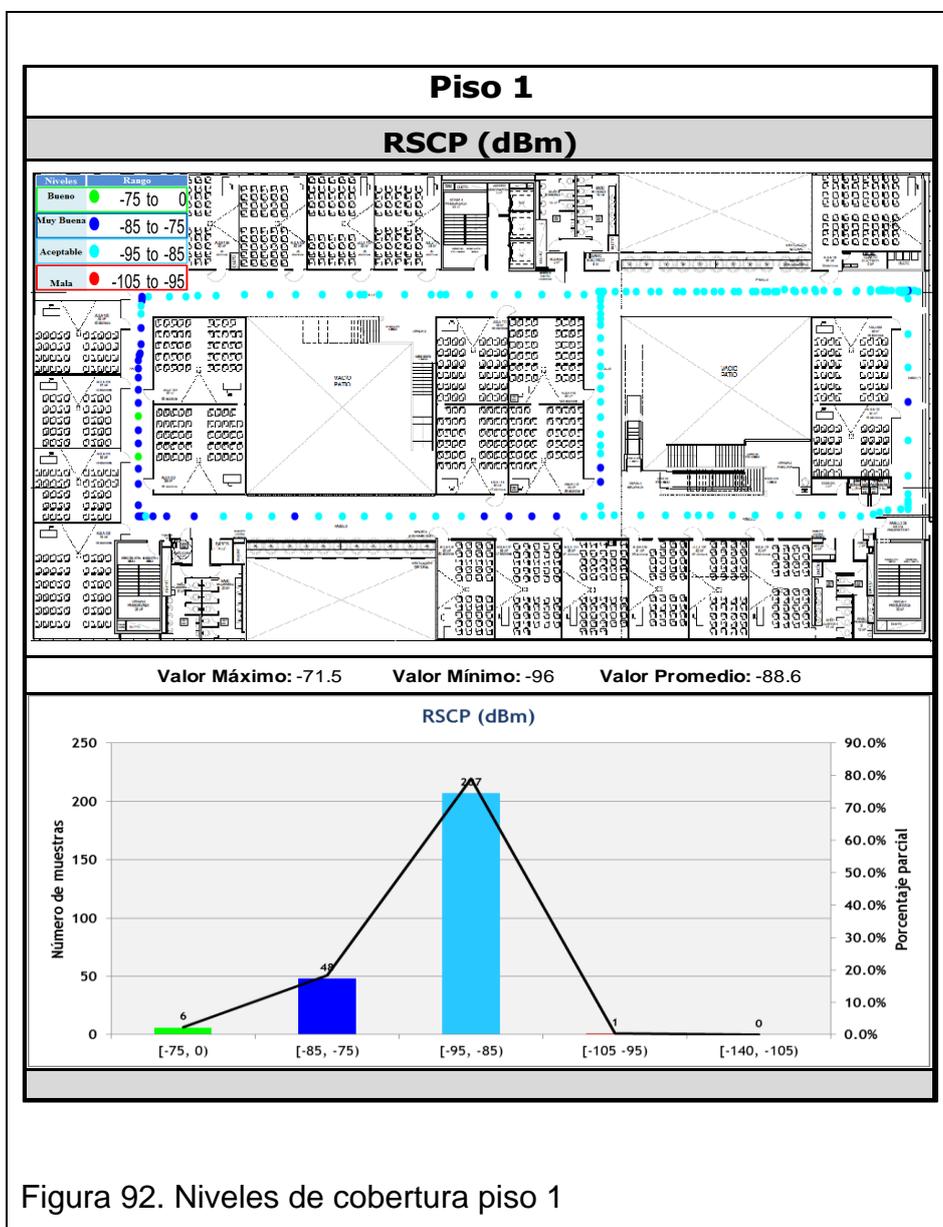


Figura 92. Niveles de cobertura piso 1

Los niveles de cobertura o RSCP en el piso 1 presentan un valor promedio de -88.6dBm encontrándose en los rangos entre bueno y aceptable, estos resultados afectan parcialmente la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad optima del servicio.

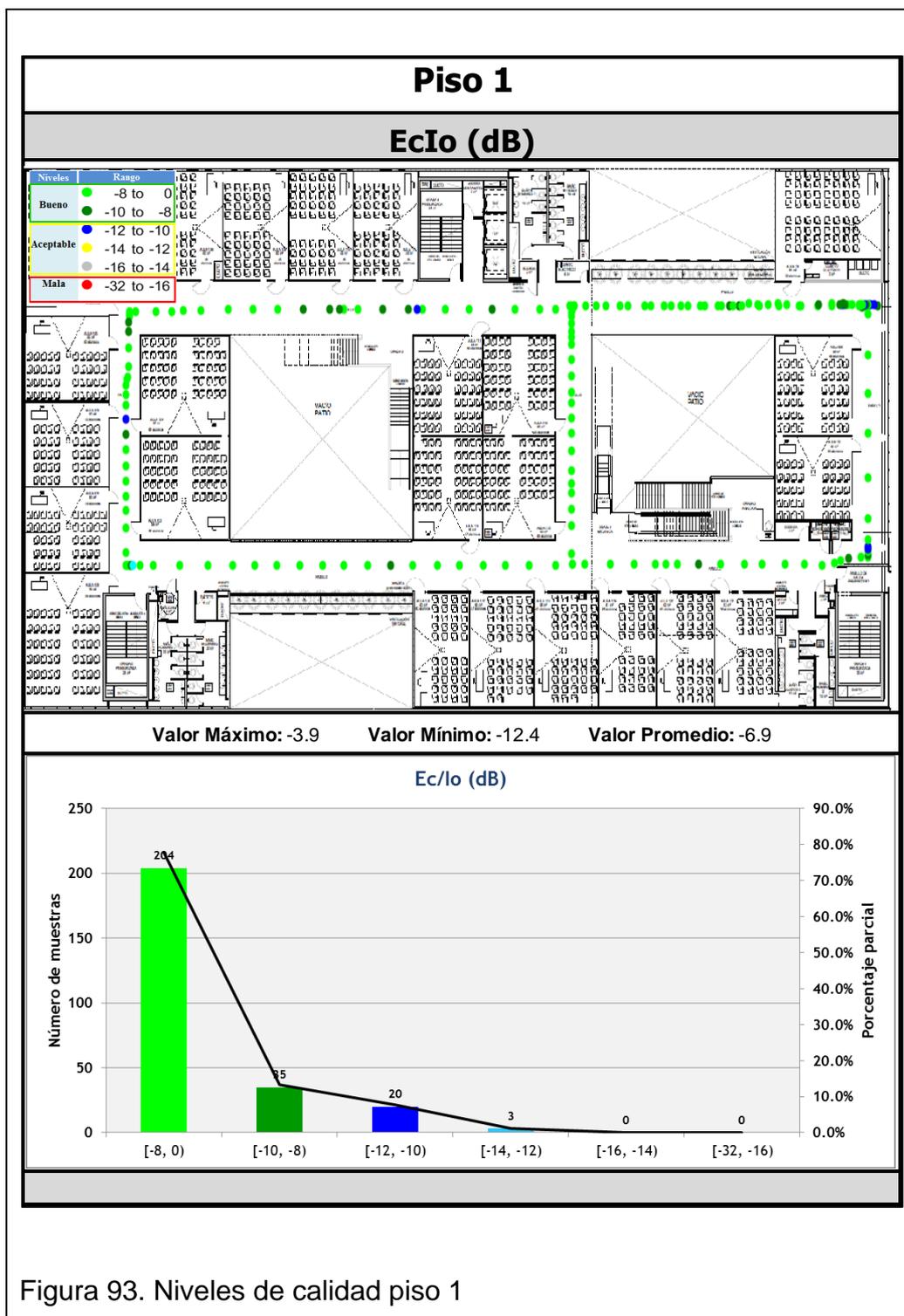


Figura 93. Niveles de calidad piso 1

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -6.9dB y valor mínimo de -12.4dB , lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura en el piso evaluado.

Planta Baja

En la PB se encuentran varias zonas de interés como: restaurante, laboratorio de computación, biblioteca infantil (UDLA-EDUCA) y aulas. El área de restaurante es un lugar importante a considerar ya que mucha gente se reúne para su hora de almuerzo, pasatiempo o para mantener una charla entre amigos.

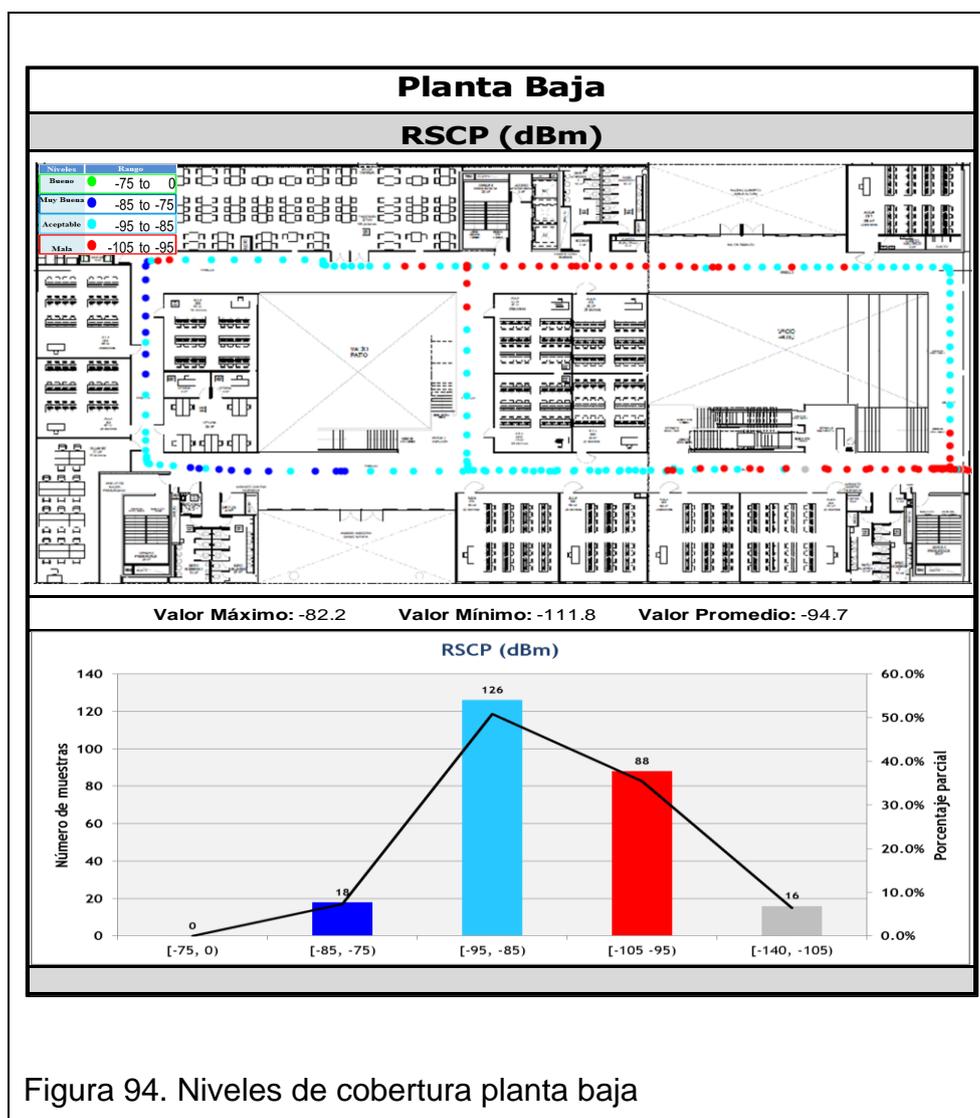
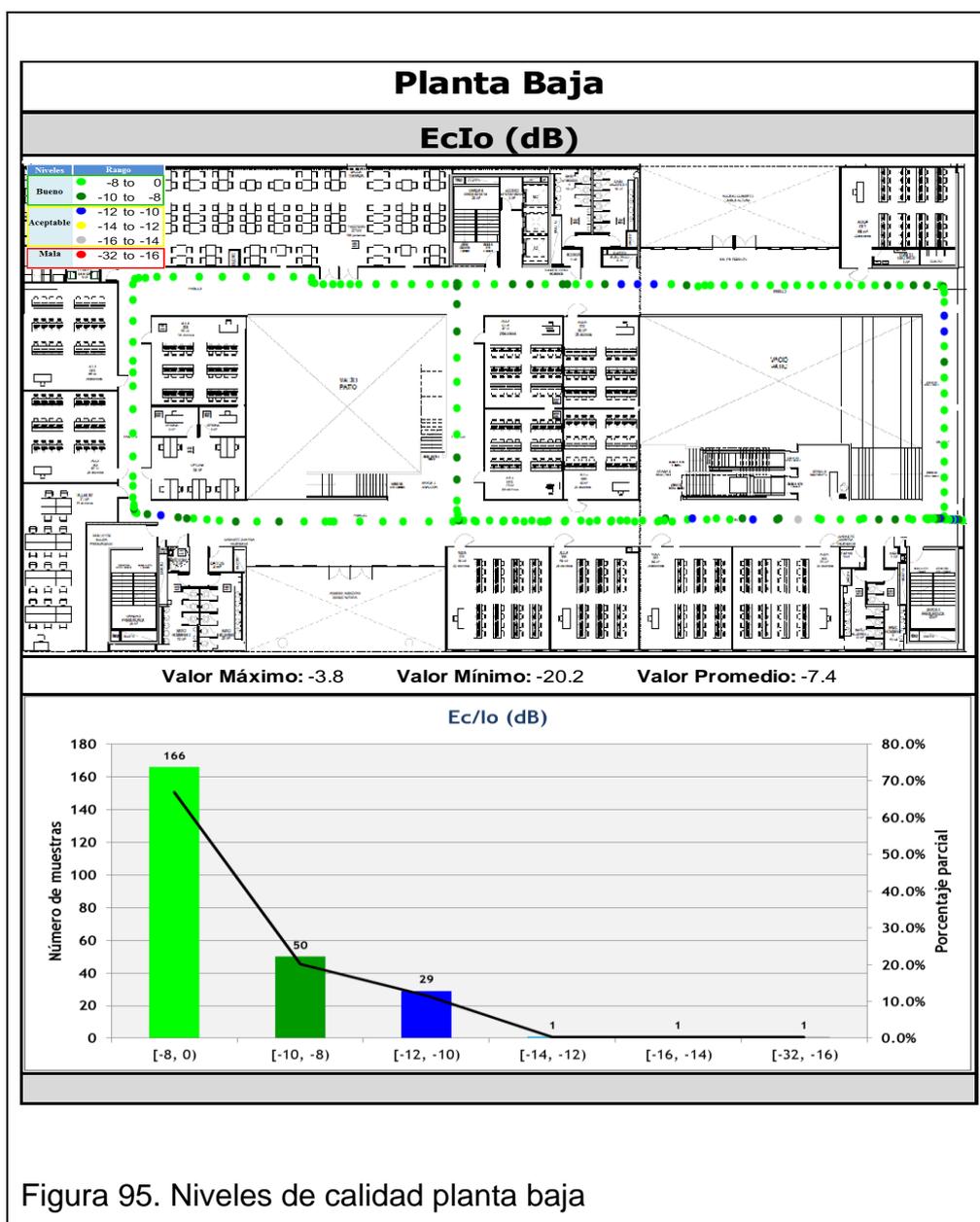


Figura 94. Niveles de cobertura planta baja

Los niveles de cobertura o RSCP en la PB presentan un valor promedio de -94.7dBm encontrándose en los rangos entre muy bueno y malo, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.



Los niveles de calidad o EcIo presentan un valor promedio de -7.4dB y valor mínimo de -20.2dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura y calidad existente en el piso evaluado.

Subsuelo 1

En el subsuelo 1 se encuentran varias zonas de interés como: recepción, biblioteca, caja, admisión, servicios estudiantiles, jefatura de campus, recursos humanos, contabilidad, adquisiciones, servicios administrativos, dispensario médico, librería, cafetería y oficina de posgrados.

Se puede identificar que en esta zona labora personal administrativo y financiero por lo que la seguridad y la comunicación requerida es alta, solicitando un exigente servicio celular.

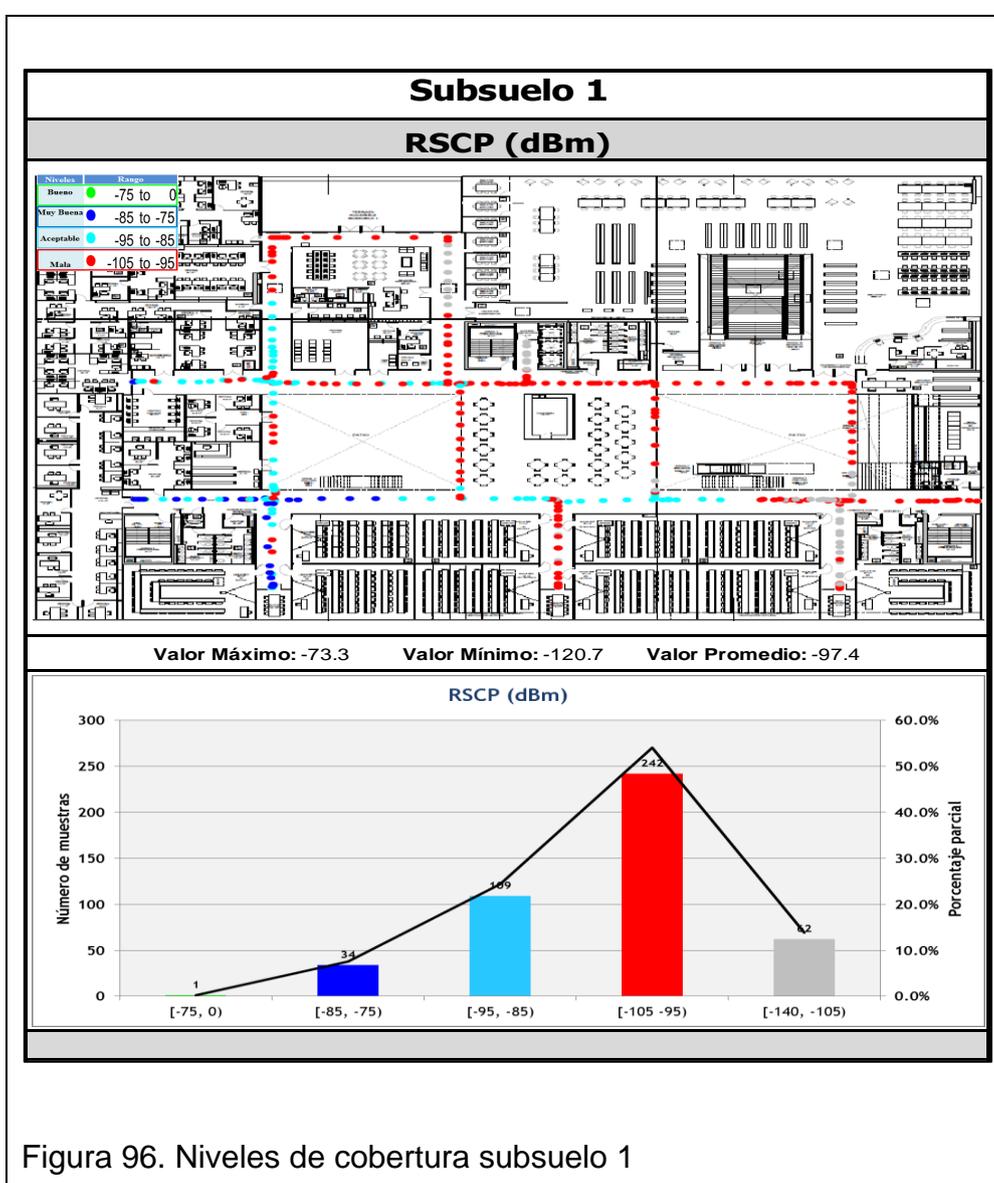
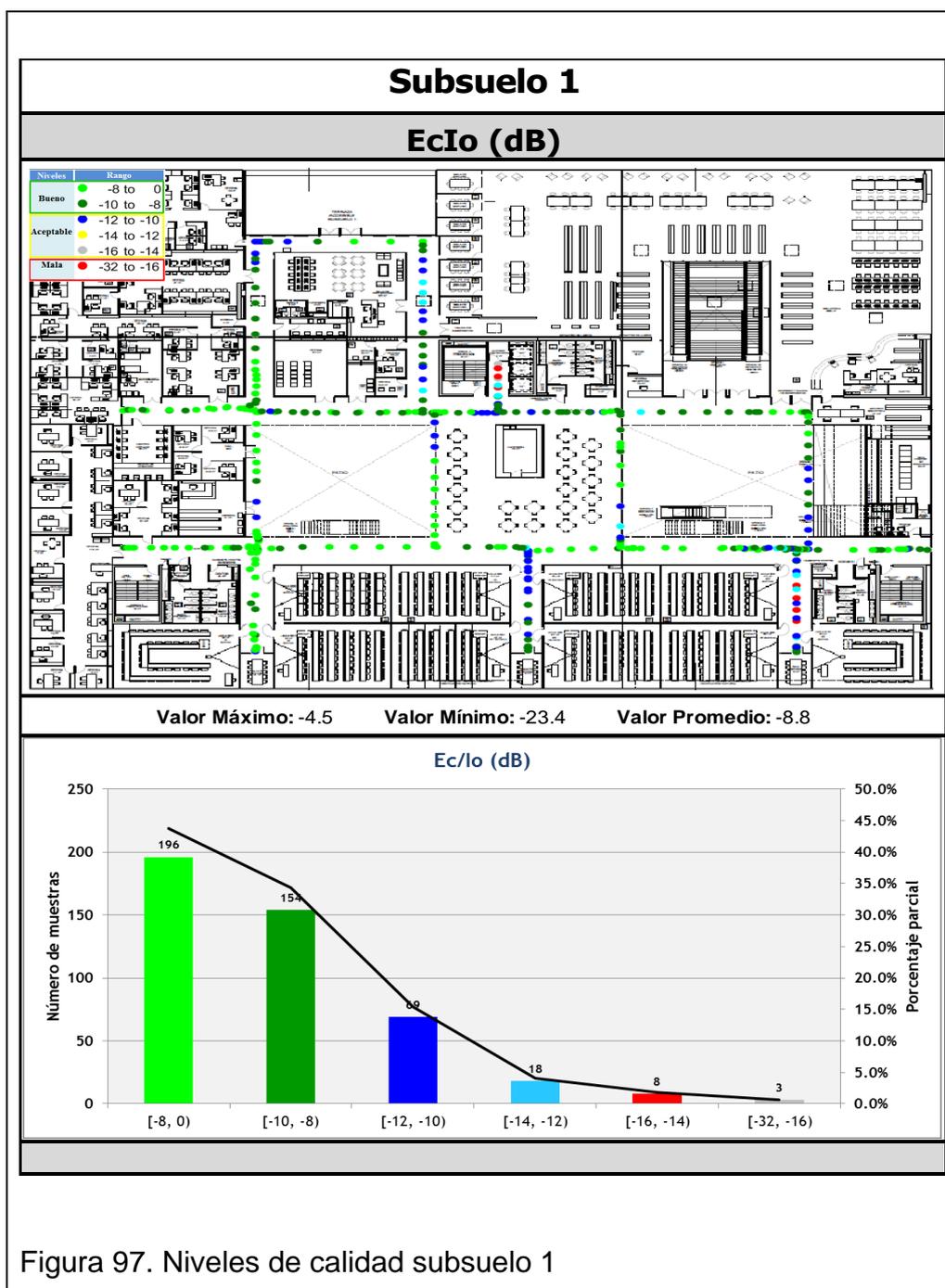


Figura 96. Niveles de cobertura subsuelo 1

Niveles de cobertura subsuelo 1

Los niveles de cobertura o RSCP en el subsuelo 1 presentan un valor promedio de -97.4dBm encontrándose en los rangos entre muy bueno y malo, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.



Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -8.8dBm y valor mínimo de -23.4dBm , lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura y calidad existente en el piso evaluado.

Subsuelo 2

En el subsuelo 2 se encuentran tres zonas de interés que son: comedor de docentes y comedor de funcionarios y parqueaderos.

Se debe tener en consideración que no se tuvo el acceso al área de comedores ya que los mismos se encuentran en el periodo de mantenimiento y limpieza.

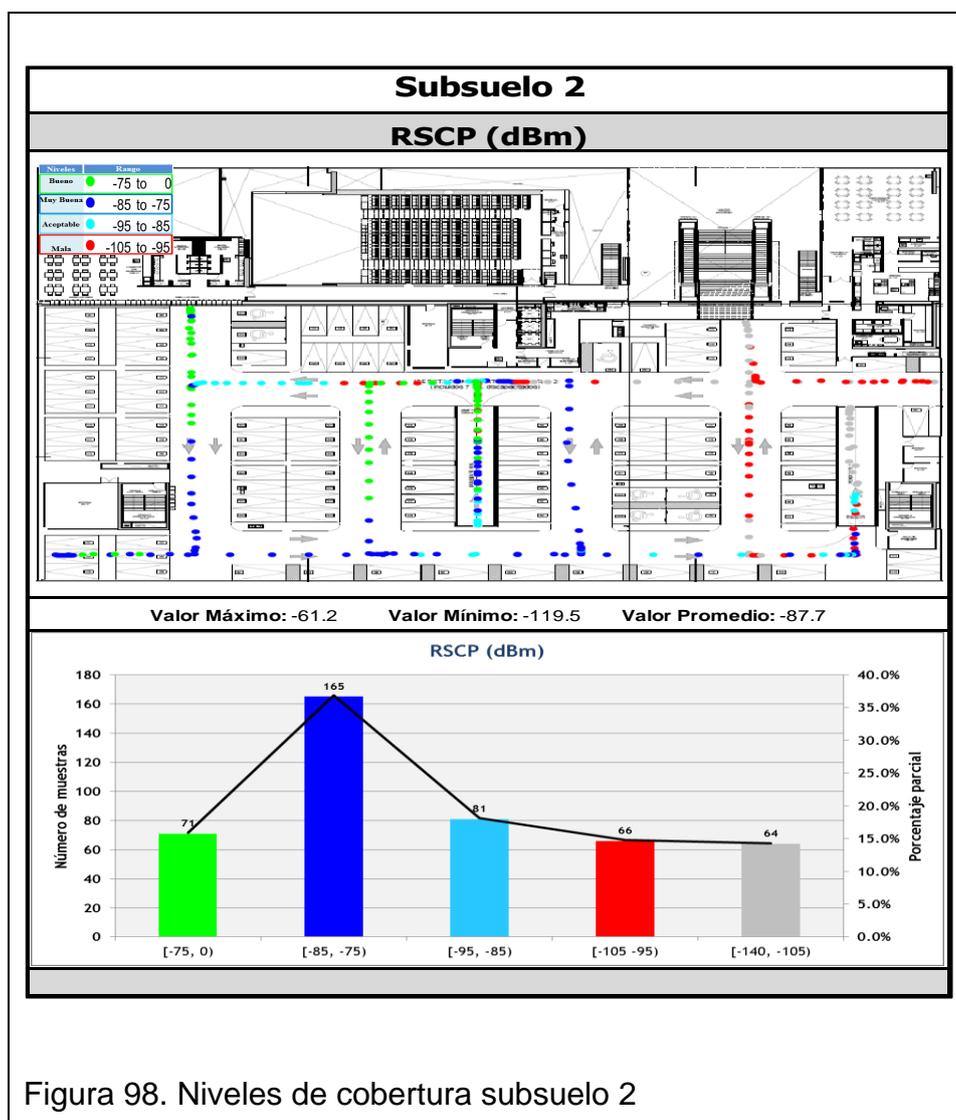


Figura 98. Niveles de cobertura subsuelo 2

Los niveles de cobertura o RSCP en el subsuelo 2 presentan un valor promedio de -87.2dBm encontrándose en el rango entre bueno y malo, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

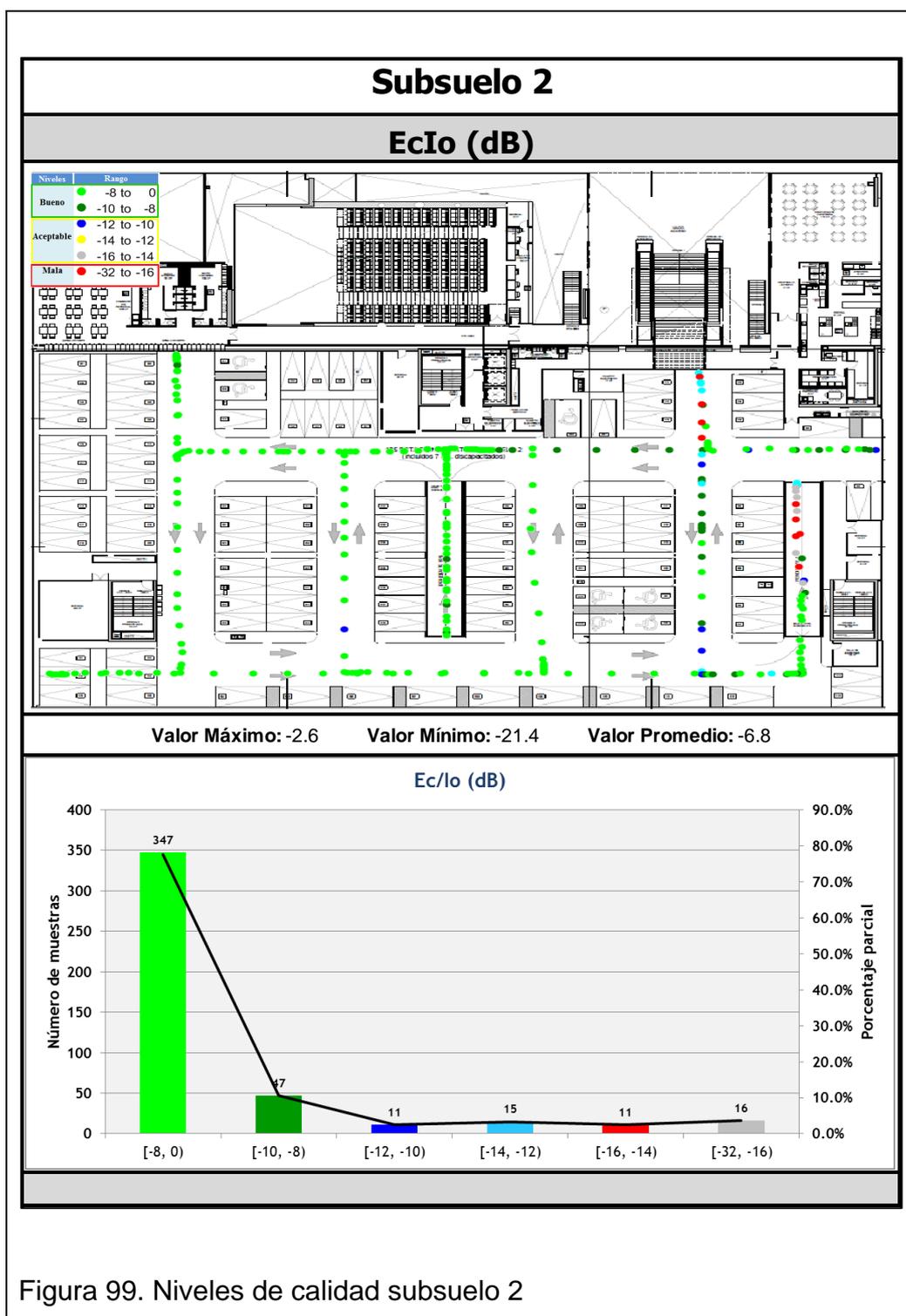


Figura 99. Niveles de calidad subsuelo 2

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -6.8dB y valor mínimo de -21.4dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura y calidad existente en el piso evaluado.

Subsuelo 3

En el subsuelo 3 se encuentran el área de parqueaderos para docentes y funcionarios del campus Udlapark, el número de disponibilidad de parqueaderos es de 104 incluyendo estacionamientos para personas con capacidades especiales.

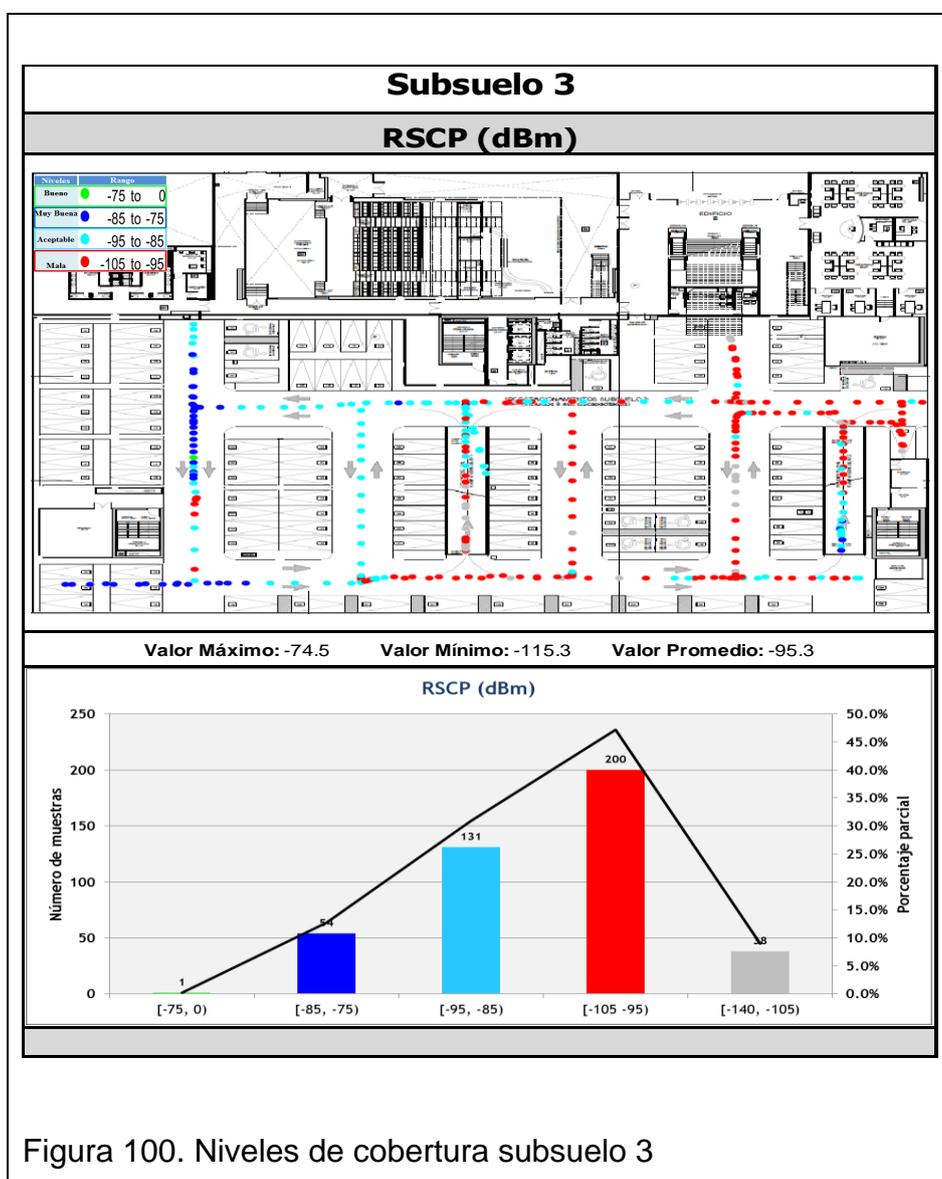


Figura 100. Niveles de cobertura subsuelo 3

Los niveles de cobertura o RSCP en el subsuelo 3 presentan un valor promedio de -95.3dBm encontrándose en los rangos entre aceptable y malo, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

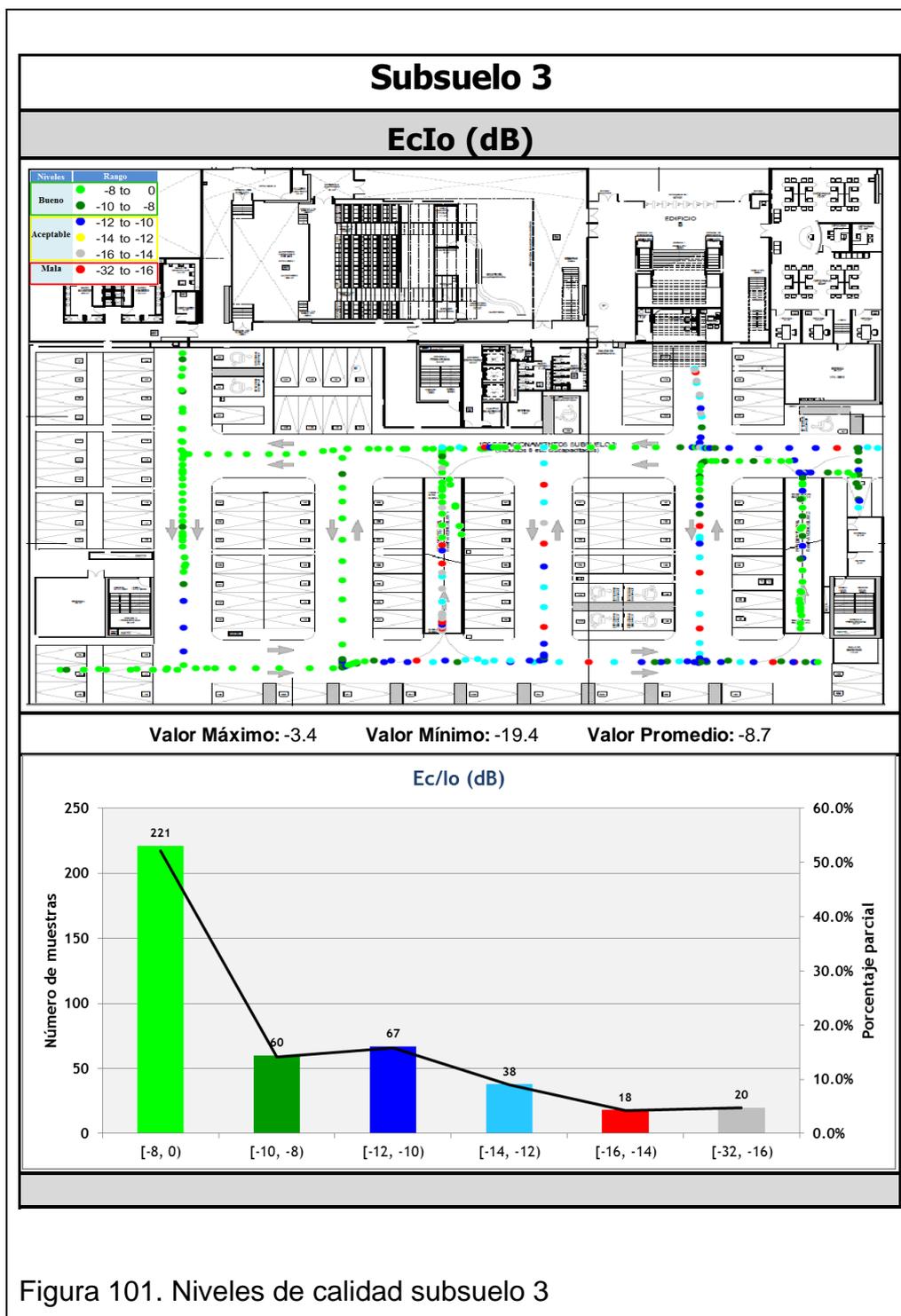


Figura 101. Niveles de calidad subsuelo 3

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -8.7dB y valor mínimo de -19.4dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura y calidad existente en el piso evaluado.

Subsuelo 4

En el subsuelo 4 se encuentran el área de parqueaderos para docentes, funcionarios y visitantes del campus Udlapark, el número de disponibilidad de parqueaderos es de 108 incluyendo estacionamientos para personas con capacidades especiales.

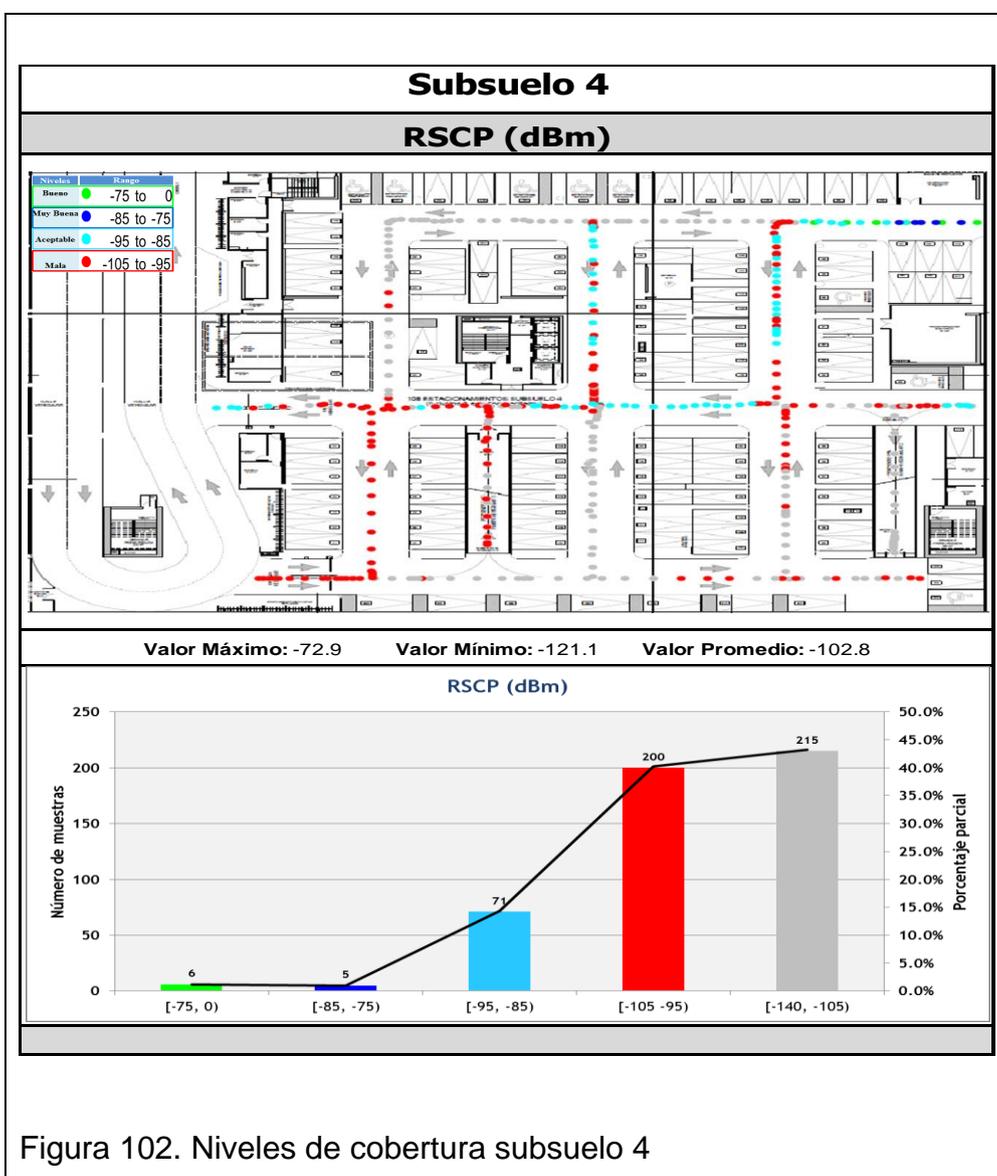


Figura 102. Niveles de cobertura subsuelo 4

Los niveles de cobertura o RSCP en el subsuelo 4 presentan un valor promedio de -102.8dBm encontrándose en los rangos entre aceptable y malo, estos resultados afectan la calidad de la comunicación móvil y la disponibilidad óptima del servicio.

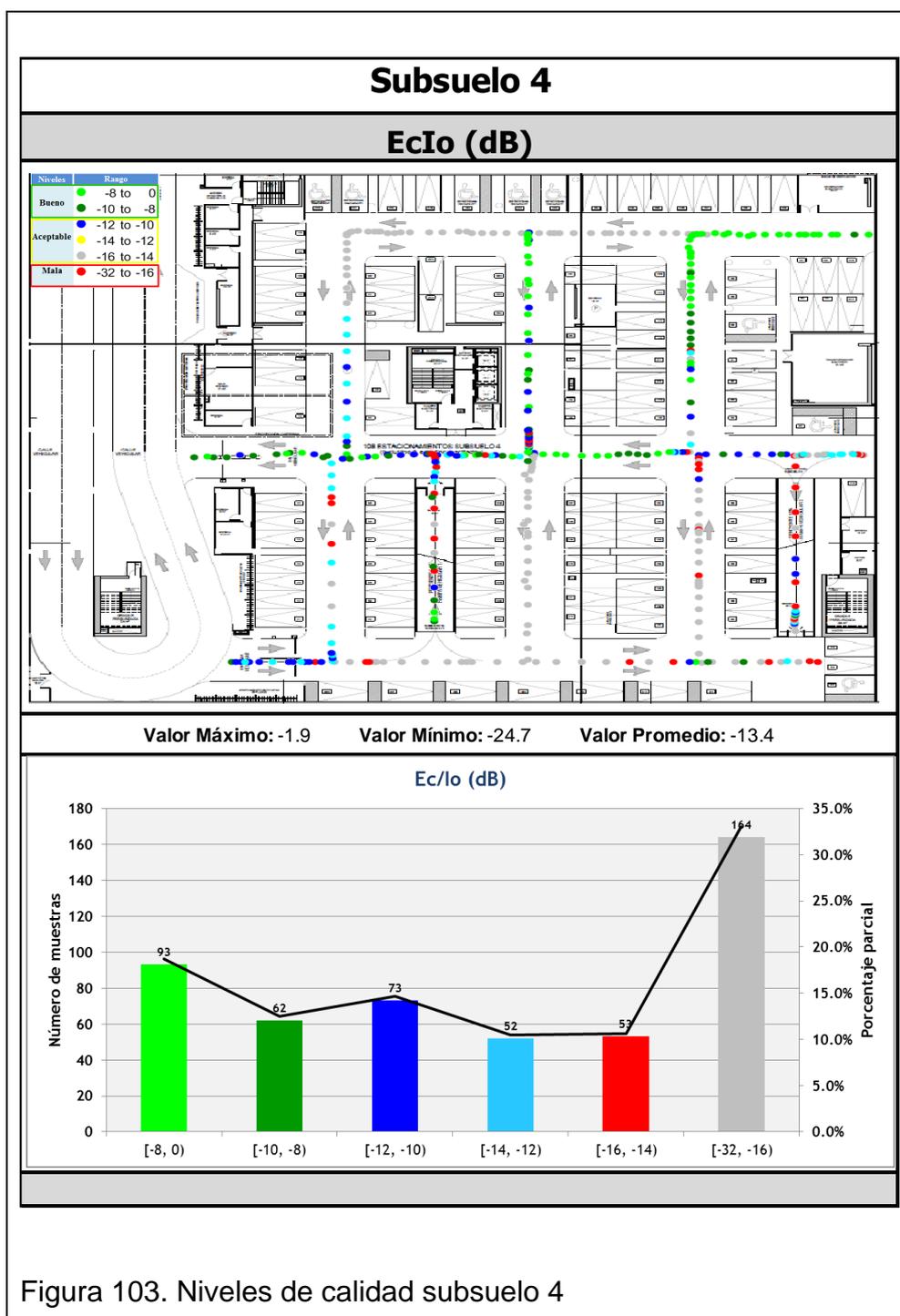


Figura 103. Niveles de calidad subsuelo 4

Los niveles de calidad o Eclo presentan un valor promedio de -13.4dB y valor mínimo de -24.7dB, lo cual nos indica que el problema se origina por mala cobertura y calidad existente en el piso evaluado.

4.5 Estadísticas de eventos de llamadas

En las tablas 17 y 18 se encuentra un resumen de los eventos anormales presentados en el interior y exterior del campus vs el número total de llamadas generadas en el protocolo de pruebas.

4.5.1 Ambiente Indoor

Tabla 17. Eventos indoor

Ambiente de Prueba	Número de piso	Intentos de llamadas	Llamadas establecidas exitosamente	Llamadas fallidas	Llamadas caídas
Indoor	Piso 5	13	13	0	0
Indoor	Piso 4	13	13	0	0
Indoor	Piso 3	19	19	0	0
Indoor	Piso 2	15	15	0	0
Indoor	Piso 1	16	16	0	0
Indoor	Planta Baja	16	15	1	0
Indoor	Subsuelo 1	28	24	2	2
Indoor	Subsuelo 2	25	21	1	3
Indoor	Subsuelo 3	26	20	4	2
Indoor	Subsuelo 4	31	25	4	2
Total	10	202	181	12	9

4.5.2 Ambiente Outdoor

Tabla 18. Eventos outdoor

Ambiente de Prueba	Intentos de llamadas	Llamadas establecidas exitosamente	Llamadas fallidas	Llamadas caídas
Outdoor	109	104	3	2
Total	109	104	3	2

De los datos recolectados en las pruebas se puede determinar el cumplimiento o no de los indicadores claves de desempeño establecidos en el capítulo II.

Como se puede verificar en la tabla 19 los indicadores claves de desempeño tanto para el ambiente indoor como outdoor no cumplen los porcentajes mínimos establecidos por el ente regulador.

Tabla 19. Porcentaje de eventos

Ambiente de Prueba	Intentos de llamadas	Llamadas establecidas exitosamente	Porcentaje Llamadas caídas	Porcentaje Llamadas establecidas	Porcentaje Llamadas Exitosas
Valor Máximo	-	-	<=2%	>=98%	>=98%
Indoor	202	181	4.73%	89.60%	90.58%
Outdoor	109	104	1.80%	95.41%	95.61%

- **Porcentaje de llamadas caídas:** En total se produjeron 11 llamadas caídas de las cuales 9 se presentaron en el interior del campus y 2 en el exterior, con lo cual el porcentaje de llamadas caídas es superior al 2% incumpliendo el valor establecido por el ente regulador.
- **Porcentaje de llamadas establecidas:** De lo que respecta a este indicador, de las 202 llamadas generadas en el interior únicamente 181 llamadas pudieron ser establecidas exitosamente. De igual manera en el

exterior se generaron un total 109 llamadas estableciéndose exitosamente únicamente 104 llamadas, dando como resultado estadístico un valor inferior 98%.

- **Porcentaje de llamadas exitosas:** Se establecieron y finalizaron correctamente 285 llamadas de un total de 311 intentos de llamadas. Existe una diferencia de 26 llamadas que fueron terminadas abruptamente por malas condiciones de RF, obteniendo un valor estadístico inferior al 98% requerido por la operadora móvil.

De las pruebas realizadas se puede determinar que existen falencias críticas de cobertura y calidad en el interior y exterior del campus Udlapark. Actualmente los indicadores de desempeño se encuentran con valores inferiores a los requeridos y establecidos por el ente regulador demostrando así la importancia de realizar un diseño que satisfaga las necesidades del usuario.

5. Capítulo V. Diseño de la solución IBS

5.1 Introducción

El objetivo del diseño es determinar la mejor configuración lógica y física que logre mejorar los indicadores de cobertura y calidad obtenidos en las pruebas realizadas en el interior y exterior del campus.

En este capítulo se realizará el diseño partiendo de los resultados obtenidos en el capítulo IV, se definirá la ubicación de los equipos UMTS, esquema de conexión del sistema radiante indoor/outdoor, elementos activos/pasivos, desarrollo del esquema unifilar y simulaciones de cobertura permitiendo pre visualizar el correcto diseño y funcionamiento de la solución.

Se realizara el cálculo del link budget determinando si la potencia recibida en cada una de las antenas se encuentra dentro del margen recomendado por el fabricante y poder dar un buen servicio.

5.2 Descripción de equipos

La solución a definir para el entorno interior del campus es un sistema distribuido de antenas que serán ubicadas en zonas estratégicas con el fin de garantizar el diseño propuesto.

Para el entorno exterior se ubicara mástiles distribuidos en la terraza de la edificación permitiendo mejorar el servicio existente en la zona de la Av. Simón Bolívar, parqueaderos Udlapark, Vía Nayón y Monteserrin.

Para el diseño propuesto se utilizó datos recolectados en campo e información y documentación técnica de equipos.

5.2.1 Esquema de la solución

La solución se compone de los siguientes elementos que son: Mini Shelter, BBU, RRU, antenas indoor-outdoor, cable coaxial, fibra óptica y antena microonda todos estos elementos con su interacción permiten generar cobertura.

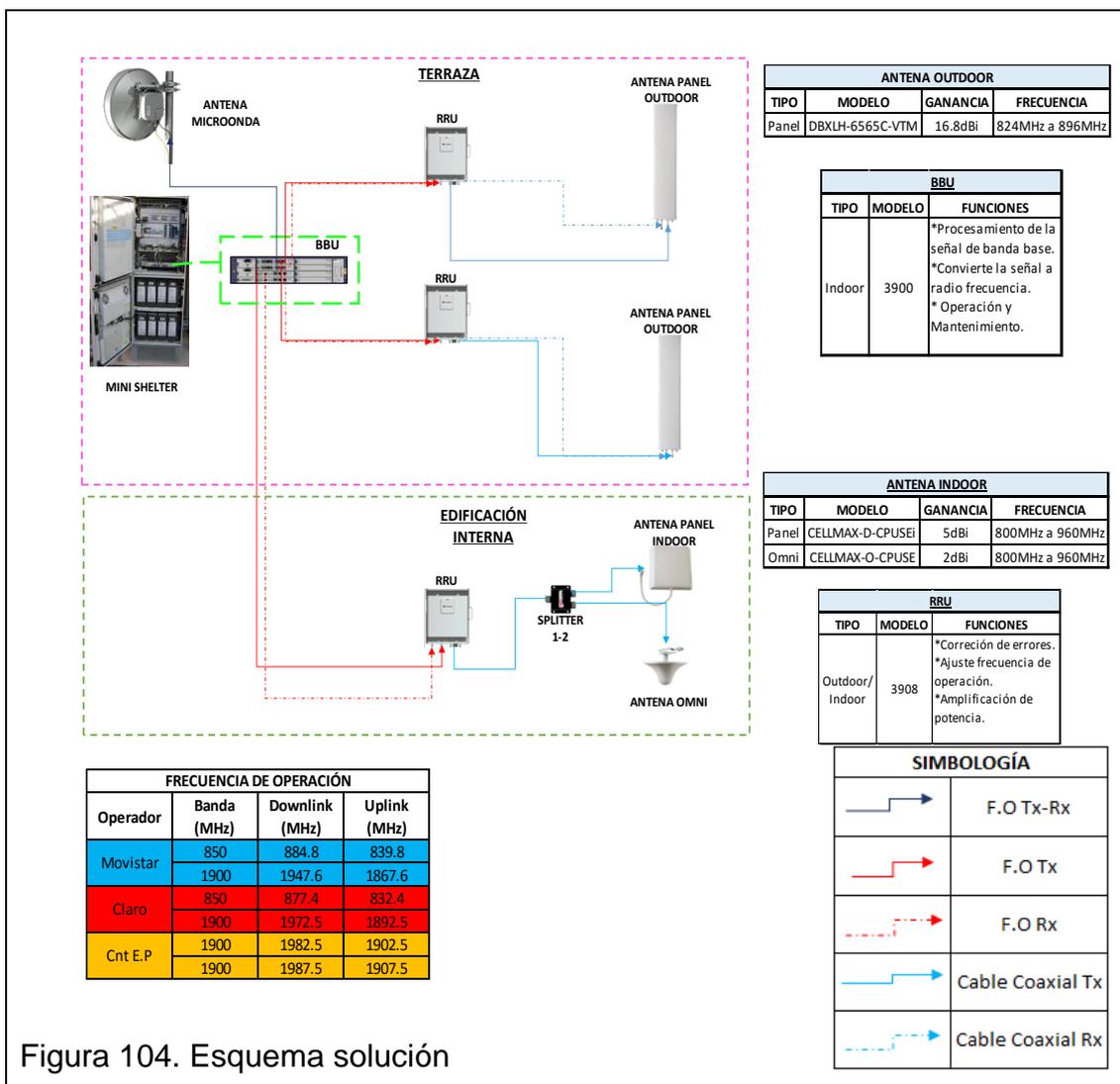


Figura 104. Esquema solución

5.2.2 Equipos a utilizar

Los equipos considerados en el diseño son utilizados por las diferentes operadoras móviles en el Ecuador ya que presentan un buen desempeño, son

asequibles, no interfieren con otros equipos de radio y se encuentran homologados por el ente regulador Arcotel.

5.2.3 Nodo B o estación base

Para el diseño se utilizara un nodo B modelo 3900 del fabricante Huawei, el cual soporta un número total de seis sectores y es válido para escenarios indoor y outdoor como se describe en la sección de anexos.

5.2.4 Elementos pasivos

Los elementos pasivos a utilizar para la solución IBS son splitters marca Andrew y CommScope modelos S-3-TCPUSE-H-N, S-4-TCPUSE-H-N, S-2-CPUSE-H-N que operan en el rango de frecuencia (698-2700Mhz), cable coaxial marca Andrew modelo 1/2" HELIAX LDF4-50A y conectores marca CommScope modelo L4PNM-RC.

5.2.5 Antenas

Indoor

Para el diseño a realizarse en el interior del campus se recomiendan utilizar antenas panel marca CELLMAX-D-CPUSEi que operan en el rango de frecuencia (698–960 MHz, 1710–2700 MHz) con 5 dBi de ganancia y antenas omnidireccionales marca CELLMAX-O-CPUSE que operan en el mismo rango de las antenas panel sin embargo su ganancia es de 2dBi.

Con la finalidad de reducir el impacto visual y no desarmonizar la arquitectura del campus las antenas seleccionadas son de dimensiones pequeñas y de color blanco, de manera que se lo menos evidente para las personas.



Figura 105. Modelo antena indoor

Outdoor

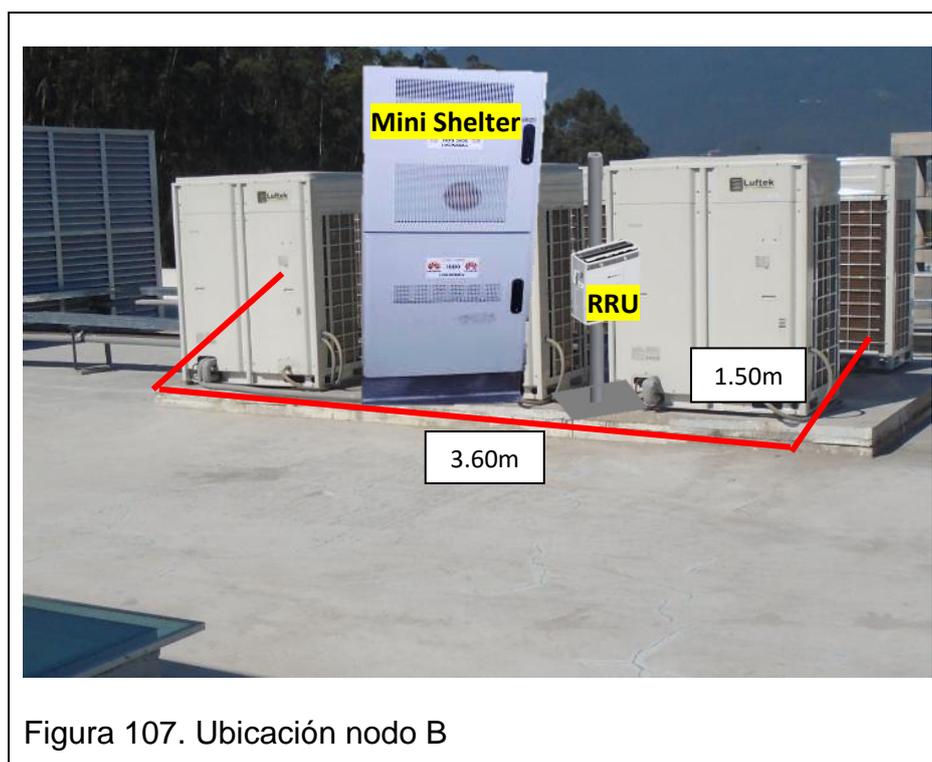
Las antenas a utilizar para el diseño exterior son de marca Commscope modelo DBXLH-6565C-VTM que operan en el rango de frecuencia (824–960 MHz, 1710–2180 MHz) con 17.4dBi de ganancia y una apertura horizontal de 67 grados permitiendo alcanzar áreas grandes de cobertura.



Figura 106. Modelo antena panel
Tomado de (Commscope, s.f.)

5.2.6 Ubicación del Nodo B

El espacio sugerido para la ubicación de los equipos se encuentra en la terraza superior esquina oeste del campus, junto a los equipos del aire acondicionado, con una área de 5.40m² (1.50m x 3.60m).



5.3 Diseño Indoor

5.3.1 Ubicación de RRU's

Para el diseño propuesto se ha considerado un total de 3 sectores o rru's distribuidas en la terraza, piso 2 y subsuelo 2 del campus Udlapark.

5.3.2 Distribución de pisos

De acuerdo al diseño propuesto y la ubicación estratégica de las rru's se tendrá la siguiente distribución por piso.

Tabla 20. Distribución sectores

Sector	Piso	Tipo de solución
1	Piso 5	Indoor
	Piso 4	
	Piso 3	
2	Piso 2	Indoor
	Piso 1	
	Planta Baja	
3	Subsuelo 1	Indoor
	Subsuelo 2	
	Subsuelo 3	
	Subsuelo 4	

5.3.3 Distribución de antenas en el campus

En el diseño se ha considerado antenas tipo omnidireccionales y panel. Las antenas estarán distribuidas en los pisos P5, P4, P3, P2, P1, PB, sub1, sub 2, sub 3 y sub 4 de acuerdo a la siguiente distribución.

Sector 1: Pisos 5, 4 y 3

Tabla 21. Distribución antenas sector 1

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 1	1A	Figura 128	Panel
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 2	5B		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 3	6C		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 4	5A		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 5	G5		Panel
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 6	4F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 7	2F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 8	1E		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 9	2D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 10	1D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 11	5 D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 5	5P-ANT 12	2B		Omnidireccional

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 1	1A	Figura 129	Panel
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 2	4A		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 3	5B		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 4	6C		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 5	5F		Panel
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 6	3F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 7	2F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 8	2D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 9	1D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 10	2B		Omnidireccional
Sector 1	Piso 4	4P-ANT 11	4D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 1	2A	Figura 130	Panel
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 2	4A		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 3	5A		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 4	5C		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 5	5D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 6	5G		Panel
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 7	2F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 8	1D		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 9	4F		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 10	2E		Omnidireccional
Sector 1	Piso 3	3P-ANT 11	3D		Omnidireccional

Sector 2: Pisos 2, 1 y PB

Tabla 22. Distribución antenas sector 2

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 1	1D	Figura 131	Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 2	2D		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 3	2F		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 4	4F		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 5	5F		Panel
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 6	5D		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 7	6C		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 8	5A		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 9	4A		Omnidireccional
Sector 2	Piso 2	2P-ANT 10	2A		Panel

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 1	1D	Figura 132	Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 2	2E		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 3	2B		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 4	2A		Panel
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 5	4B		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 6	5A		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 7	6D		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 8	5F		Panel
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 9	3G		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 10	2F		Omnidireccional
Sector 2	Piso 1	1P-ANT 11	4D		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 1	1D	Figura 133	Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 2	1C		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 3	2A		Panel
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 4	3A		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 5	5B		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 6	2E		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 7	2G		Panel
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 8	5G		Panel
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 9	6E		Omnidireccional
Sector 2	Planta Baja	PB-ANT 10	4D		Omnidireccional

Sector 3: Subsuelos 1, 2, 3 y 4

Tabla 23. Distribución antenas sector 3

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 1	1A	Figura 134	Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 2	1D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 3	4C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 4	3C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 5	3B		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 6	3A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 7	5A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 8	6A		Panel
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 9	6B		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 10	6B		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 11	6C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 1	SUB1-ANT 12	5D		Panel

Sector	Piso	Nombre Antena	Cuadrante	Referencia	Tipo Antena
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 1	4A	Figura 135	Panel
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 2	6B		Panel
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 3	5C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 4	6D		Panel
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 5	4D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 6	2A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 7	2D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 8	2C		Panel
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 9	3C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 10	5A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 11	3D		Panel
Sector 3	Subsuelo 2	SUB2-ANT 12	2A		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 1	3C	Figura 136	Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 2	6A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 3	6B		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 4	5C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 5	6D		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 6	4D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 7	2A		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 8	1A		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 9	2C		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 10	3D		Panel
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 11	1D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 3	SUB3-ANT 12	4A		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 1	3B	Figura 137	Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 2	6D		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 3	6C		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 4	6B		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 5	4D		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 6	1D		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 7	1B		Panel
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 8	4C		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 9	2B		Omnidireccional
Sector 3	Subsuelo 4	SUB4-ANT 10	2D		Omnidireccional

5.3.4 Ubicación de antenas indoor

A continuación se encuentra la propuesta de ubicación de antenas en las instalaciones del campus Udlapark, las cuales han sido distribuidas y clasificadas por pisos respectivamente.

Sector 1, piso 5

Sector	Piso	Número de antenas
1	5	10 antenas omni y 2 antenas panel

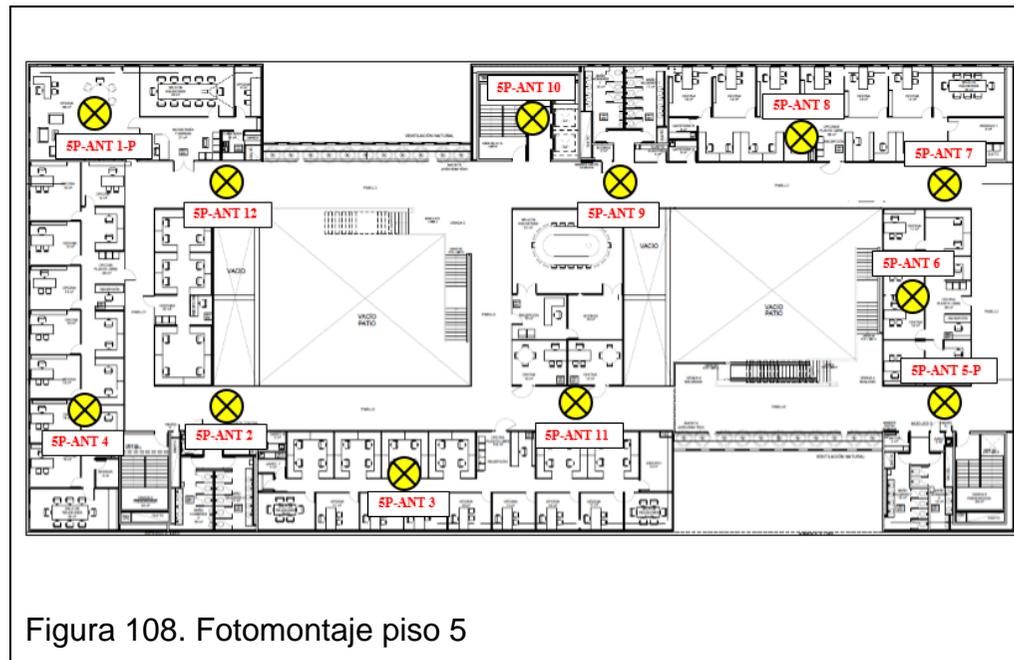


Figura 108. Fotomontaje piso 5

Sector 1, piso 4

Sector	Piso	Número de antenas
1	4	9 antenas omni y 2 antenas panel

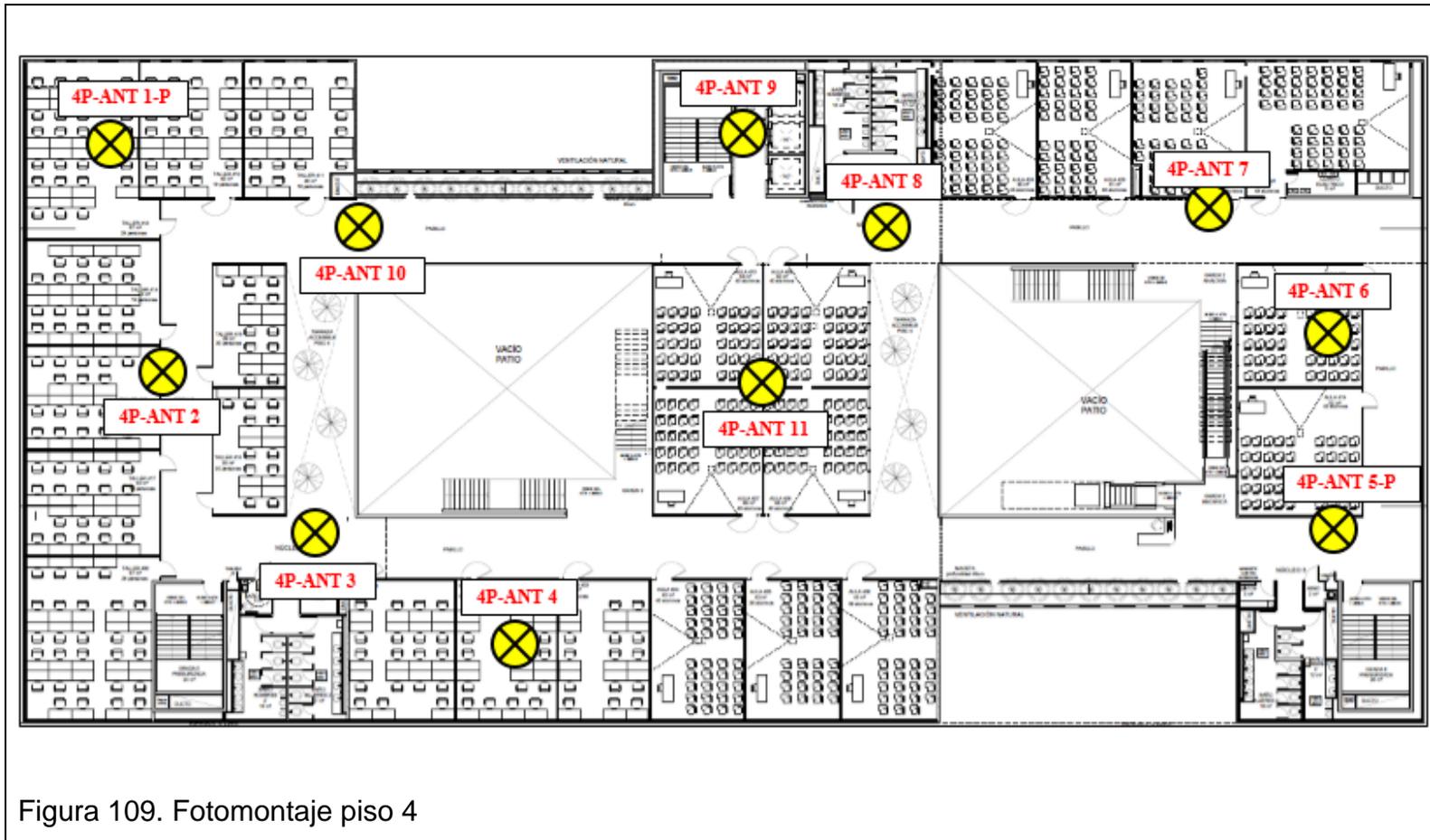


Figura 109. Fotomontaje piso 4

Sector 1, Piso 3

Sector	Piso	Número de antenas
1	3	9 antenas omni y 2 antenas panel

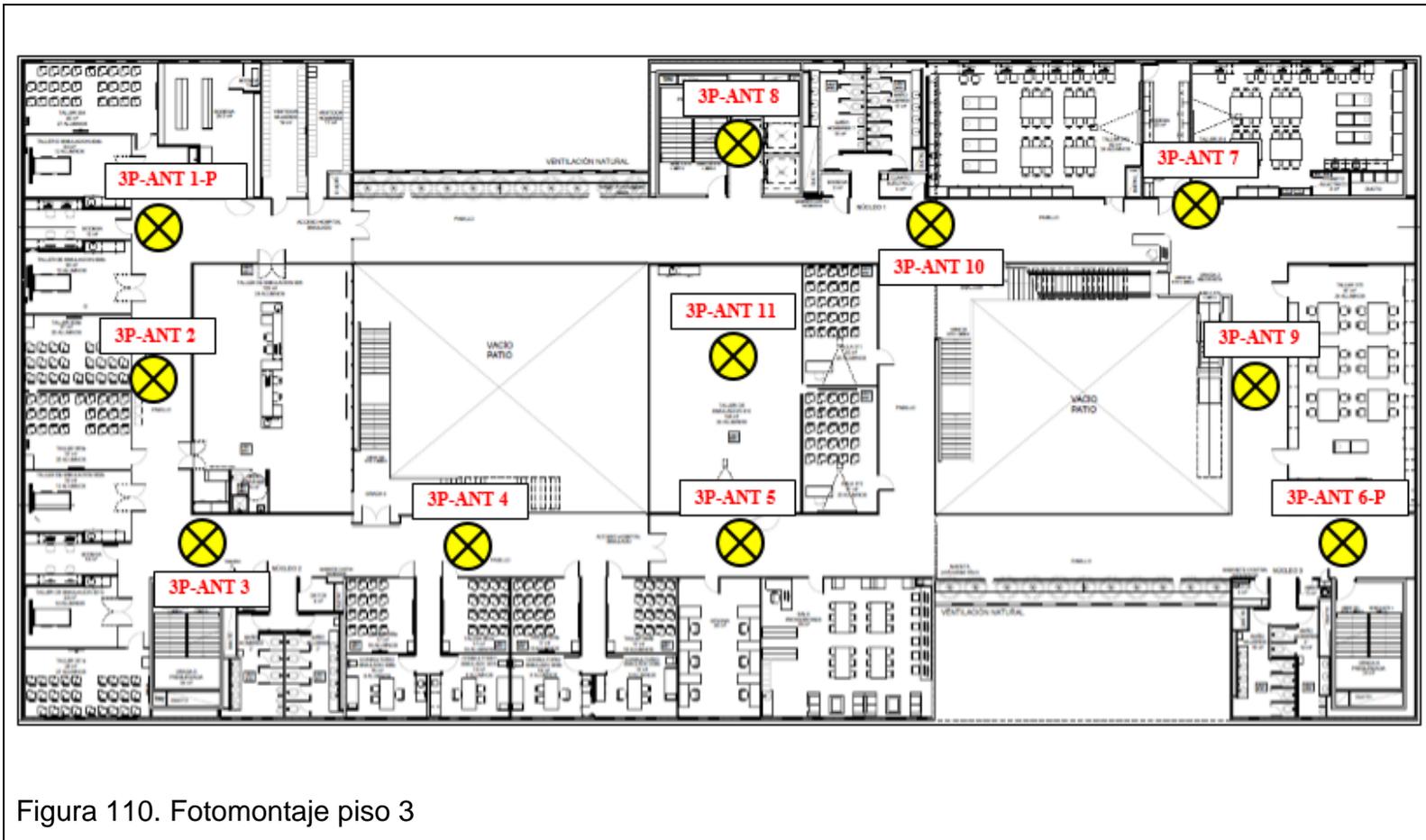


Figura 110. Fotomontaje piso 3

Sector 2, piso 2

Sector	Piso	Número de antenas
2	2	8 antenas omni y 2 antenas panel

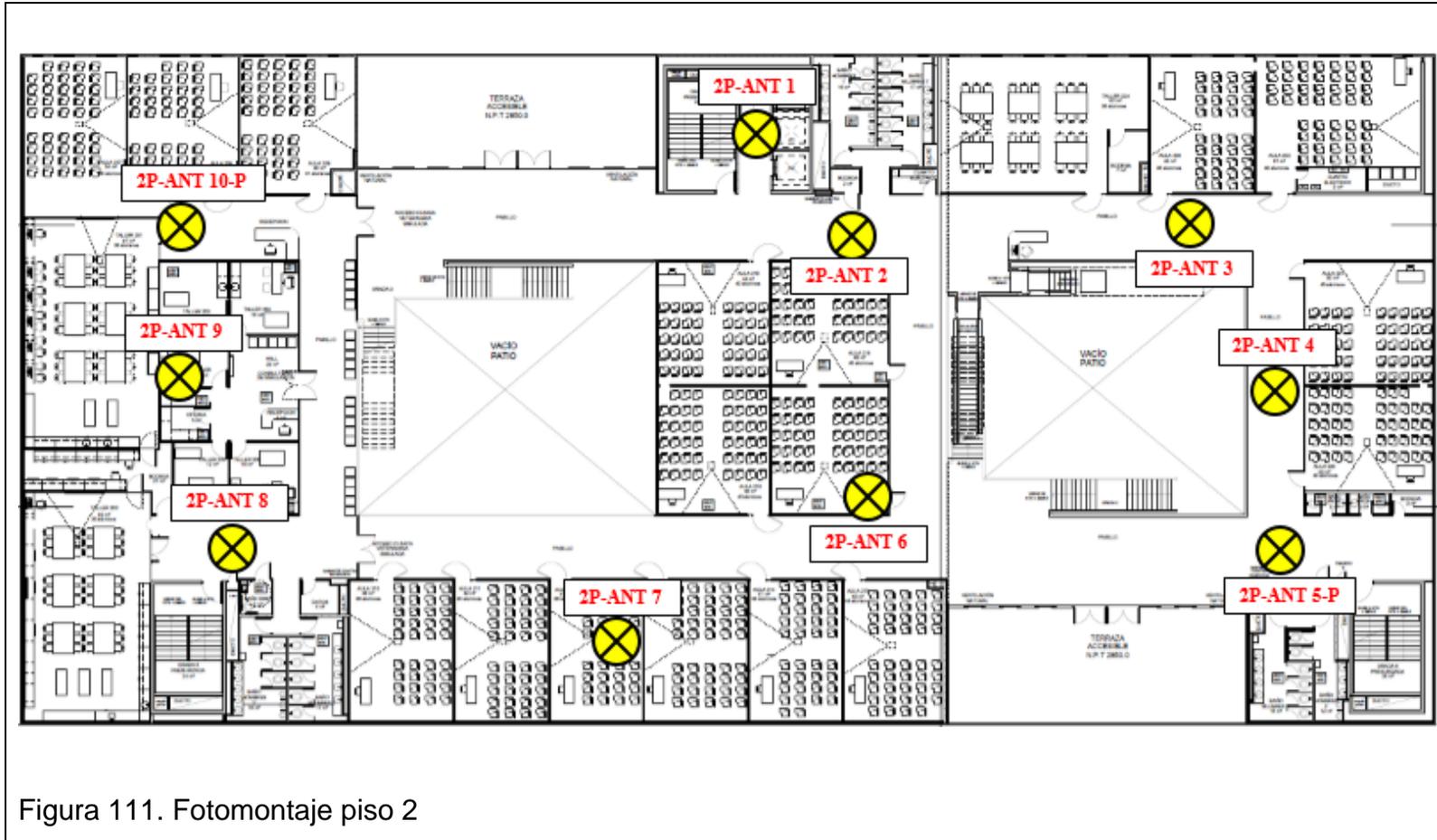


Figura 111. Fotomontaje piso 2

Sector 2, piso 1

Sector	Piso	Número de antenas
2	1	9 antenas omni y 2 antenas panel

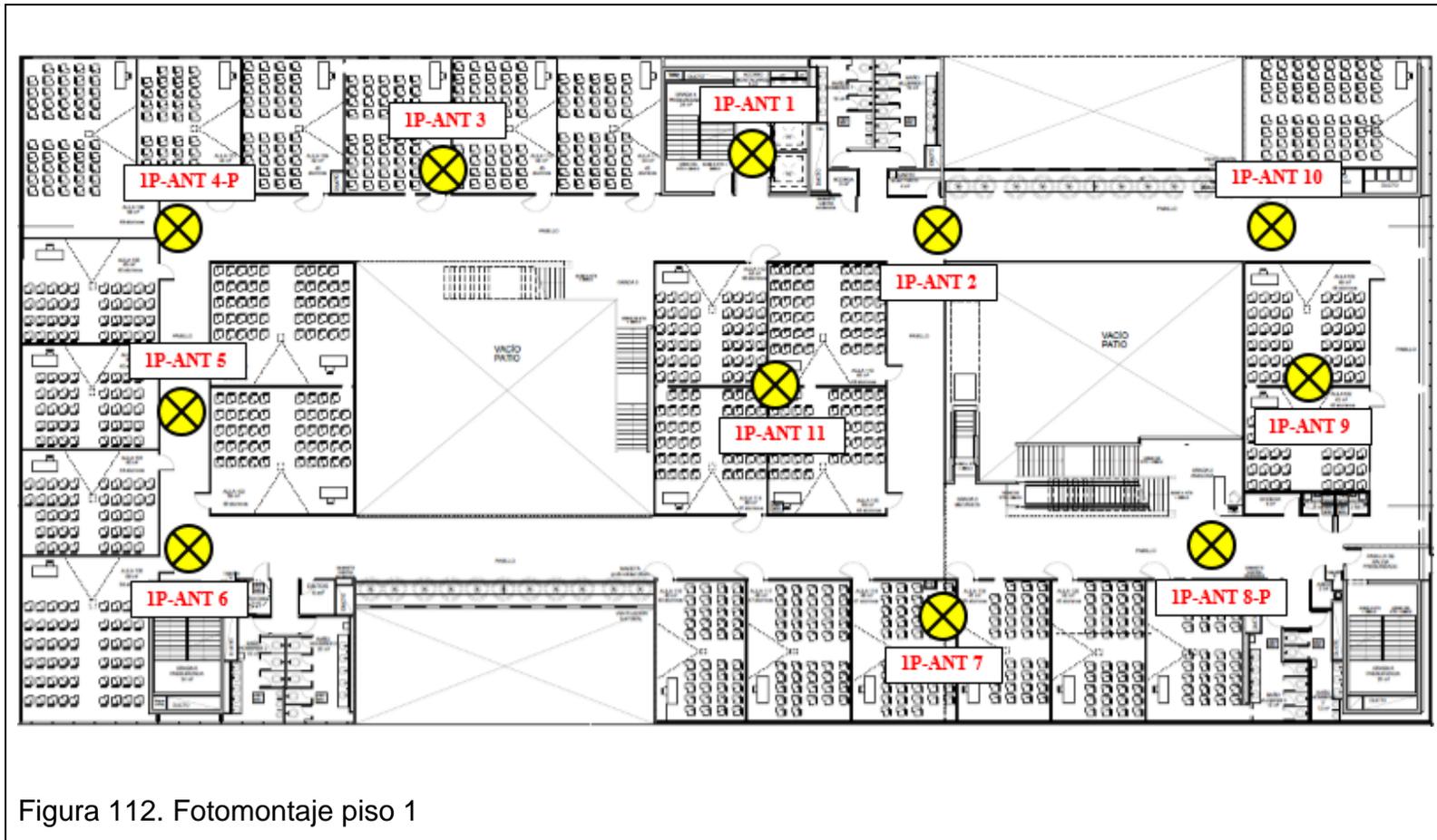


Figura 112. Fotomontaje piso 1

Sector 3, planta baja

Sector	Piso	Número de antenas
3	PB	7 antenas omni y 3 antenas panel

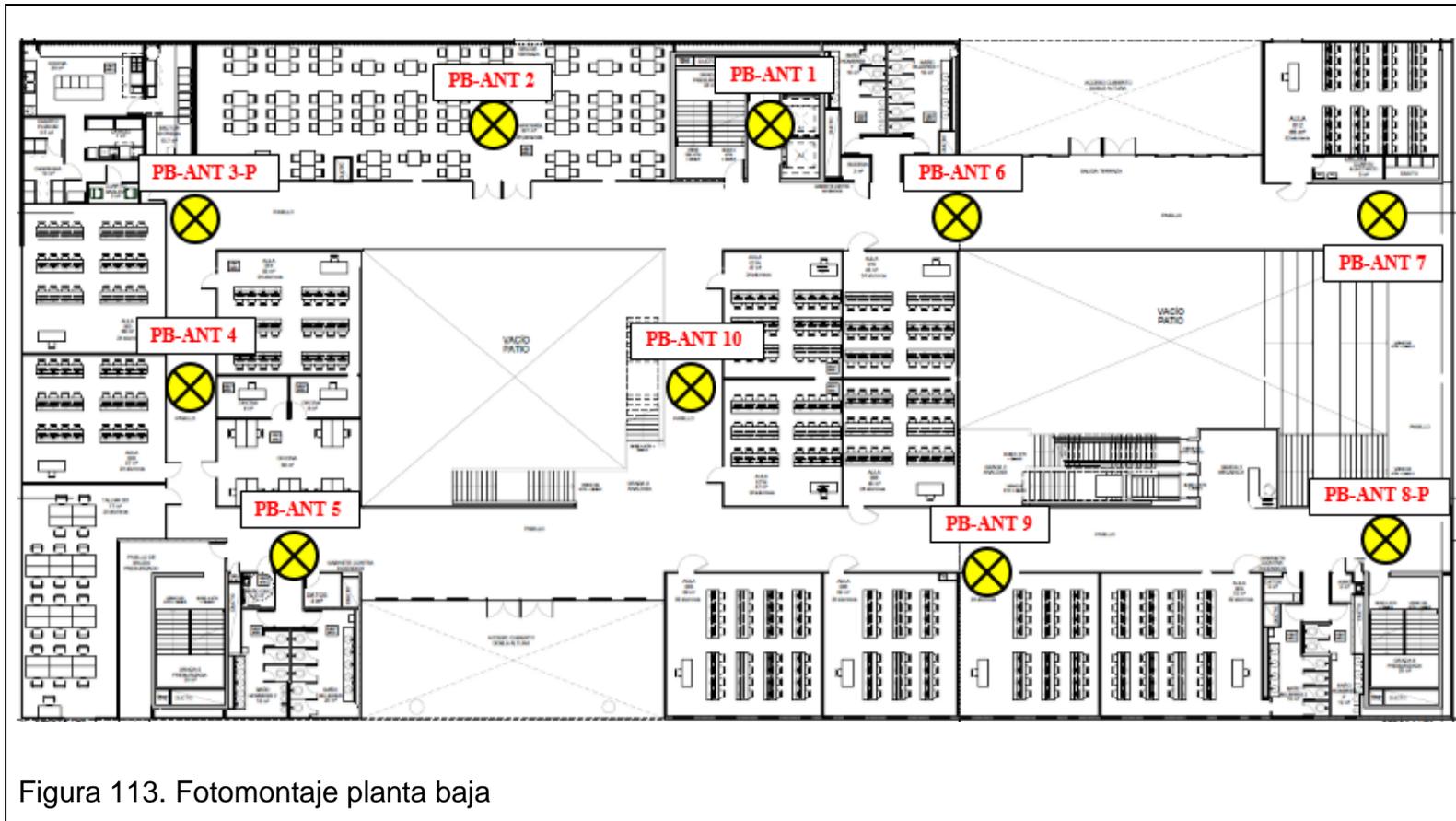


Figura 113. Fotomontaje planta baja

Sector 3, subsuelo 1

Sector	Piso	Número de antenas
3	Sub1	10 antenas omni y 2 antenas panel

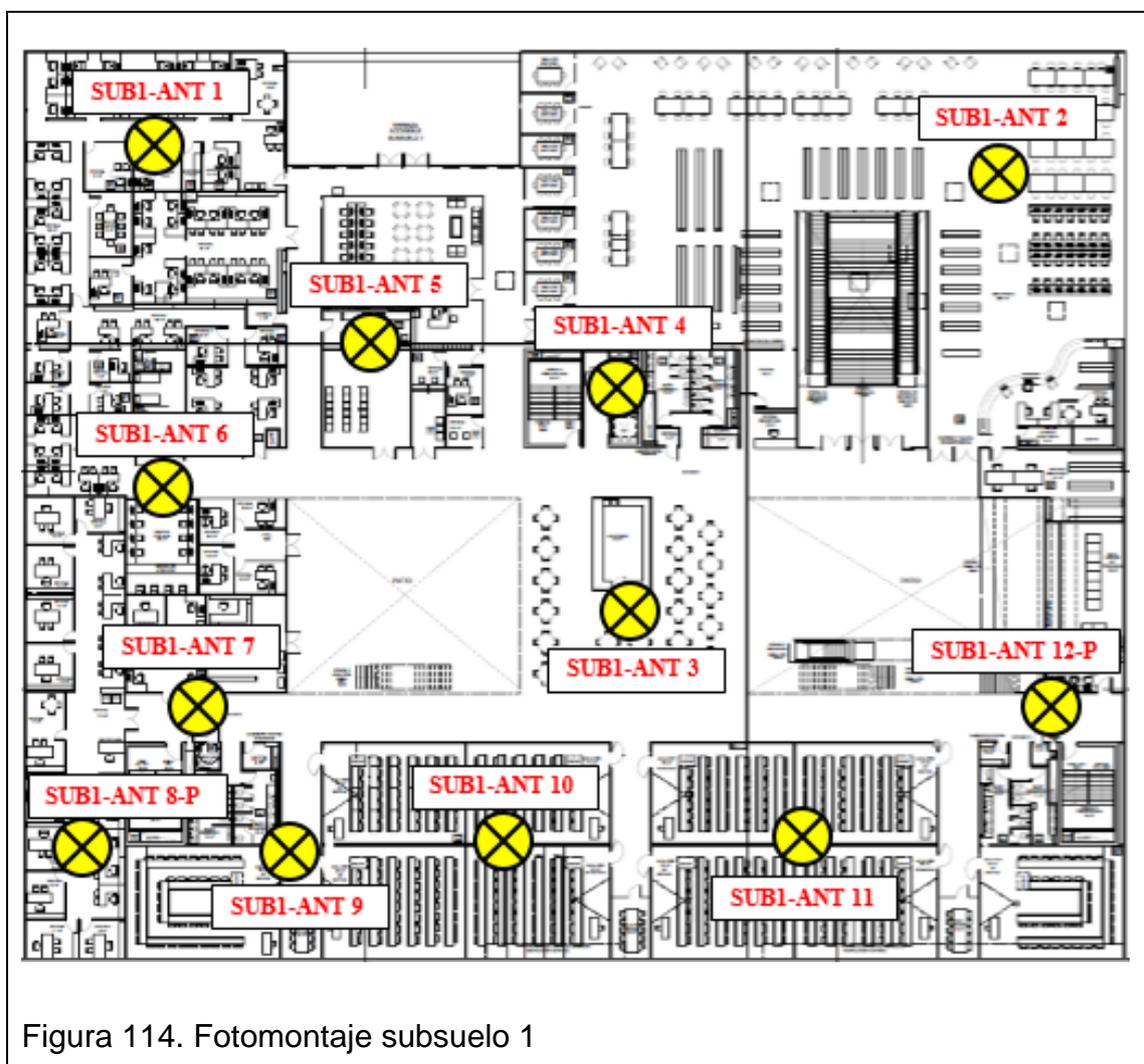
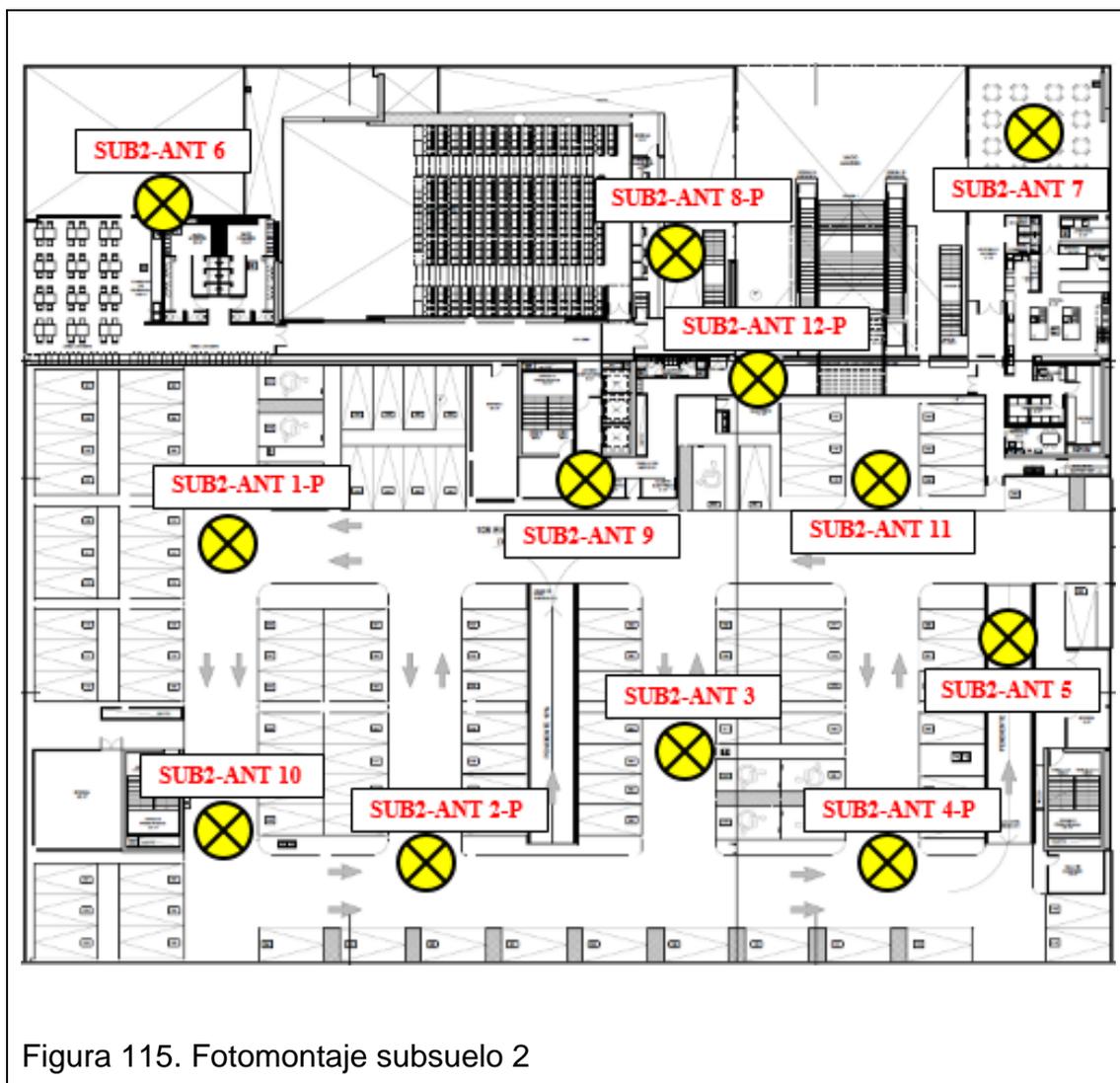


Figura 114. Fotomontaje subsuelo 1

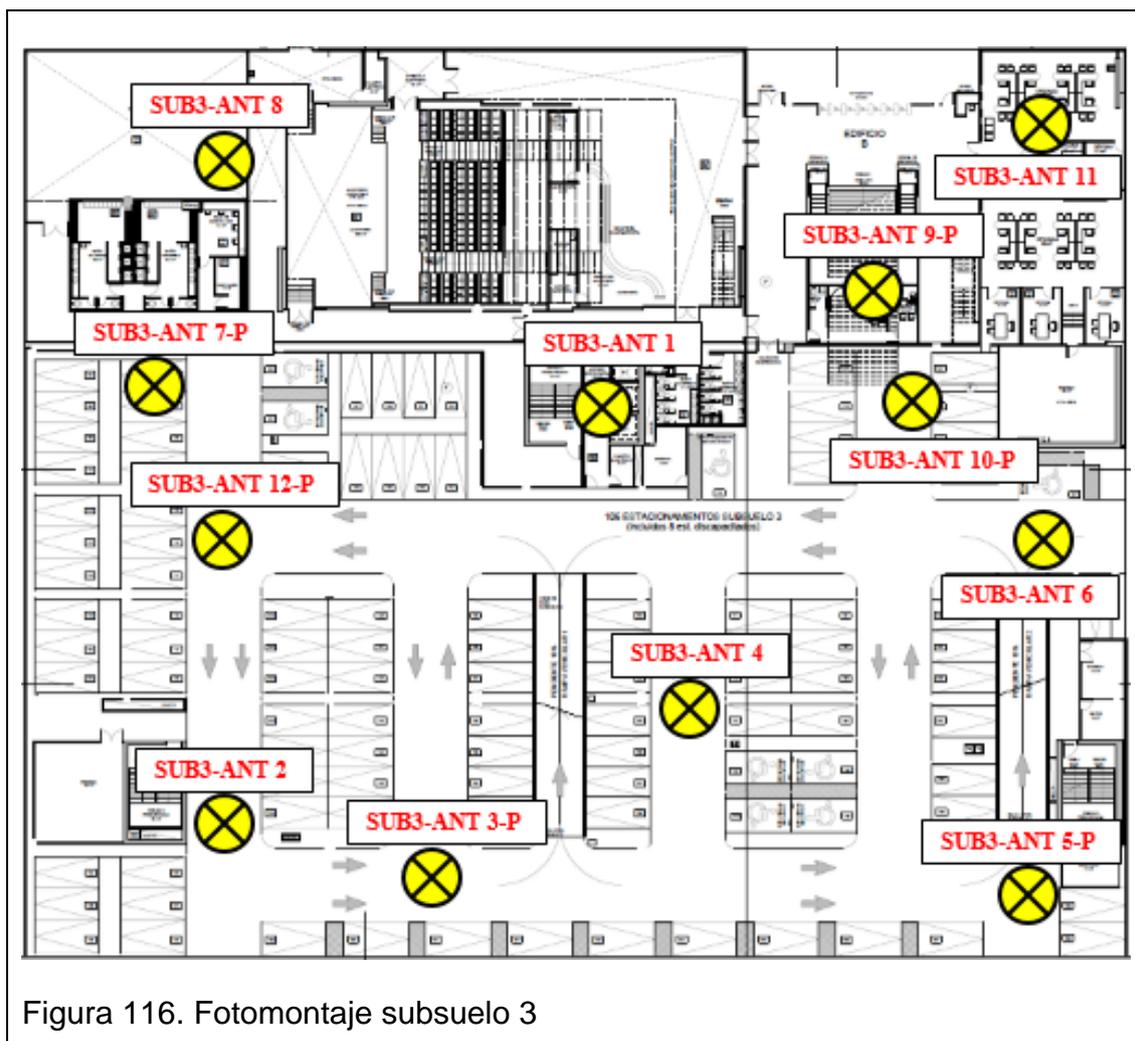
Sector 3, subsuelo 2

Sector	Piso	Número de antenas
3	Sub2	6 antenas omni y 6 antenas panel



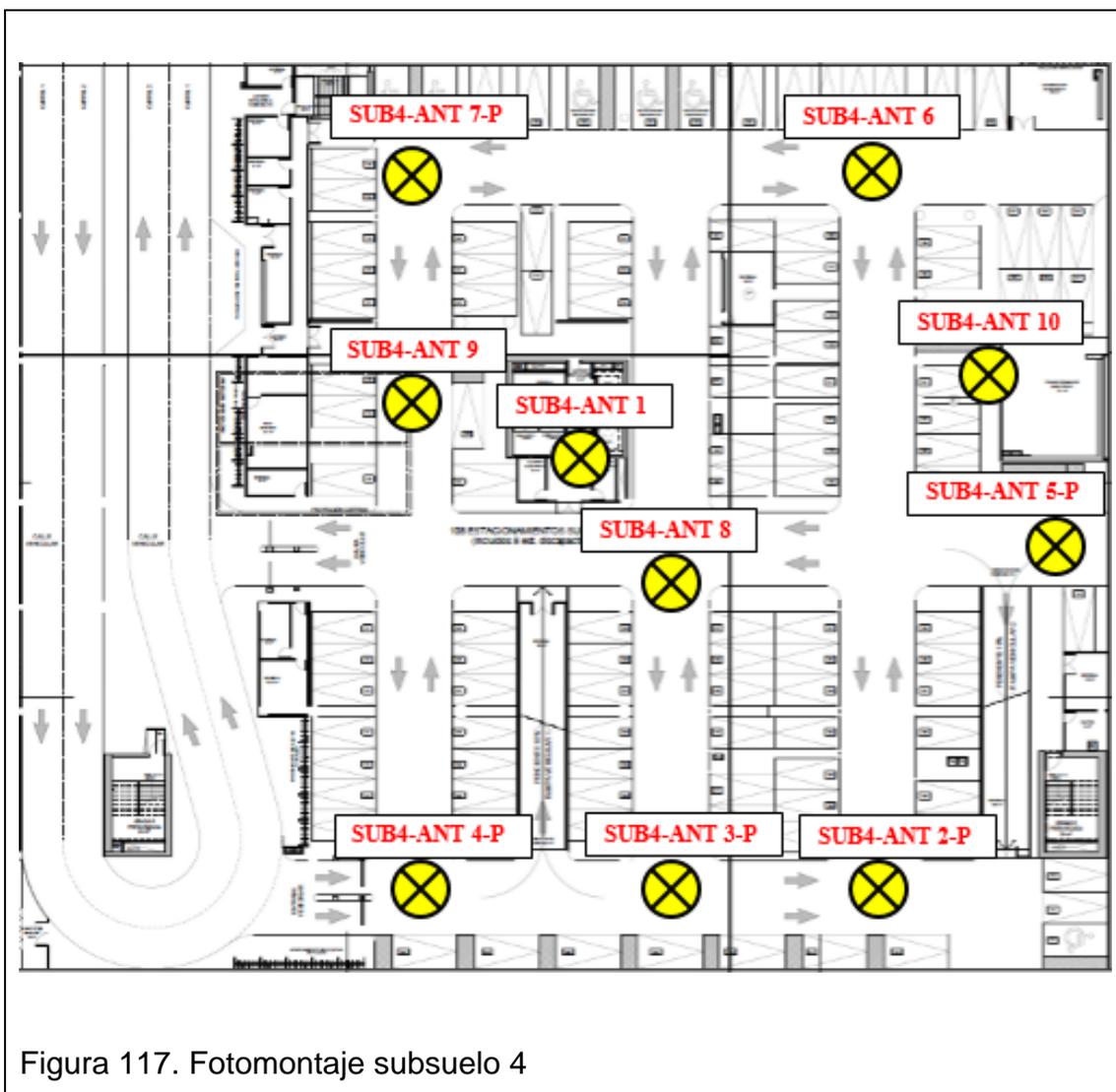
Sector 3, subsuelo 3

Sector	Piso	Número de antenas
3	Sub3	6 antenas omni y 6 antenas panel



Sector 3, subsuelo 4

Sector	Piso	Número de antenas
3	Sub3	5 antenas omni y 5 antenas panel



5.3.5 Diseño Unifilar

El diseño o esquema unifilar es la representación gráfica de un boceto de una solución indoor donde se identifica la ubicación de equipos, conexiones, distancias, etc permitiendo de manera gráfica visualizar la solución propuesta.

En las siguientes figuras se encuentra el esquema unifilar propuesto para mejorar la cobertura y calidad existente el campus Udlapark.

Sector 1, piso 5

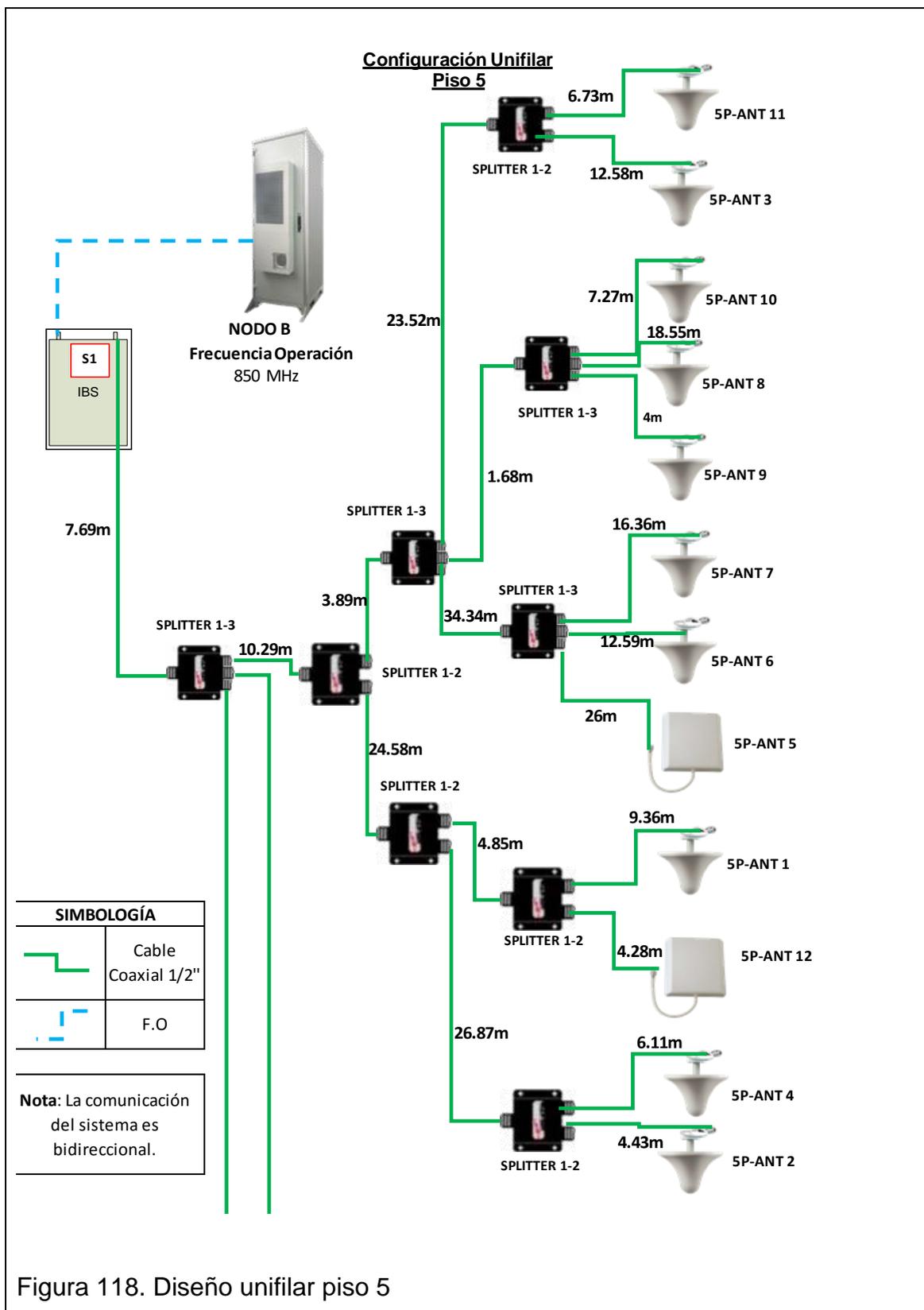
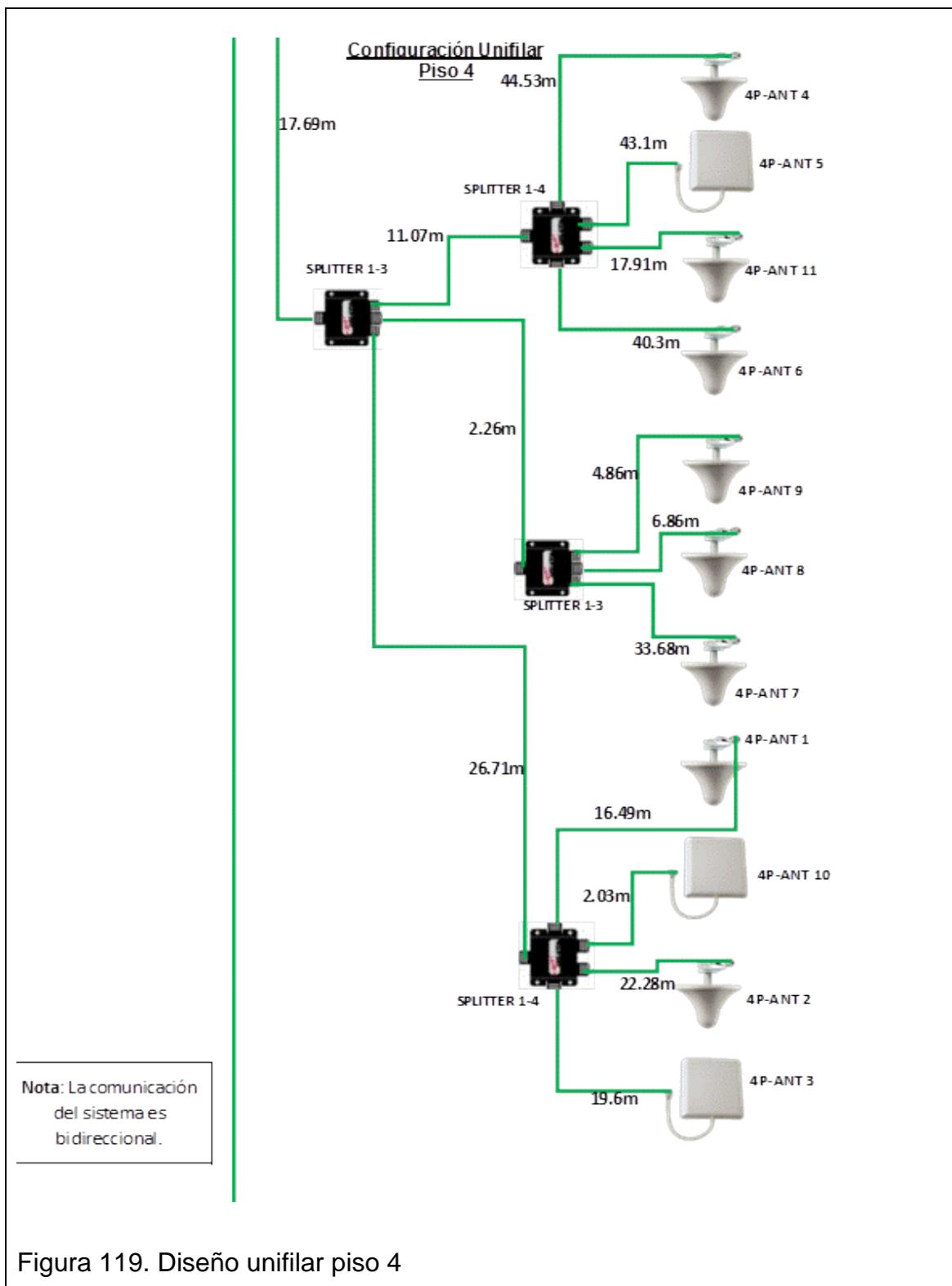
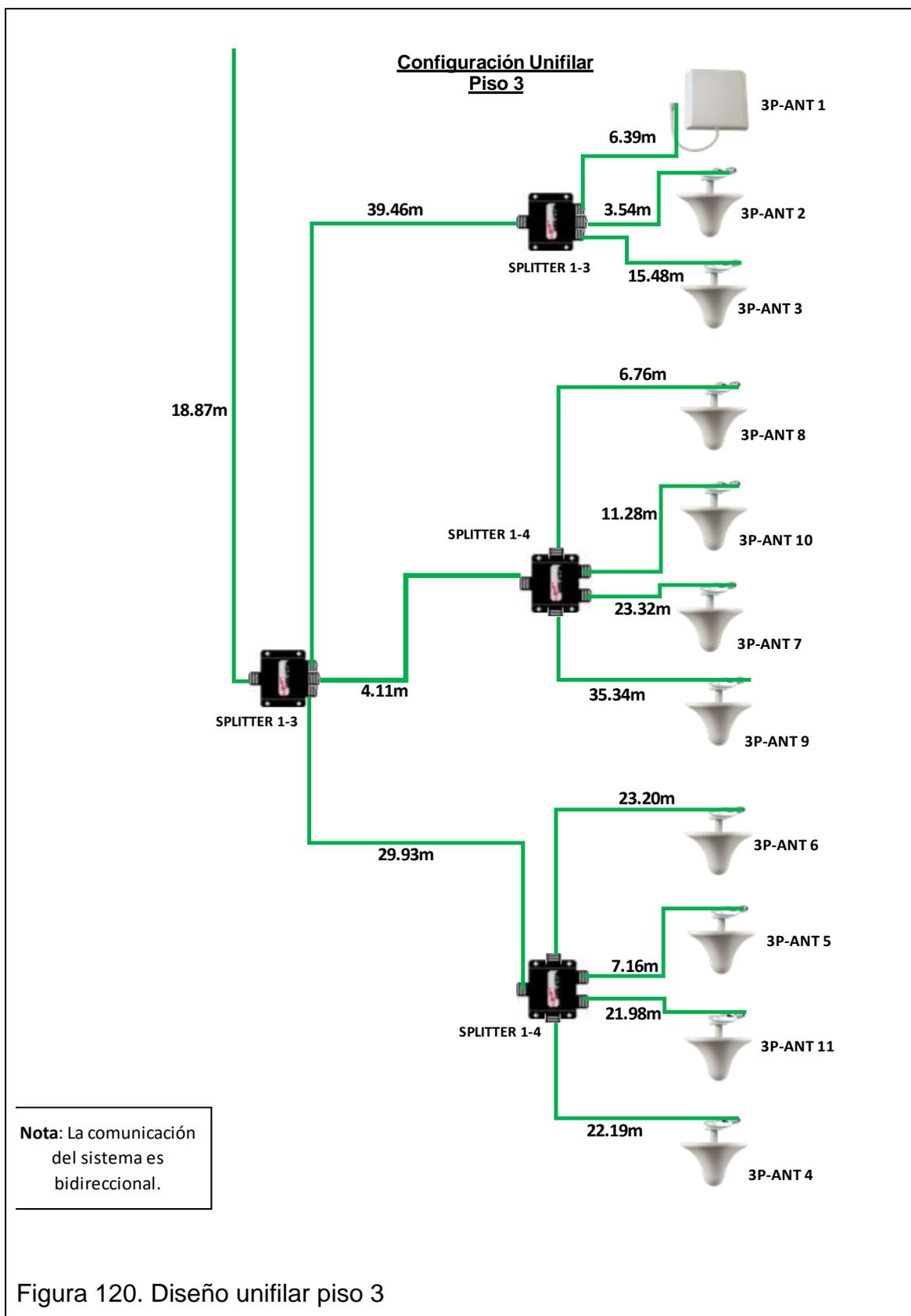


Figura 118. Diseño unifilar piso 5

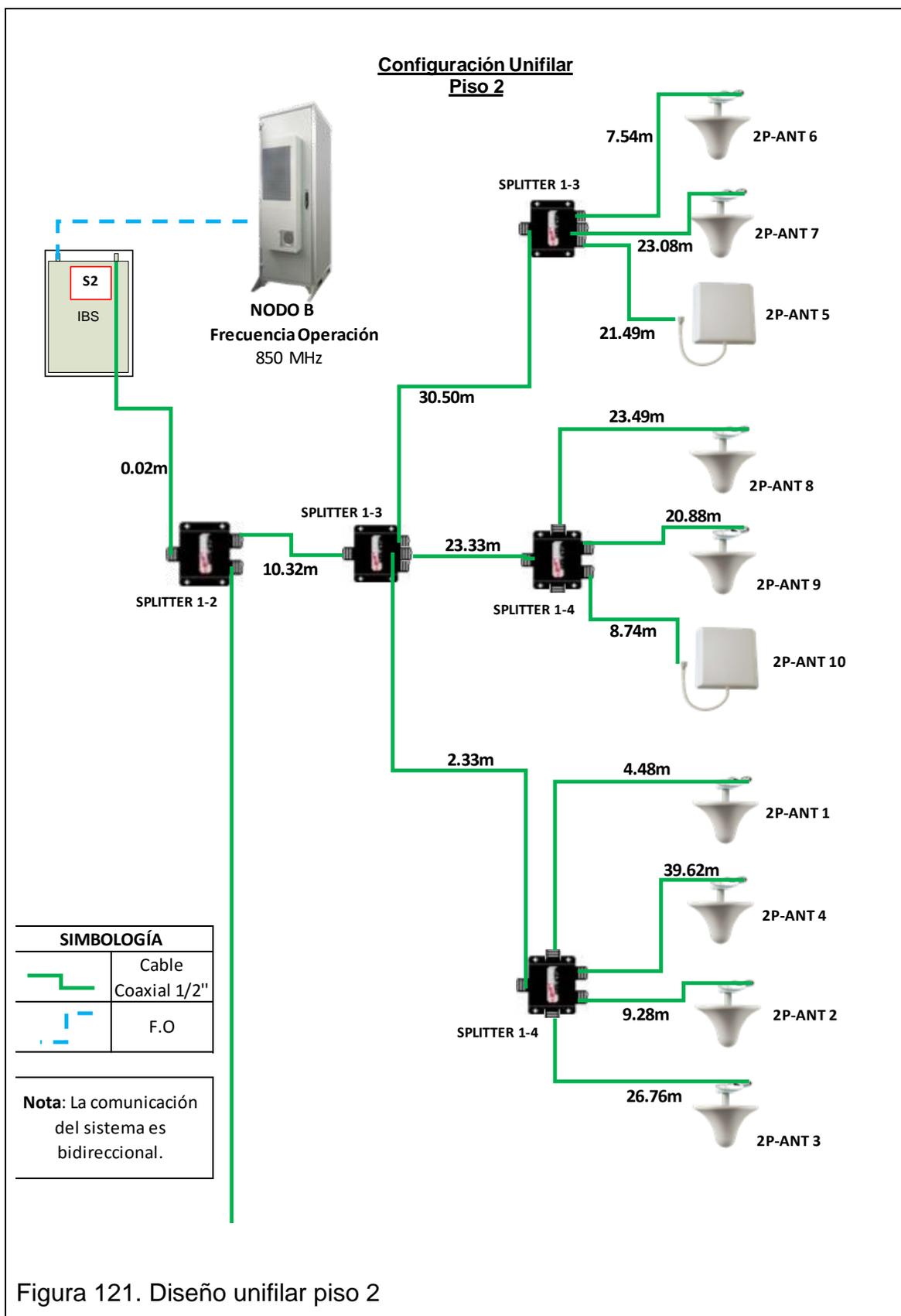
Sector 1, piso 4



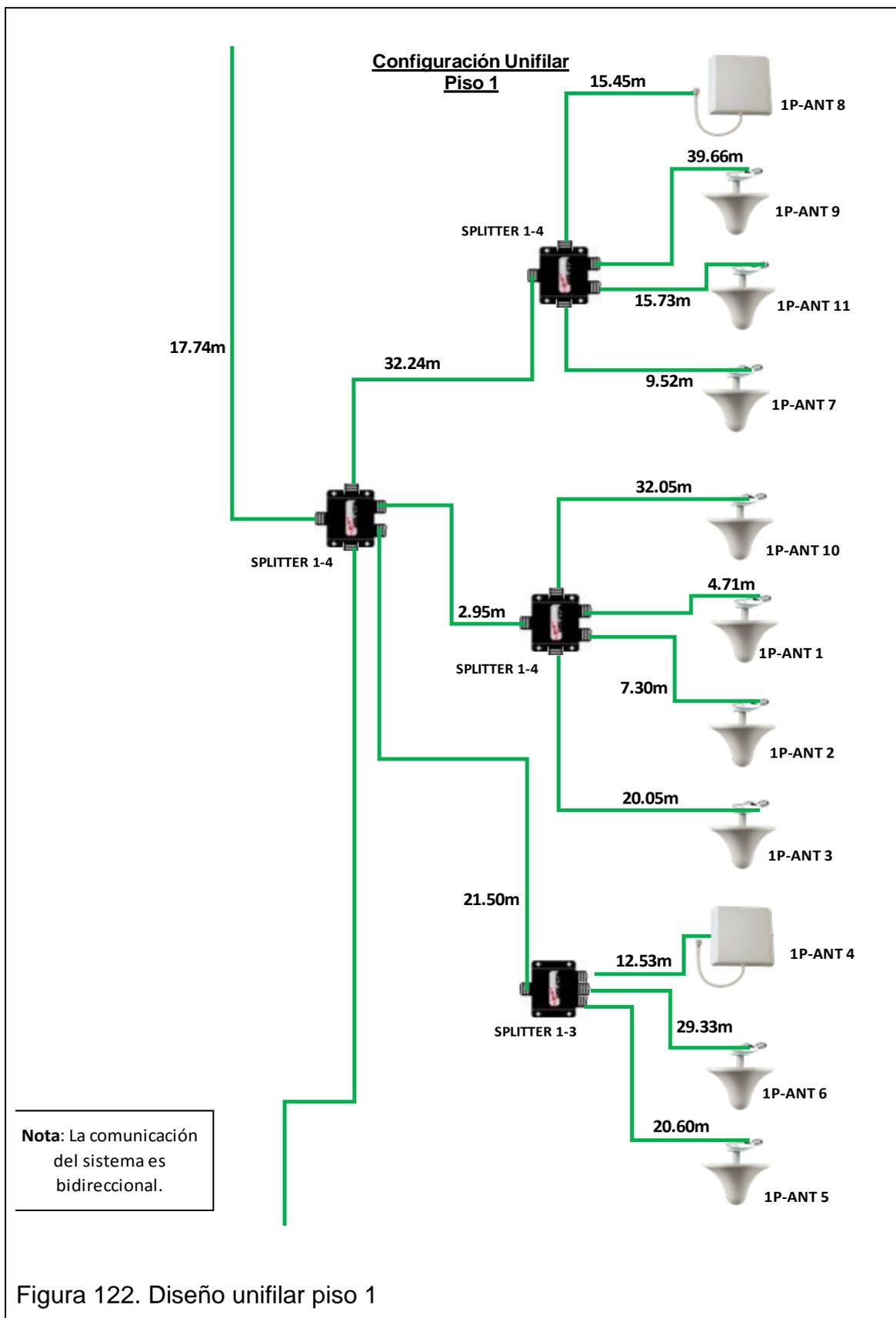
Sector 1, piso 3



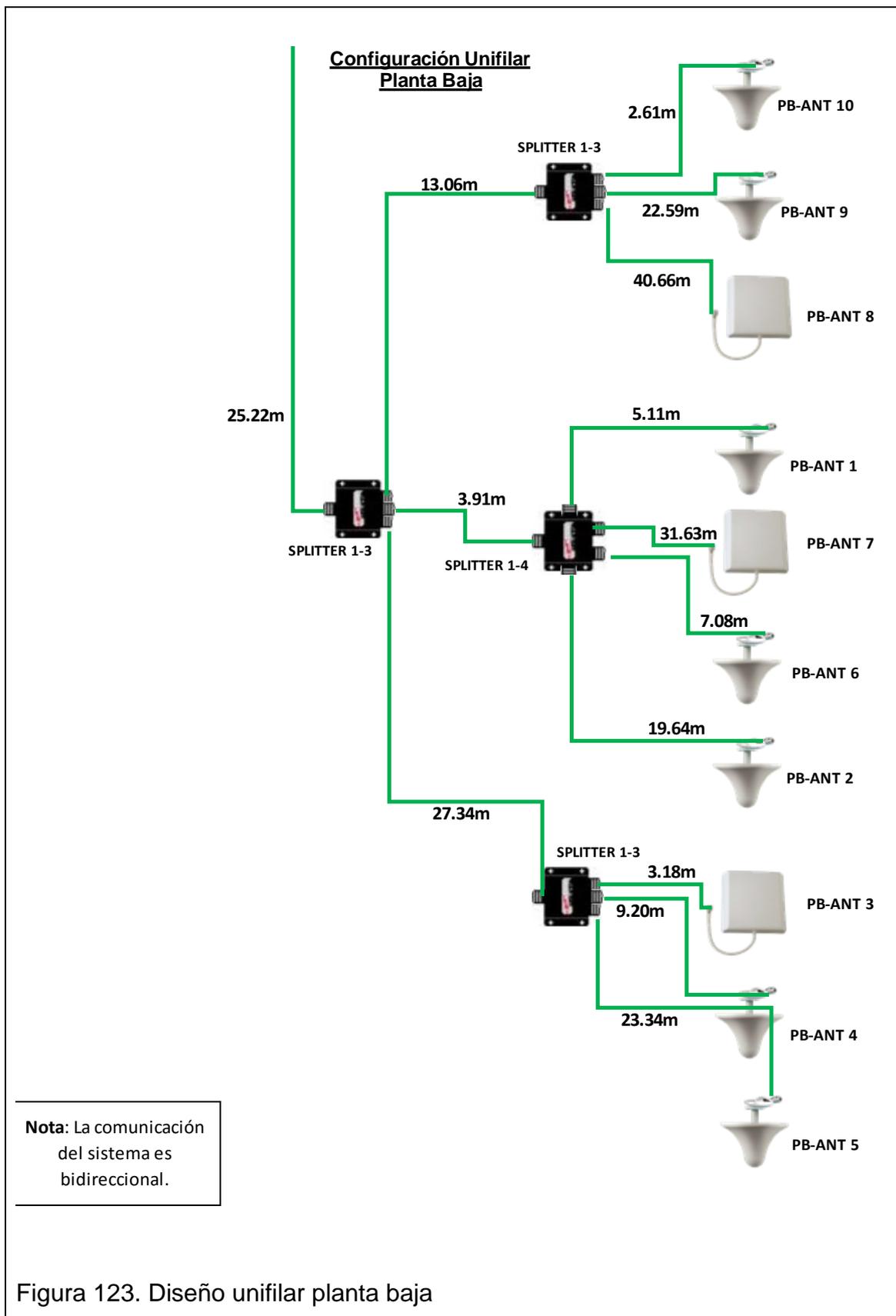
Sector 2, piso 2



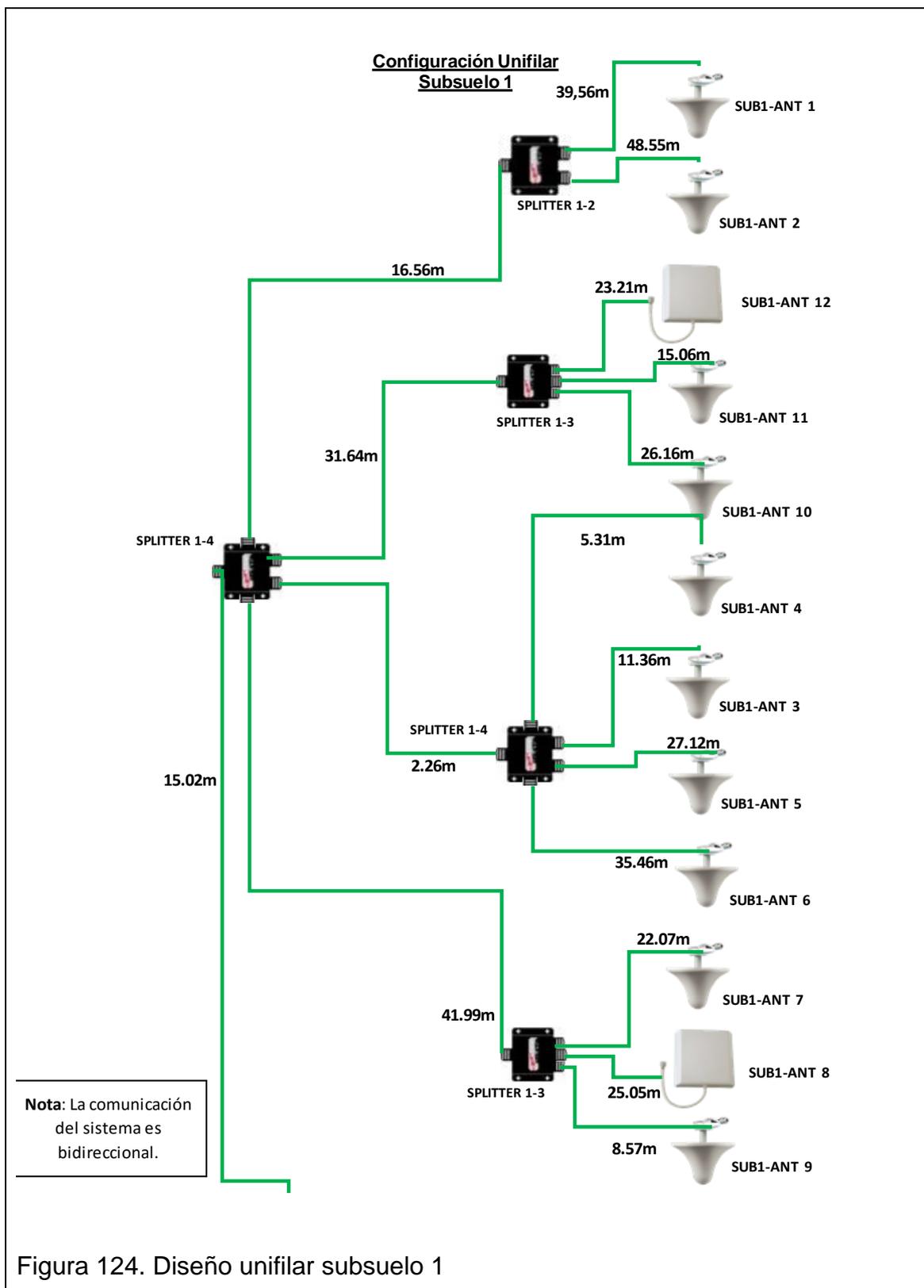
Sector 2, piso 1



Sector 2, planta baja



Sector 3, subsuelo 1



Sector 3, subsuelo 2

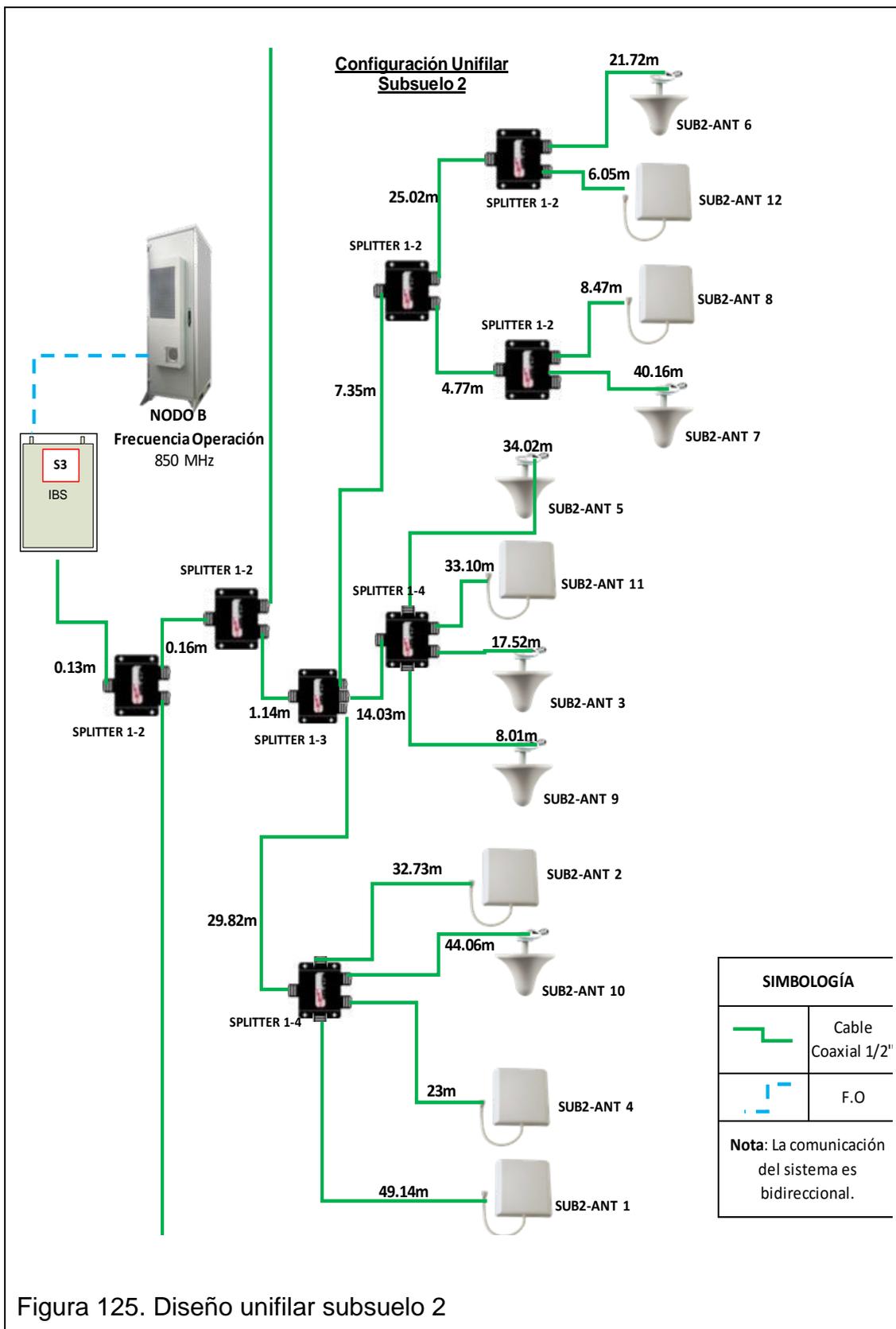
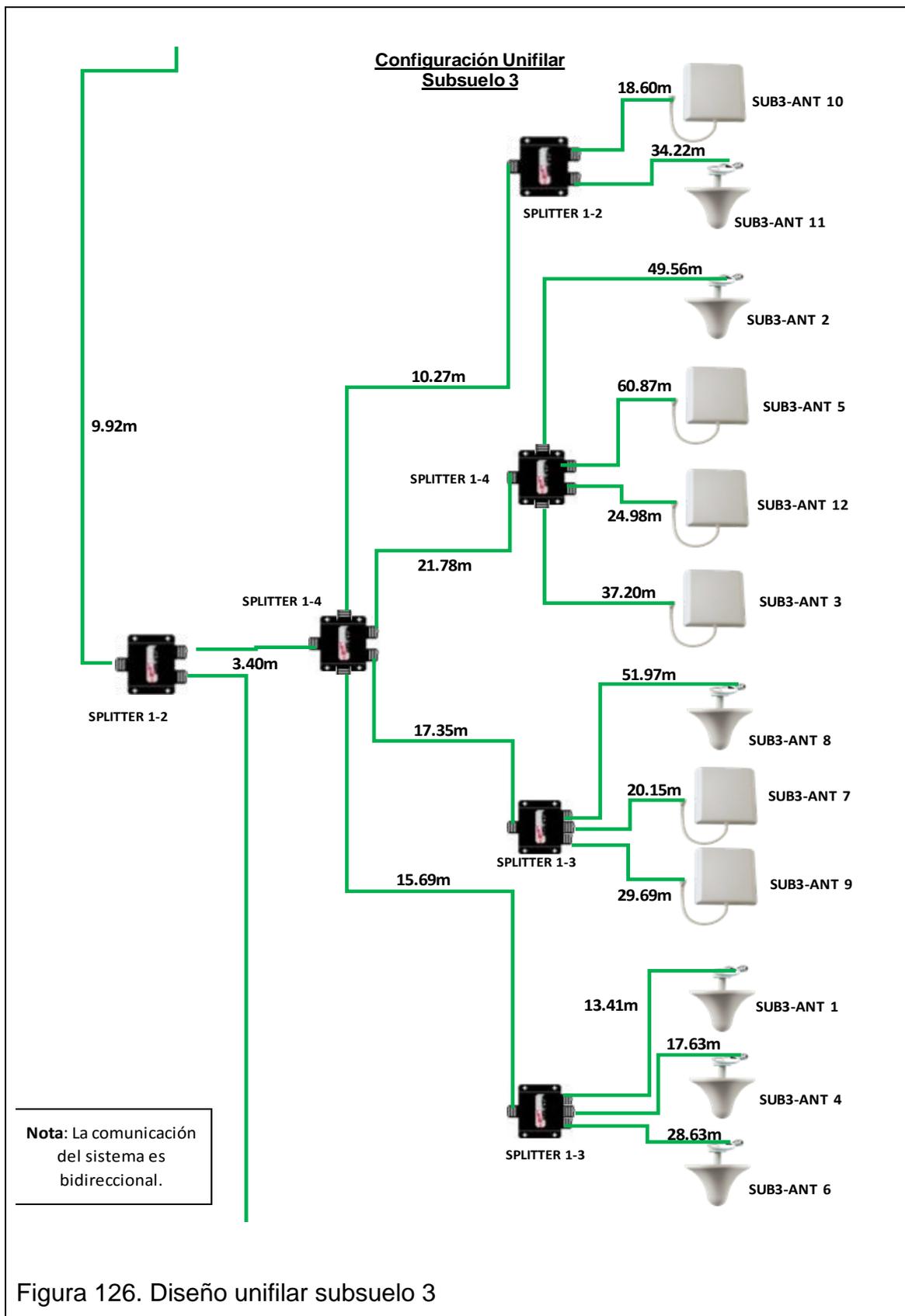


Figura 125. Diseño unifilar subsuelo 2

Sector 3, subsuelo 3



Sector 3, subsuelo 4

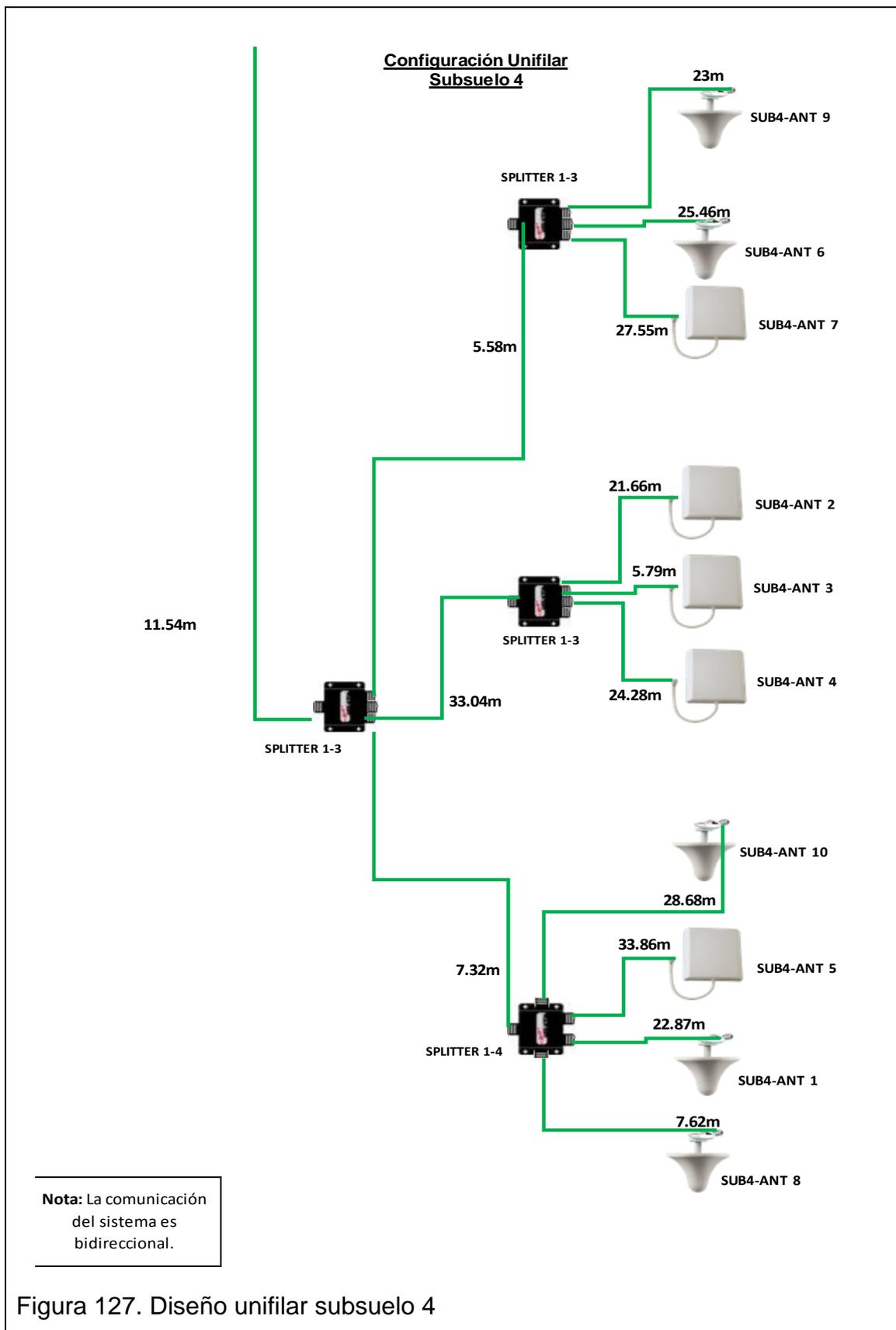


Figura 127. Diseño unifilar subsuelo 4

5.3.6 Link Budget

El link Budget o también llamado presupuesto de potencia es el cálculo de todas las ganancias y pérdidas del sistema encontradas entre el transmisor y receptor de un sistema de telecomunicaciones.

El cálculo matemático para determinar la potencia recibida se lo realiza de la siguiente manera.

$$\text{Potencia recibida dB} = \text{potencia transmitida (dBm)} + \text{ganancias (dB)} - \text{perdidas (dB)}$$

Ecuación 12

Para el cálculo del link budget en el diseño propuesto se ha considerado las pérdidas generadas por la distancia de los cables, número y tipo de splitters, ganancia de las antenas, conectores y potencia del transmisor.

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

La potencia isotrópica radiada es la cantidad de potencia final (dBm) que irradiara una antena isotrópica para producir la densidad del punto de potencia observado en la dirección de la máxima ganancia de la antena.

En las siguientes tablas se encuentra los valores de presupuesto de potencia a recibir en el sistema radiante indoor.

Sector 1

Tabla 24. Cálculo de Link budget - sector 1

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU (dBm)	Pérdidas totales (dB)	Ganancia antena (dBi)	Potencia total PIRE (dBm)
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Perdidas (dB)				
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Perdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Perdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)				
5P-ANT 1	5	Sector 1	850 MHz	3	1	-	-14.3	56.8	-4.4	46	-18.7	5	32.31
5P-ANT 2	5	Sector 1	850 MHz	3	1	-	-14.3	73.9	-5.57	46	-19.9	2	28.14
5P-ANT 3	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	58.0	-4.48	46	-22.6	2	25.43
5P-ANT 4	5	Sector 1	850 MHz	-	1	-	-14.3	75.5	-5.69	46	-20.0	2	28.02
5P-ANT 5	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	82.2	-6.14	46	-24.2	5	26.77
5P-ANT 6	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	68.8	-5.22	46	-23.3	2	24.68
5P-ANT 7	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	72.6	-5.48	46	-23.6	2	24.43
5P-ANT 8	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	42.1	-3.4	46	-21.5	2	26.51
5P-ANT 9	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	27.6	-2.41	46	-20.5	2	27.51
5P-ANT 10	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	30.8	-2.63	46	-20.7	2	27.29
5P-ANT 11	5	Sector 1	850 MHz	1	3	-	-18.1	52.1	-4.08	46	-22.2	2	25.83
5P-ANT 12	5	Sector 1	850 MHz	3	1	-	-14.3	51.7	-4.05	46	-18.3	2	29.66
4P-ANT 1	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	68.6	-5.1	46	-21.4	5	29.6
4P-ANT 2	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	74.4	-5.5	46	-21.8	2	26.2

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Perdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Perdidas (dB)										
4P-ANT 3	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	71.8	-5.32	46	-21.6	2	26.38
4P-ANT 4	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	81.0	-5.95	46	-22.3	2	25.75
4P-ANT 5	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	79.6	-5.86	46	-22.2	5	28.84
4P-ANT 6	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	76.8	-5.66	46	-22.0	2	26.04
4P-ANT 7	4	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	61.3	-4.6	46	-19.6	2	28.4
4P-ANT 8	4	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	34.5	-2.76	46	-17.8	2	30.24
4P-ANT 9	4	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	32.5	-2.62	46	-17.6	2	30.37
4P-ANT 10	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	54.1	-4.11	46	-20.4	2	27.59
4P-ANT 11	4	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	54.4	-4.13	46	-20.4	2	27.57
3P-ANT 1	3	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	72.4	-5.37	46	-20.4	5	30.64
3P-ANT 2	3	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	69.6	-5.17	46	-20.2	2	27.83
3P-ANT 3	3	Sector 1	850 MHz	-	3	-	-15	81.5	-5.99	46	-21.0	2	27.01
3P-ANT 4	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	78.7	-5.79	46	-22.1	2	25.91
3P-ANT 5	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	63.7	-4.76	46	-21.1	2	26.94
3P-ANT 6	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	79.7	-5.86	46	-22.2	5	28.84
3P-ANT 7	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	54.0	-4.1	46	-20.4	2	27.6
3P-ANT 8	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	42.0	-3.27	46	-19.6	2	28.42
3P-ANT 9	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	66.0	-4.92	46	-21.2	2	26.77

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Perdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Perdidas (dB)										
3P-ANT 10	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	36.4	-2.89	46	-19.2	2	28.8
3P-ANT 11	3	Sector 1	850 MHz	-	2	1	-16.3	78.5	-5.78	46	-22.1	2	25.92

Sector 2

Tabla 25. Cálculo de Link budget - sector 2

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Perdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Perdidas (dB)										
2P-ANT 1	2	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	17.2	-1.58	46	-16.0	2	32.02
2P-ANT 2	2	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	22.0	-1.91	46	-16.3	2	31.7
2P-ANT 3	2	Sector	850 MHz	1	1	1	-14.4	39.4	-3.1	46	-17.5	2	30.5

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)										
		2											
2P-ANT 4	2	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	52.3	-3.99	46	-18.4	2	29.62
2P-ANT 5	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	62.3	-4.67	46	-17.8	5	33.23
2P-ANT 6	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	48.4	-3.72	46	-16.8	2	31.18
2P-ANT 7	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	63.9	-4.78	46	-17.9	2	30.12
2P-ANT 8	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	57.2	-4.32	46	-17.4	2	30.58
2P-ANT 9	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	54.6	-4.14	46	-17.2	2	30.76
2P-ANT 10	2	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	42.4	-3.31	46	-16.4	5	34.59
1P-ANT 1	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	25.4	-2.14	46	-16.5	2	31.46
1P-ANT 2	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	28.0	-2.32	46	-16.7	2	31.28
1P-ANT 3	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	40.8	-3.19	46	-17.6	2	30.41
1P-ANT 4	1	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	51.8	-3.95	46	-17.1	5	33.95
1P-ANT 5	1	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1	59.9	-4.5	46	-17.6	2	30.4

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
1P-ANT 6	1	Sector 2	850 MHz	1	2	-	-13.1						
1P-ANT 7	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	59.5	-4.48	46	-18.9	2	29.12
1P-ANT 8	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	65.5	-4.89	46	-19.3	5	31.71
1P-ANT 9	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	89.7	-6.55	46	-21.0	2	27.05
1P-ANT 10	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	52.8	-4.02	46	-18.4	2	29.58
1P-ANT 11	1	Sector 2	850 MHz	1	1	1	-14.4	65.7	-4.91	46	-19.3	2	28.69
PB-ANT 1	PB	Sector 2	850 MHz	1	2	1	-19.4	34.2	-2.85	46	-22.3	2	25.75
PB-ANT 2	PB	Sector 2	850 MHz	1	2	1	-19.4	48.8	-3.85	46	-23.2	2	24.76
PB-ANT 3	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	55.7	-4.32	46	-22.4	5	28.58
PB-ANT 4	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	61.8	-4.73	46	-22.8	2	25.17
PB-ANT 5	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	75.9	-5.7	46	-23.8	2	24.2
PB-ANT 6	PB	Sector 2	850 MHz	1	2	1	-19.4	36.2	-2.98	46	-22.4	2	25.62
PB-ANT 7	PB	Sector	850 MHz	1	2	1	-19.4	60.8	-4.67	46	-24.1	5	26.94

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB							
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)				
		2											
PB-ANT 8	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	78.9	-5.92	46	-24.0	5	26.99
PB-ANT 9	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	60.9	-4.68	46	-22.8	2	25.23
PB-ANT 10	PB	Sector 2	850 MHz	1	3	-	-18.1	40.9	-3.31	46	-21.4	2	26.6

Sector 3

Tabla 26. Cálculo de Link budget - sector 3

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB							
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)				
SUB1-ANT 1	Sub1	Sector 3	850 MHz	2	1	1	-17.5	71.4	-5.4	46	-22.9	2	25.1

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)
SUB1-ANT 2	Sub1	Sector 3	850 MHz	2	1	1	-17.5						
SUB1-ANT 3	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	28.9	-2.49	46	-23.2	2	24.82
SUB1-ANT 4	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	22.9	-2.07	46	-22.8	2	25.23
SUB1-ANT 5	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	44.7	-3.57	46	-24.3	2	23.74
SUB1-ANT 6	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	53.0	-4.14	46	-24.8	2	23.16
SUB1-ANT 7	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	79.4	-5.94	46	-25.3	2	22.66
SUB1-ANT 8	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	82.4	-6.15	46	-25.6	5	25.45
SUB1-ANT 9	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	65.9	-5.02	46	-24.4	2	23.58
SUB1-ANT 10	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	73.1	-5.51	46	-24.9	2	23.09
SUB1-ANT 11	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	62.0	-4.75	46	-24.2	2	23.85
SUB1-ANT 12	Sub1	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	70.2	-5.31	46	-24.7	5	26.29
SUB2-ANT 1	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	54.3	-4.22	46	-23.6	5	27.38
SUB2-ANT 2	Sub2	Sector	850 MHz	1	2	1	-19.4	64.0	-4.88	46	-24.3	5	26.71

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)	(dBm)	(dB)	(dBi)	(dBm)
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)										
		3											
SUB2-ANT 3	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	33.0	-2.76	46	-22.2	2	25.84
SUB2-ANT 4	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	80.4	-6.01	46	-25.4	5	25.59
SUB2-ANT 5	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	49.5	-3.89	46	-23.3	2	24.71
SUB2-ANT 6	Sub2	Sector 3	850 MHz	3	2	-	-19.3	55.5	-4.41	46	-23.7	2	24.29
SUB2-ANT 7	Sub2	Sector 3	850 MHz	2	3	-	-21.2	53.7	-4.28	46	-25.5	2	22.52
SUB2-ANT 8	Sub2	Sector 3	850 MHz	2	3	-	-21.2	22.0	-2.11	46	-23.3	5	27.69
SUB2-ANT 9	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	23.5	-2.11	46	-21.5	2	26.49
SUB2-ANT 10	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	75.3	-5.66	46	-25.1	2	22.94
SUB2-ANT 11	Sub2	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	48.6	-3.83	46	-23.2	5	27.77
SUB2-ANT 12	Sub2	Sector 3	850 MHz	3	2	-	-19.3	39.9	-3.33	46	-22.6	5	28.37
SUB3-ANT 1	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	42.6	-3.42	46	-22.8	2	25.18
SUB3-ANT 2	Sub3	Sector	850 MHz	1	1	2	-20.7	84.8	-6.31	46	-27.0	2	20.99

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)
		3											
SUB3-ANT 3	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	72.4	-5.46	46	-26.2	5	24.84
SUB3-ANT 4	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	46.8	-3.71	46	-23.1	2	24.89
SUB3-ANT 5	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	96.1	-7.08	46	-27.8	5	23.21
SUB3-ANT 6	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	57.8	-4.46	46	-23.9	2	24.14
SUB3-ANT 7	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	51.0	-3.99	46	-23.4	5	27.61
SUB3-ANT 8	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	82.8	-6.17	46	-25.6	2	22.43
SUB3-ANT 9	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	60.5	-4.65	46	-24.1	5	26.95
SUB3-ANT 10	Sub3	Sector 3	850 MHz	2	1	1	-17.5	42.3	-3.4	46	-20.9	5	30.1
SUB3-ANT 11	Sub3	Sector 3	850 MHz	2	1	1	-17.5	57.9	-4.47	46	-22.0	2	26.03
SUB3-ANT 12	Sub3	Sector 3	850 MHz	1	1	2	-20.7	60.2	-4.62	46	-25.3	5	25.67
SUB4-ANT 1	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	51.6	-4.04	46	-23.4	2	24.56
SUB4-ANT 2	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	76.3	-5.73	46	-23.8	5	27.17

Nombre antena	Número de Piso	Sector	Frecuencia	Splitter				Cable		Potencia PIRE por antena			
				Pérdidas				Pérdidas		Potencia TX RRU	Pérdidas totales	Ganancia antena	Potencia total PIRE
				Tipo de Splitter (Entrada y Salidas)				Tipo de cable 1/2 " (Coaxial)					
				1 a 2	1 a 3	1 a 4							
				-3.10 dB	-5.00 dB	-6.30 dB		Cantidad	Cantidad	Cantidad	Subtotal Pérdidas (dB)	Distancia(m)	Subtotal Pérdidas (dB)
SUB4-ANT 3	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	60.4	-4.64	46	-22.7	5	28.26
SUB4-ANT 4	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	78.9	-5.9	46	-24.0	5	26.99
SUB4-ANT 5	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	62.6	-4.79	46	-24.2	5	26.81
SUB4-ANT 6	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	52.6	-4.11	46	-22.2	2	25.79
SUB4-ANT 7	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	54.7	-4.25	46	-22.4	5	28.65
SUB4-ANT 8	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	36.5	-3	46	-22.4	2	25.6
SUB4-ANT 9	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	3	-	-18.1	50.2	-3.94	46	-22.0	2	25.96
SUB4-ANT 10	Sub4	Sector 3	850 MHz	1	2	1	-19.4	57.6	-4.45	46	-23.9	2	24.15

Posterior al adecuado dimensionamiento de link budget y teniendo en consideración los parámetros relevantes como ganancia de la antena, perdidas por conectores/cable y potencia de Tx por RRU, se obtiene valores adecuados de potencia de la señal o PIRE por antena siendo los mismos superiores a 20dBm garantizando la comunicación bidireccional entre el Nodo B - dispositivo móvil y el ahorro de batería del equipo terminal del usuario.

5.3.7 Predicciones de cobertura Indoor

Conforme al diseño propuesto se ha realizado simulaciones de cobertura por medio del software Ibwave, permitiendo observar los valores de potencia a tener en el interior del campus.

Piso 5

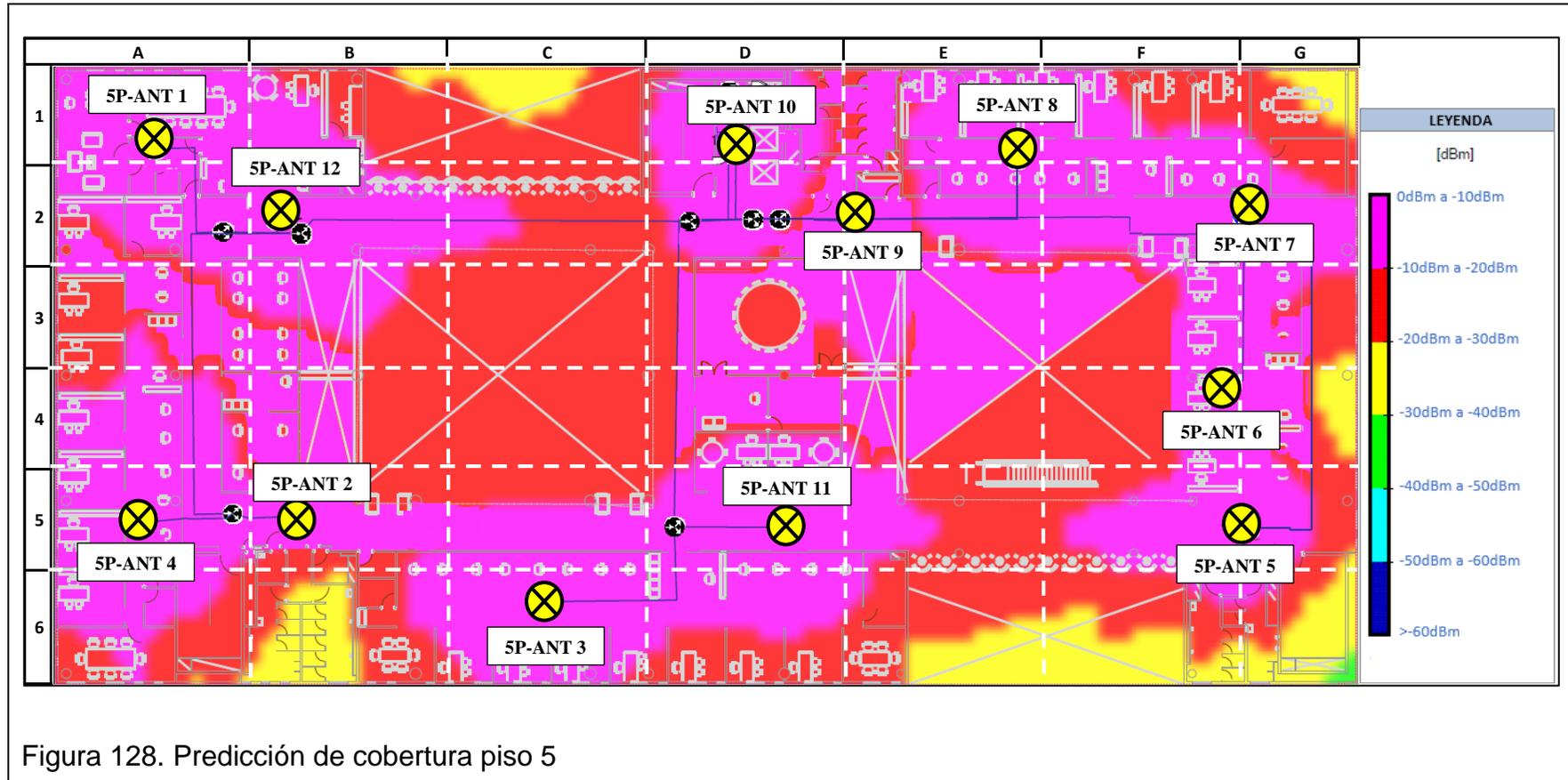


Figura 128. Predicción de cobertura piso 5

Piso 4

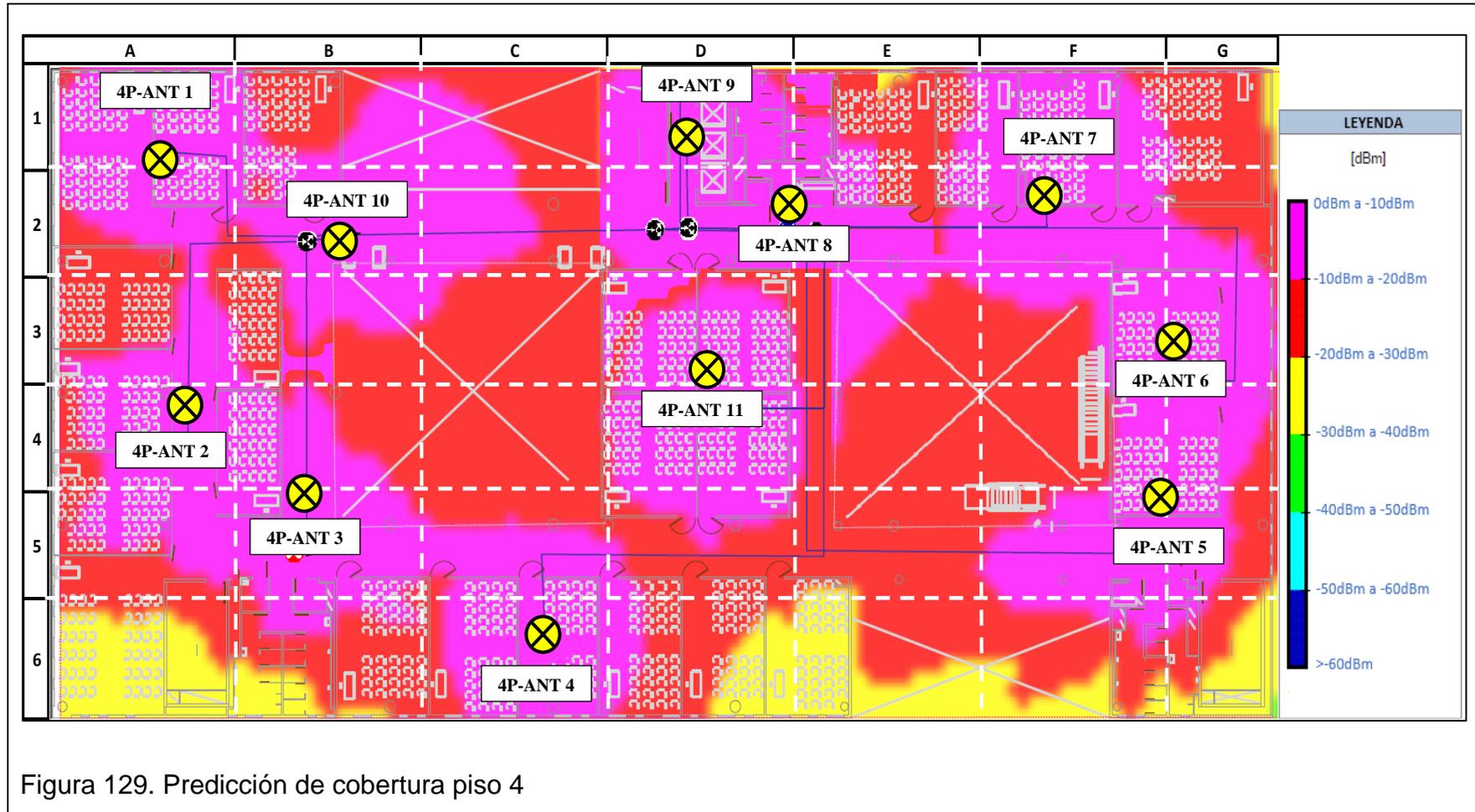


Figura 129. Predicción de cobertura piso 4

Piso 3

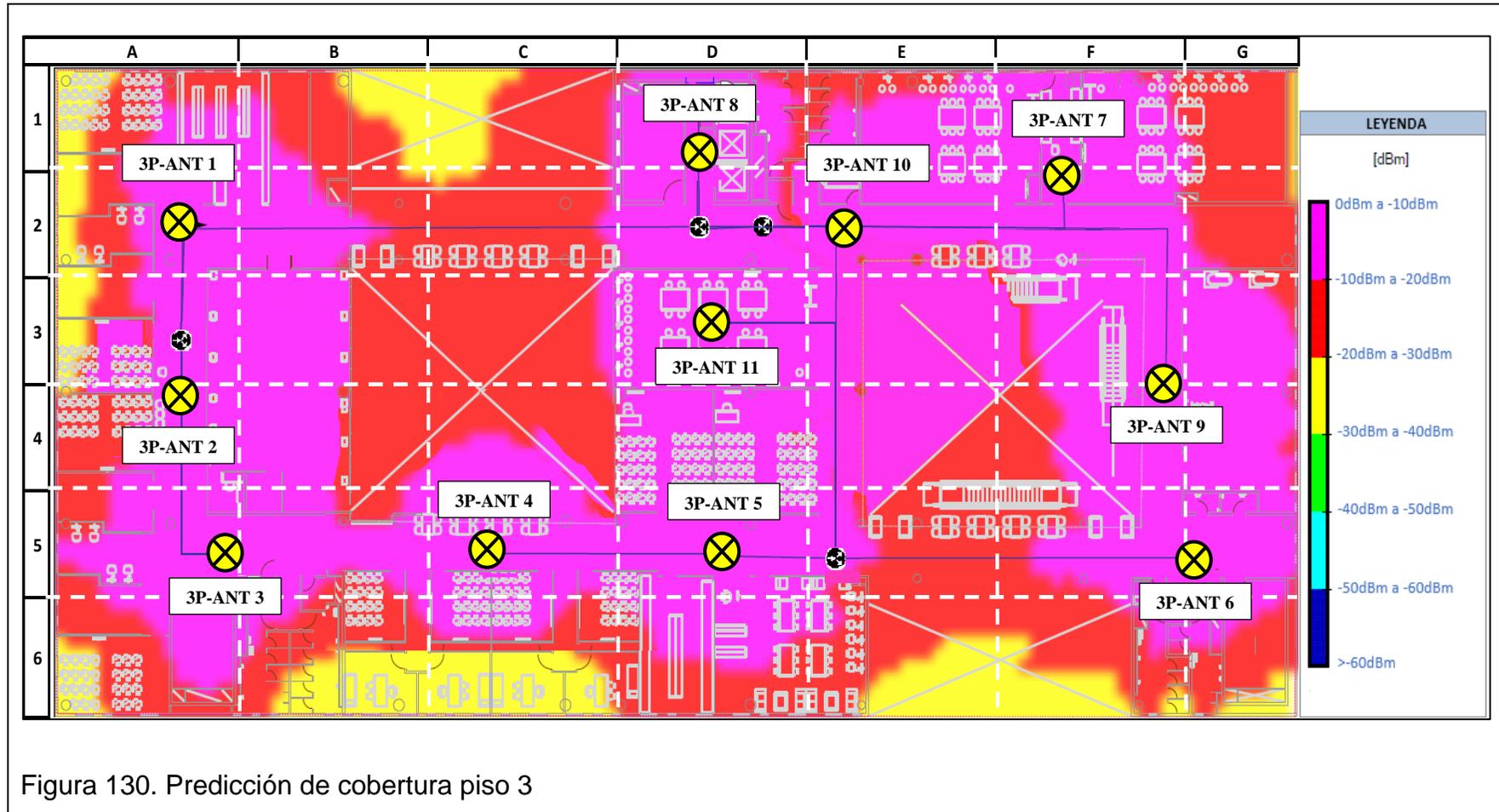


Figura 130. Predicción de cobertura piso 3

Piso 2

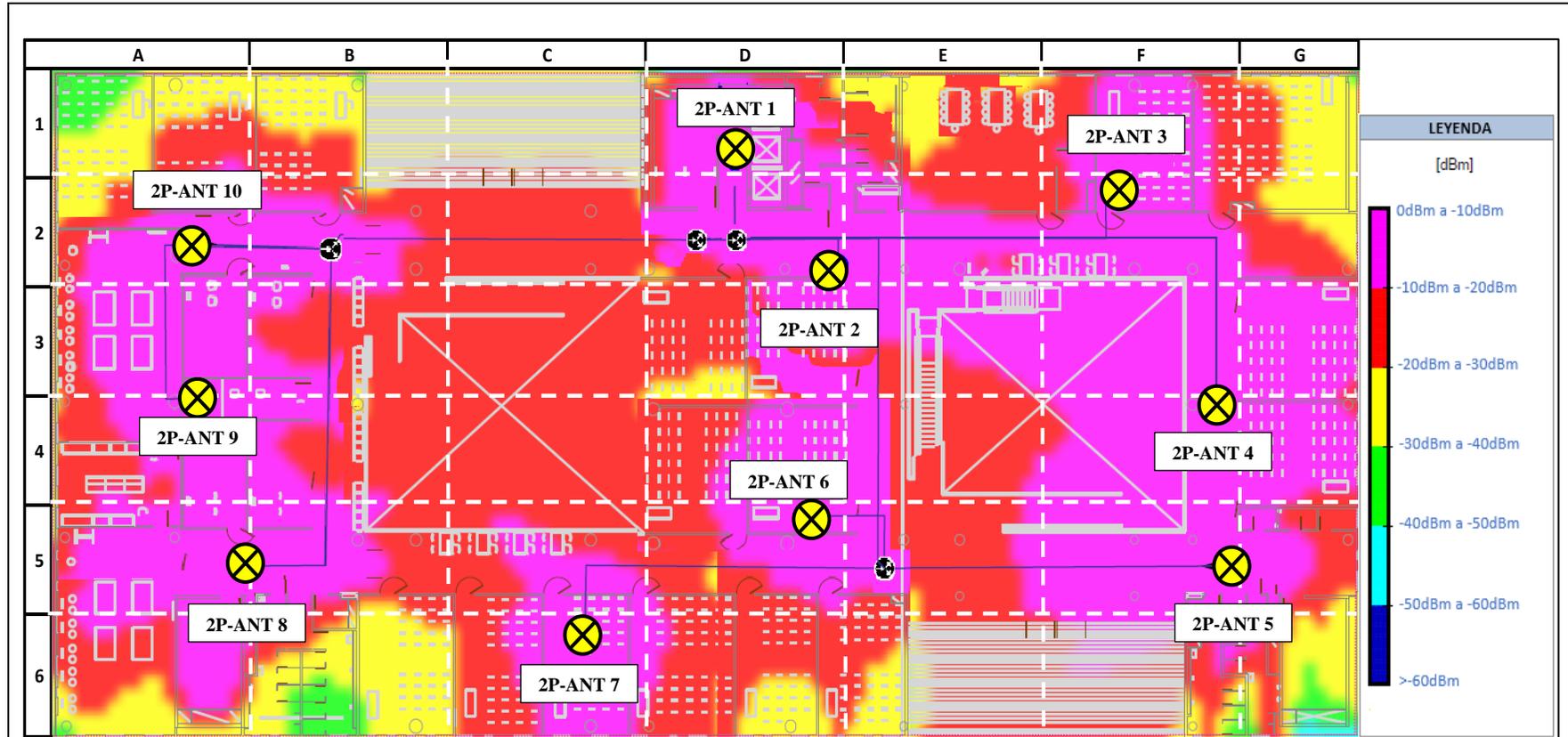


Figura 131. Predicción de cobertura piso 2

Piso 1

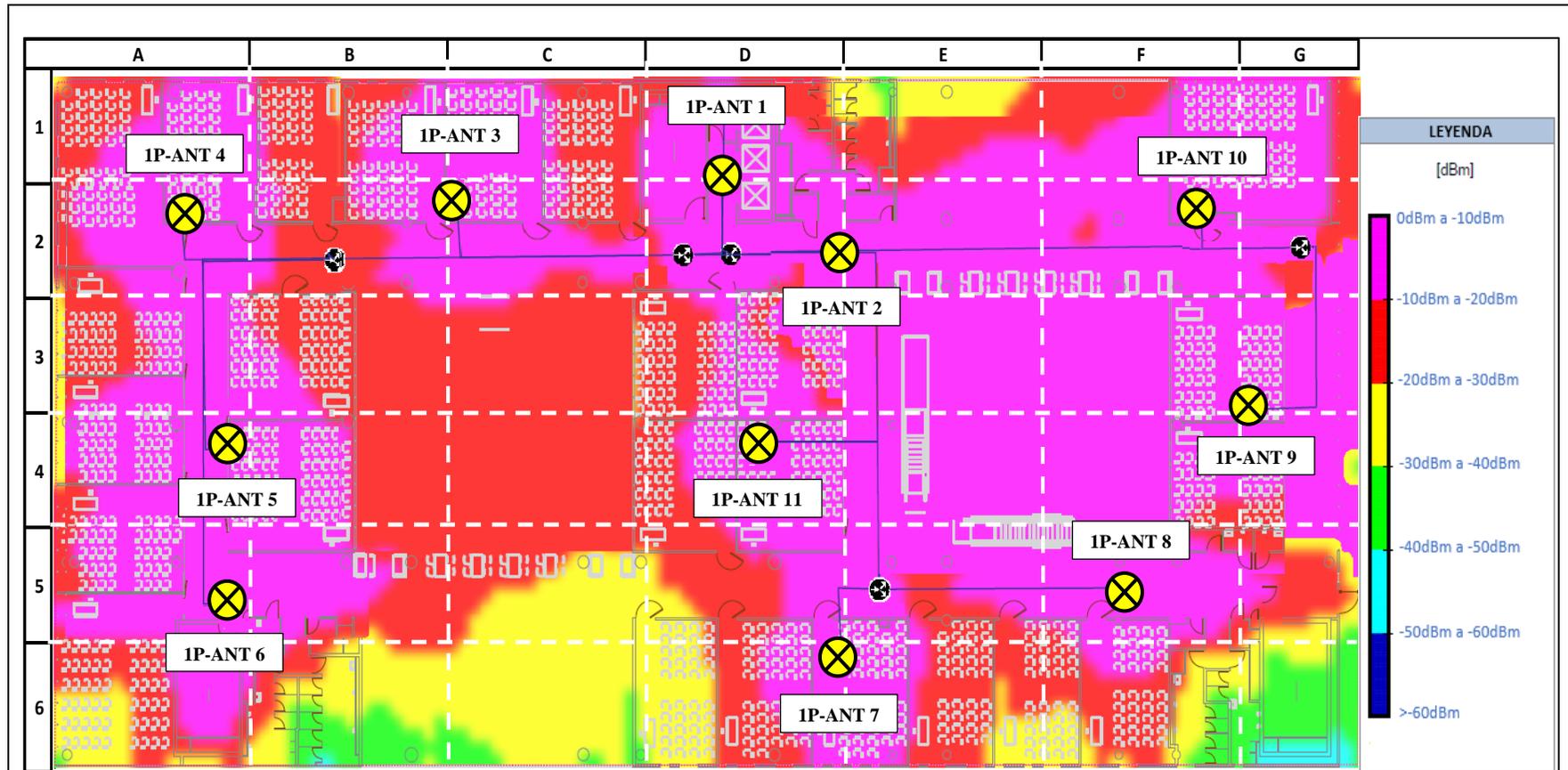


Figura 132. Predicción de cobertura piso 1

Planta Baja

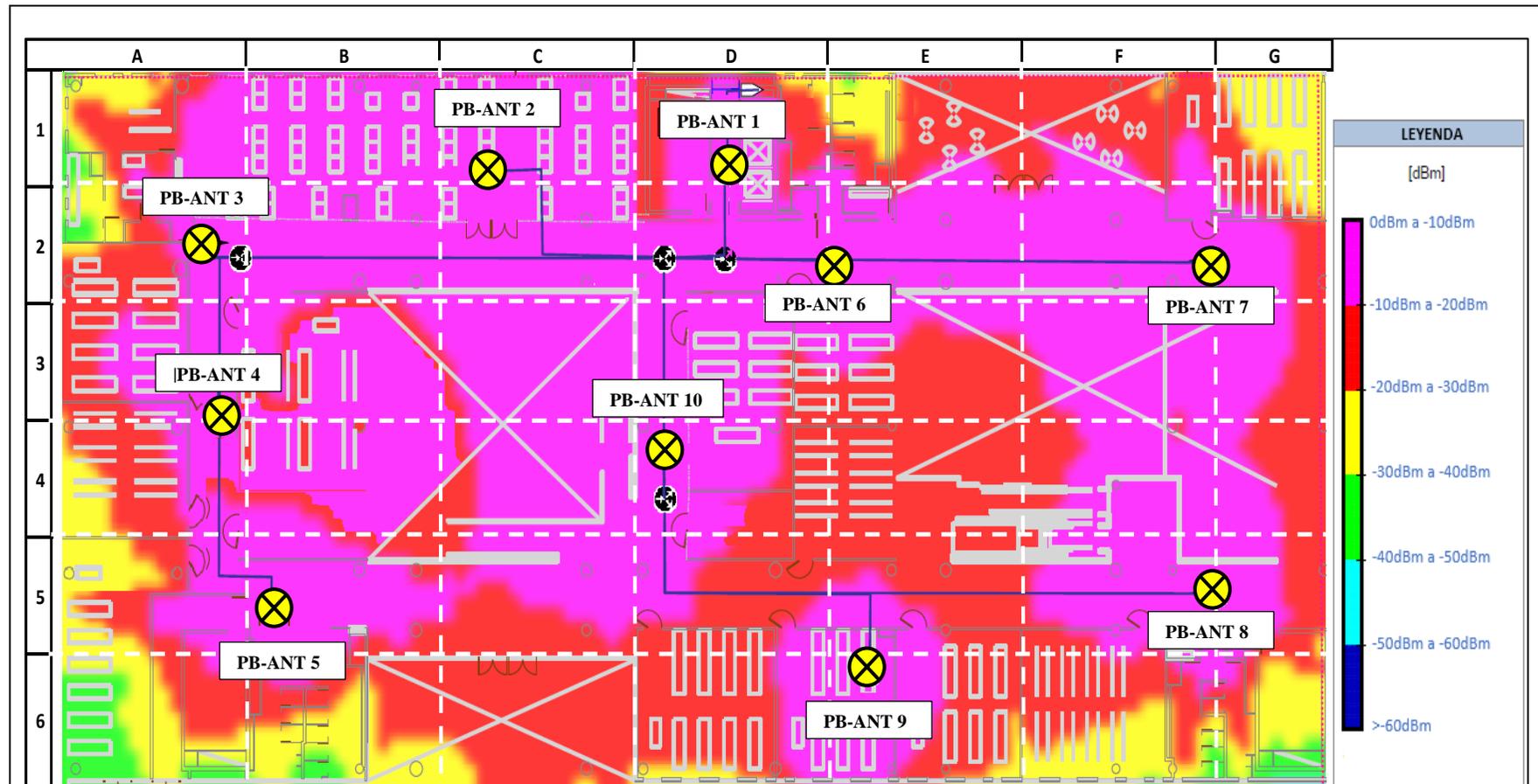


Figura 133. Predicción de cobertura planta baja

Subsuelo 1

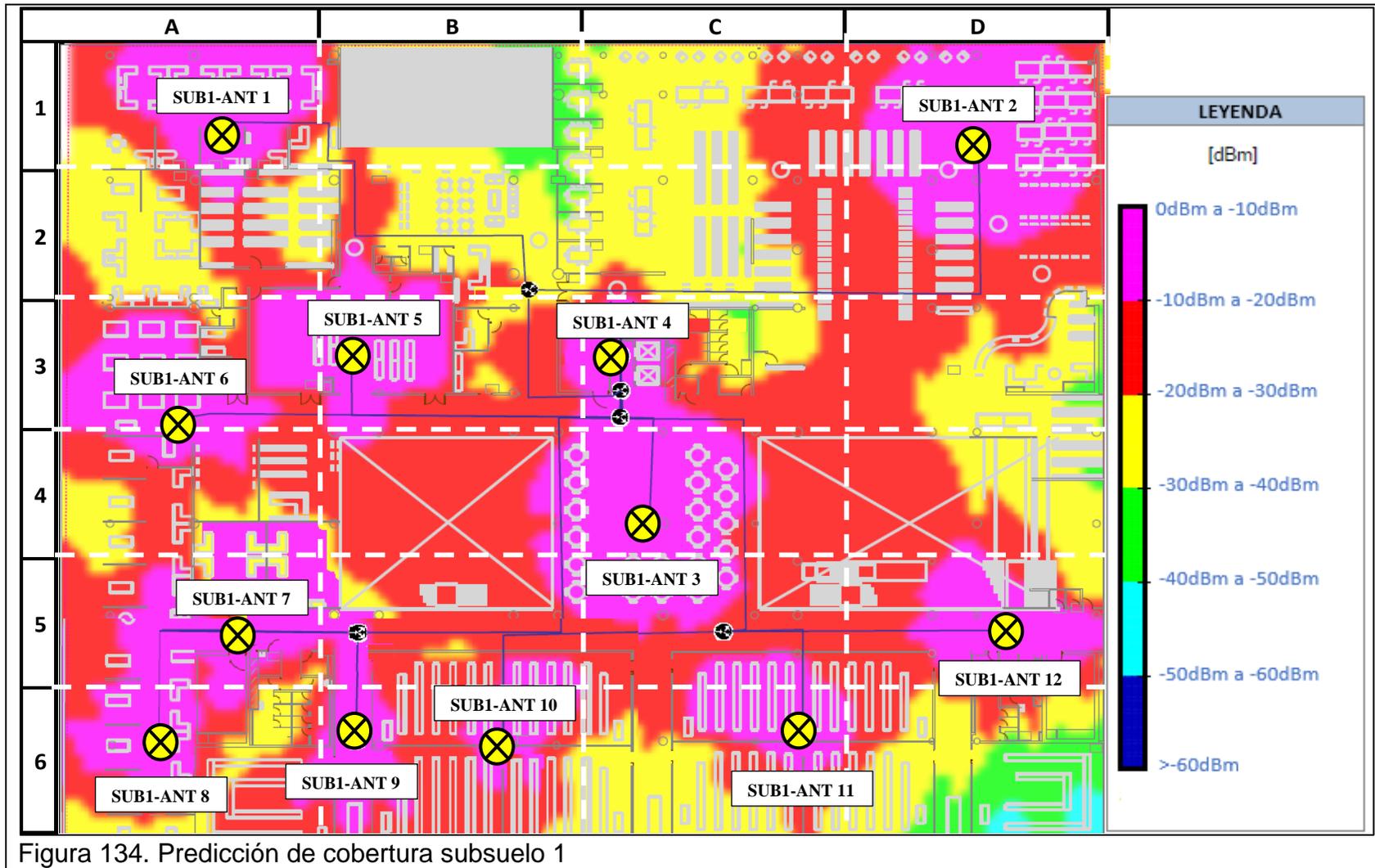
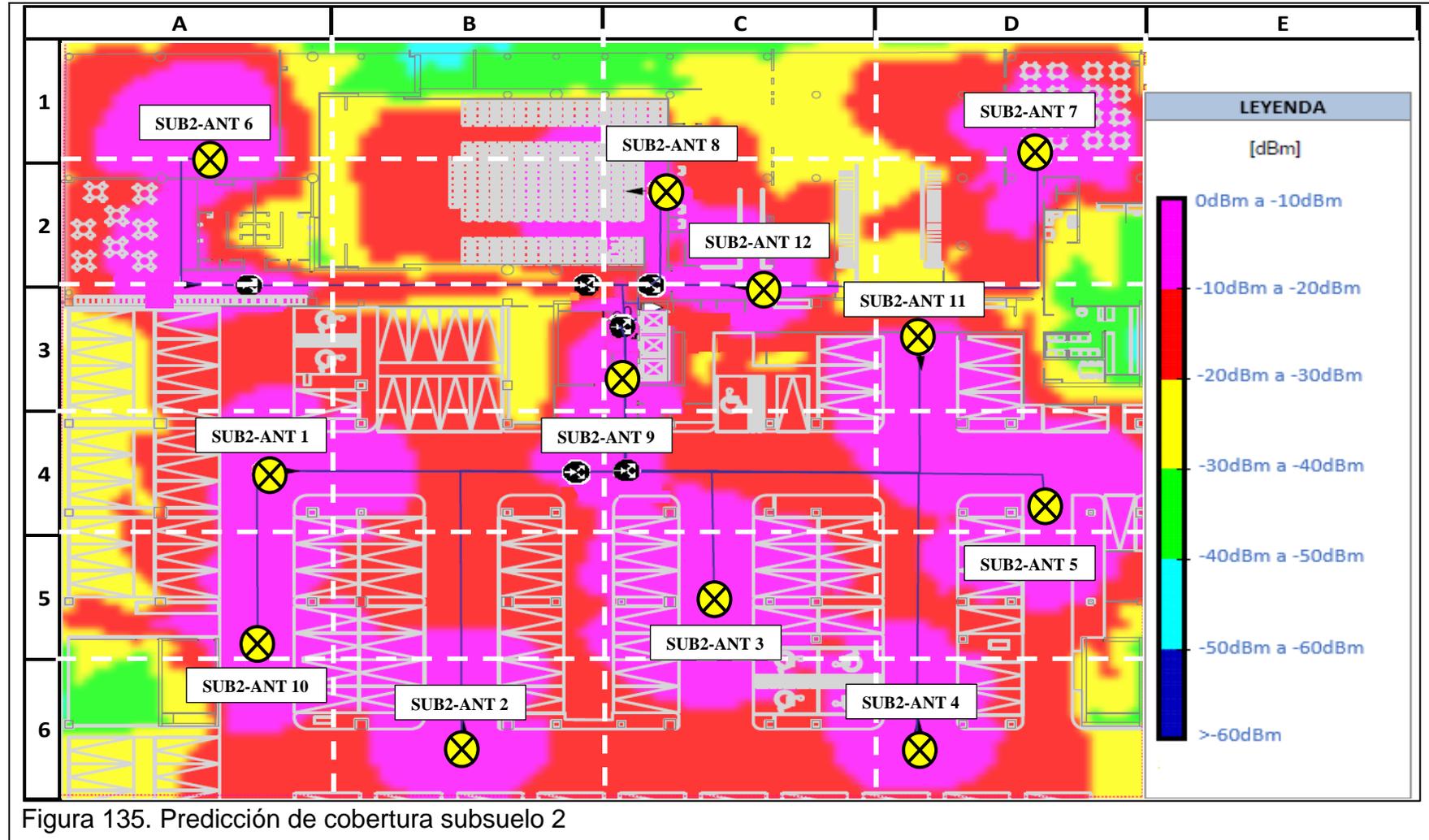
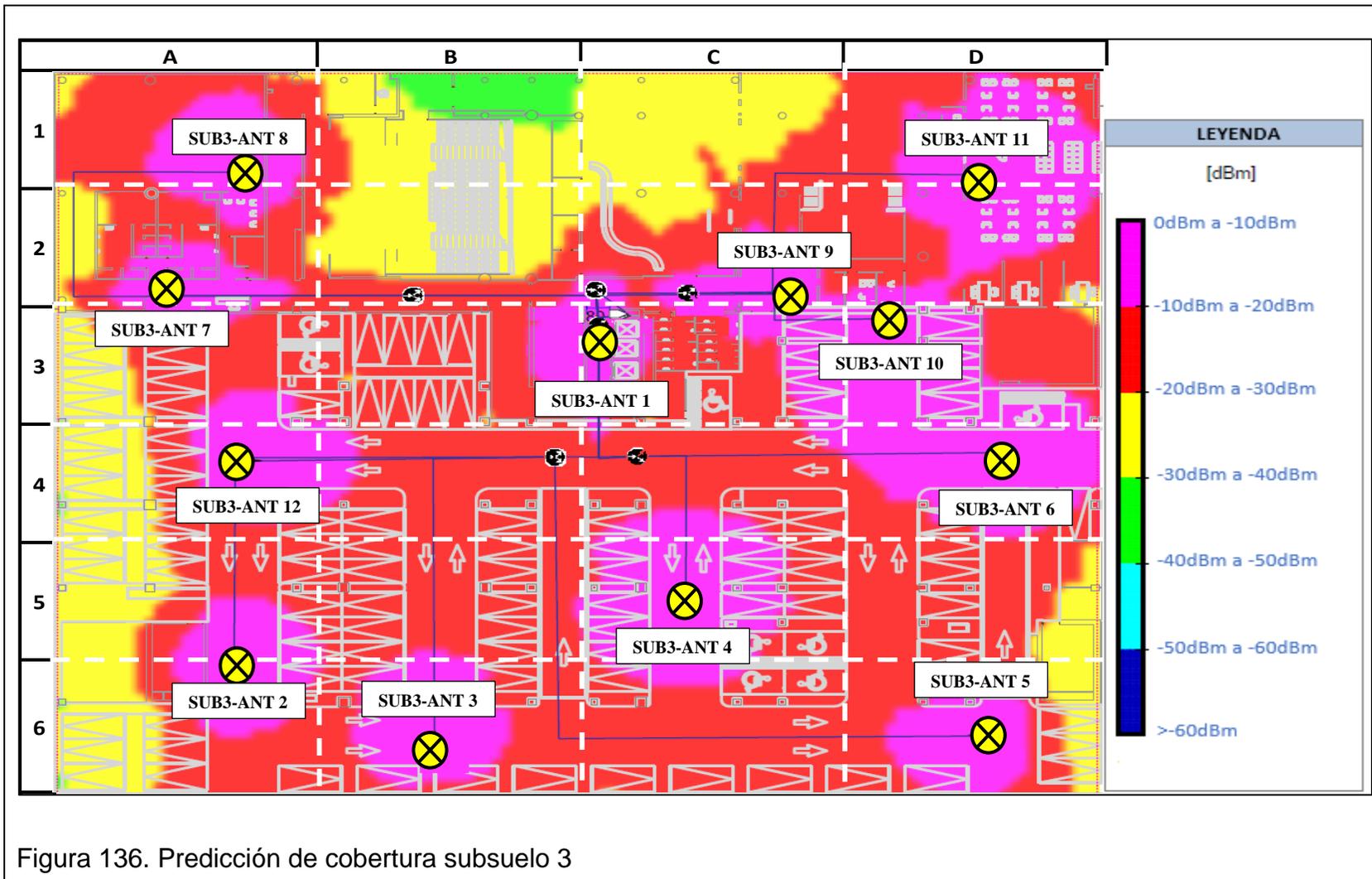


Figura 134. Predicción de cobertura subsuelo 1

Subsuelo 2



Subsuelo 3



Subsuelo 4

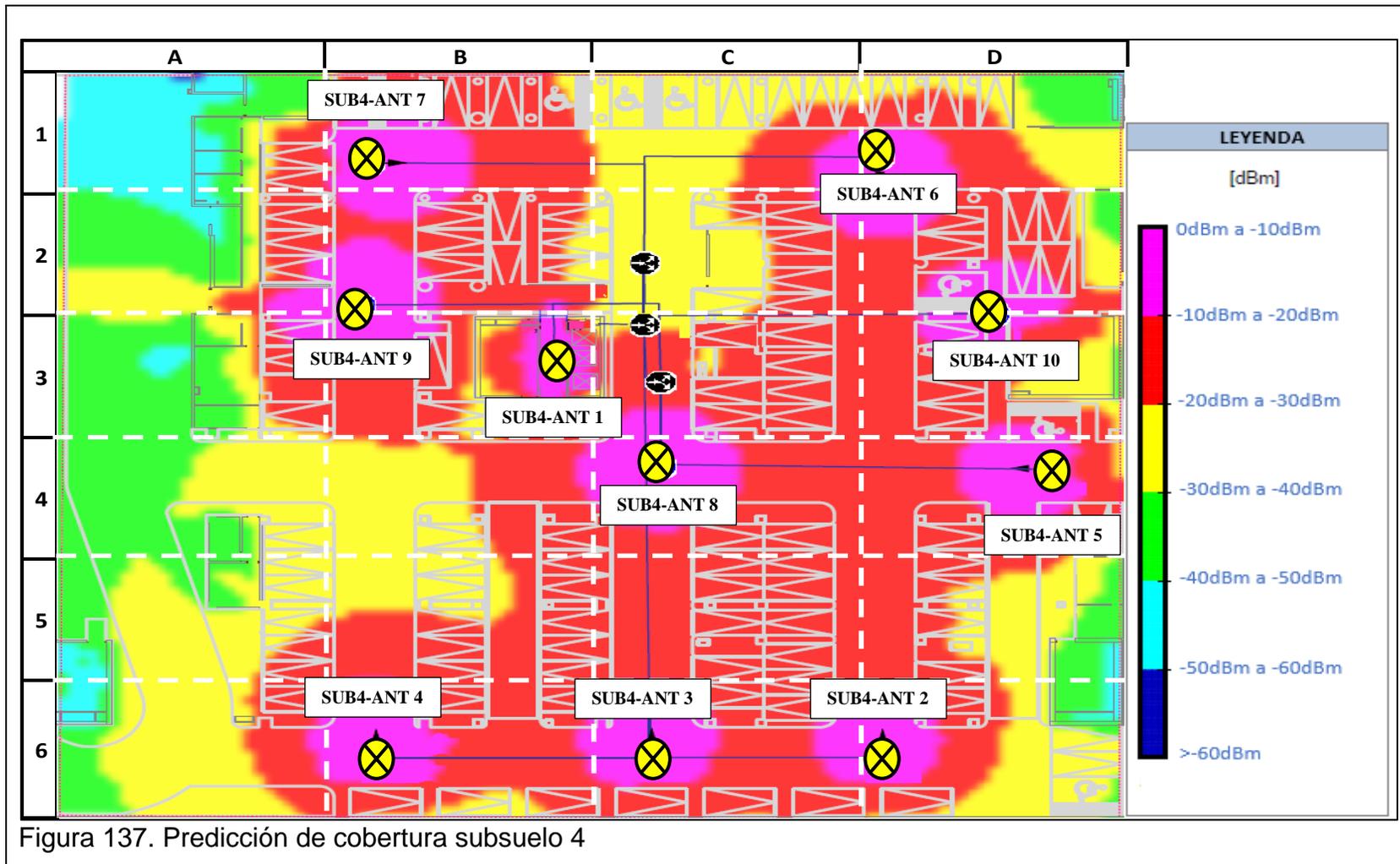


Figura 137. Predicción de cobertura subsuelo 4

Como se puede observar en las figuras de predicción de cobertura indoor con el modelo de antena seleccionado, el número total de antenas por piso y la ubicación estratégica de cada una de ellas, se obtiene niveles óptimos de potencia o cobertura en las áreas de interés, los mismos que se encuentran en el rango de 0dBm (color morado) a -20dBm (color rojo) permitiendo garantizar al operador móvil los servicios de voz y datos requeridos por el usuario.

5.4 Diseño outdoor

Para mejorar la cobertura y calidad en el exterior del campus Udlapark y en los alrededores se propone la ubicación de tres antenas sectorizadas en la terraza.

5.4.1 Ubicación de sectores

Sector A

El sector A se situara en la cara norte del campus teniendo como objetivos de cobertura a las siguientes zonas.

Sector	Objetivo Especifico
A	Vía Nayón, urbanizaciones Monteserrin, parqueaderos y áreas verdes Udlapark.

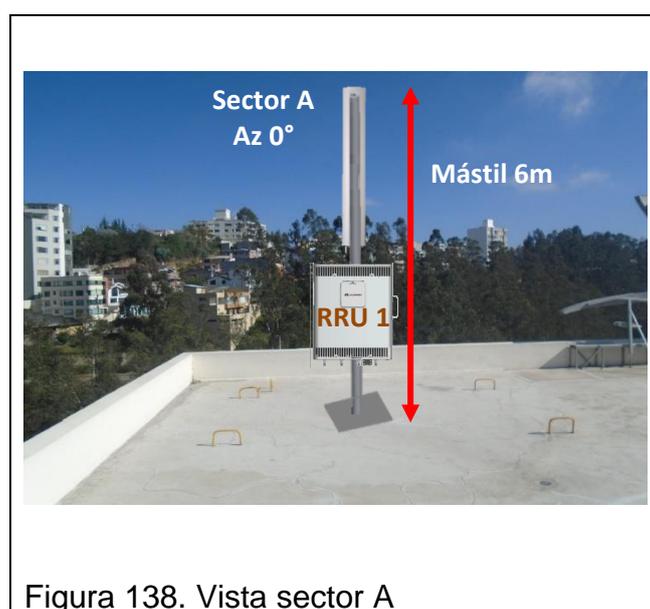


Figura 138. Vista sector A

Sector B

El sector B se situara en la cara sureste del campus teniendo como objetivos de cobertura a las siguientes zonas.

Sector	Objetivo Especifico
B	Av. Simón Bolívar, parqueadero Udla.

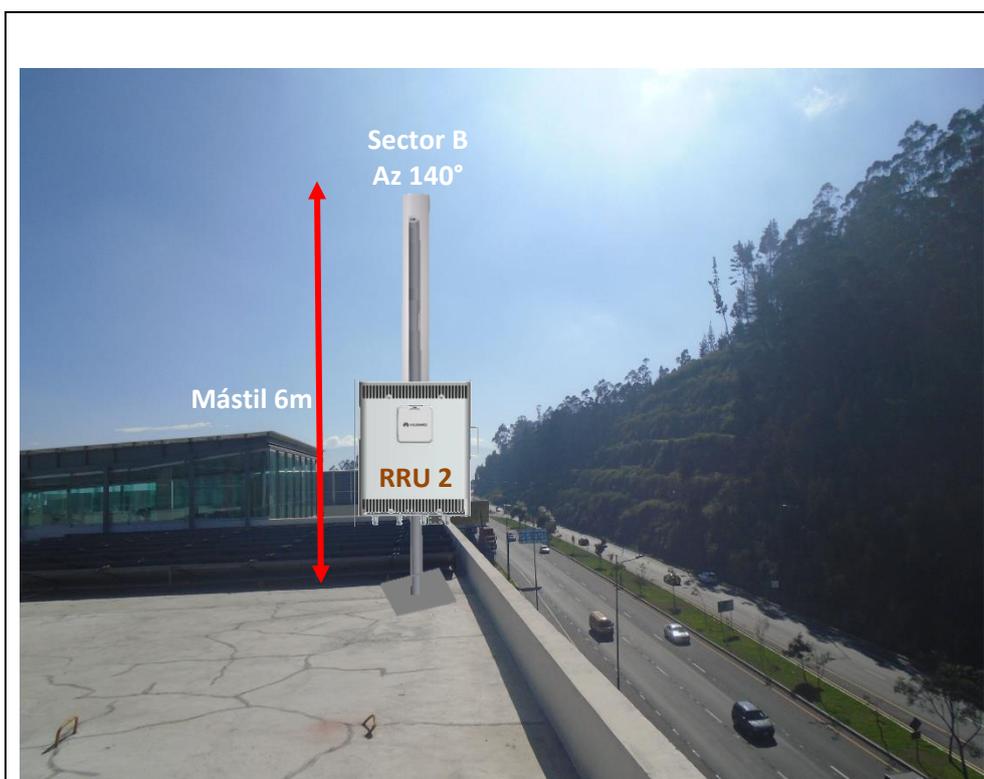
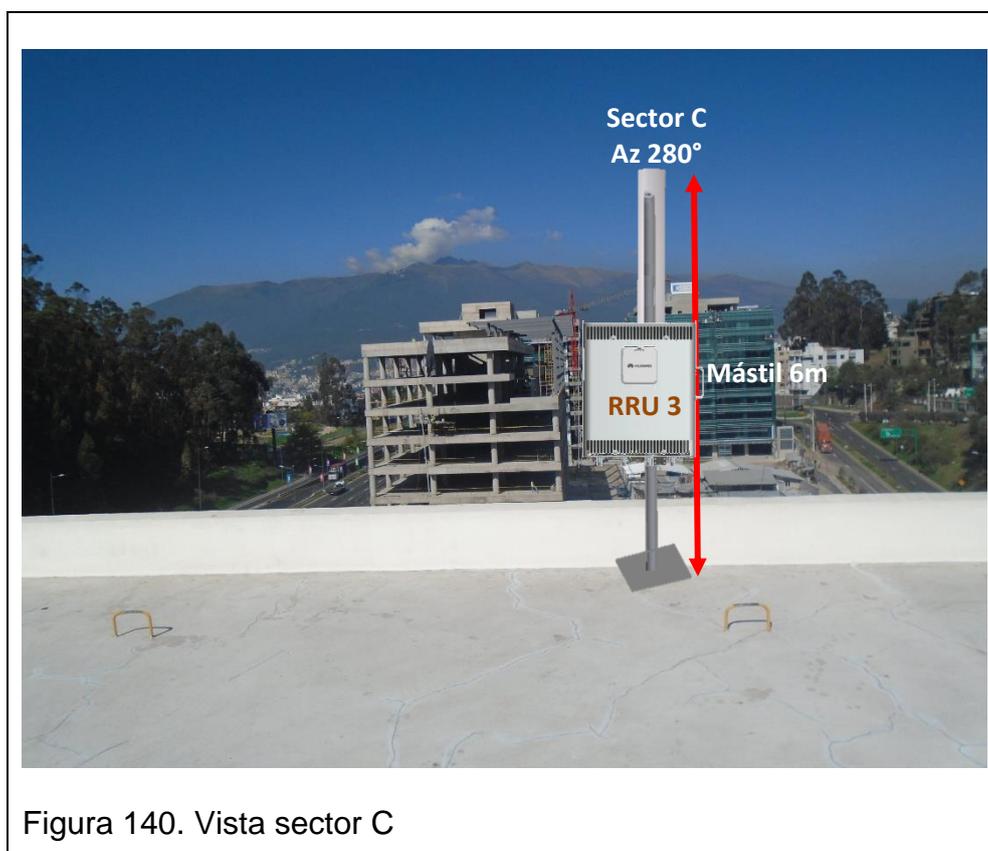


Figura 139. Vista sector B

Sector C

El sector C se situara en la cara oeste del campus teniendo como objetivos de cobertura a las siguientes zonas.

Sector	Objetivo Especifico
C	Av. Simón Bolívar, Vía Nayón, urbanizaciones Monteserrin y Centro corporativo Ekopark.



5.4.2 Vista satelital

Los objetivos de cobertura propuestos para cada sector se pueden visualizar en la siguiente imagen permitiendo identificar geográficamente la ubicación de los mismos.

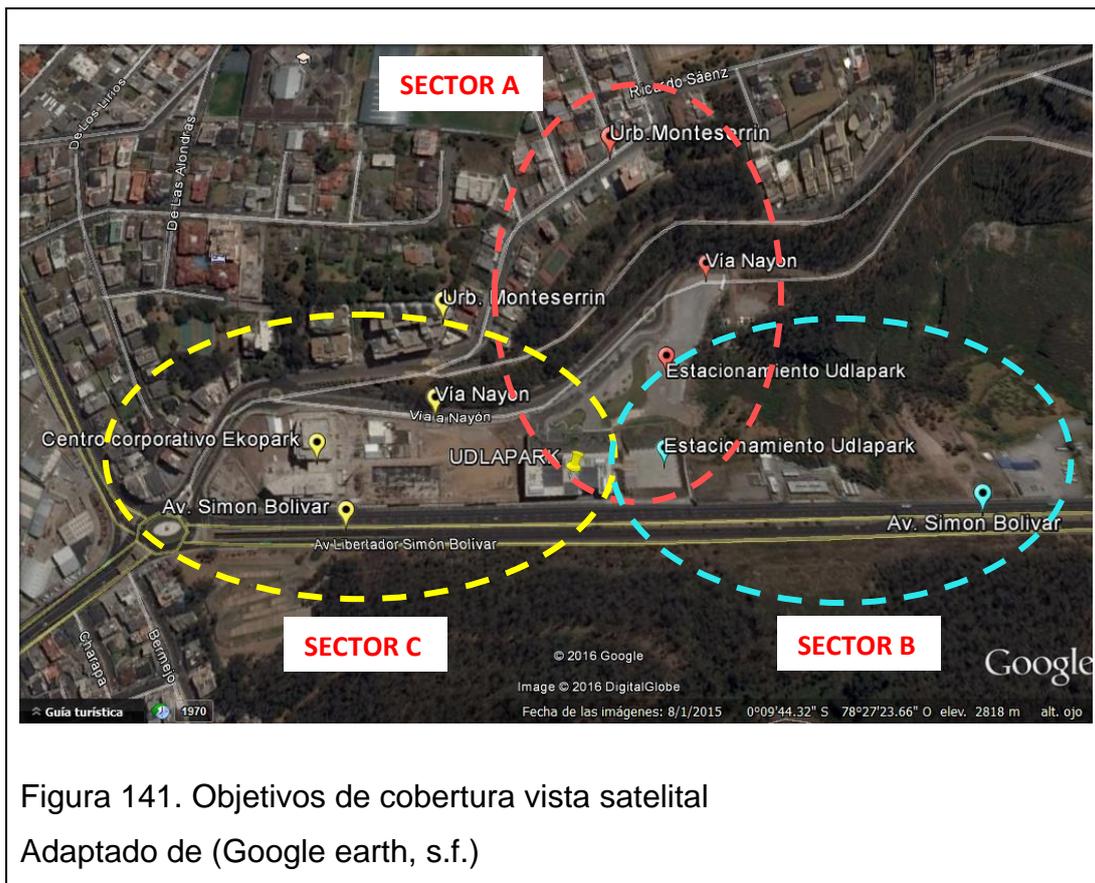


Figura 141. Objetivos de cobertura vista satelital

Adaptado de (Google earth, s.f.)

5.4.3 Configuración RF y predicciones de cobertura outdoor

Para garantizar la cobertura y calidad en el sector donde se encuentra ubicado el campus Udlapark se propone la siguiente configuración física y lógica para cada sector considerado en el diseño.

Tabla 27. Configuración por sector

CONFIGURACIÓN DE RF			
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Banda de Operación:	850 MHz	850 MHz	850 MHz
Tipo de Antena:	DBXLH-6565C-VTM	DBXLH-6565C-VTM	DBXLH-6565C-VTM
Apertura horizontal	65°	65°	65°
Azimuth:	0°	140°	280°
Inclinación Eléctrica:	8°	8°	8°
Inclinación Mecánica:	-2°	0°	2°
Altura aprox Edificación [metros]:	21.00 mts.	21.00 mts.	21.00 mts.
Altura de Estructura [metros]:	6.00 mts.	6.00 mts.	6.00 mts.
Altura - Centro de Radiación [metros]:	27.00 mts.	27.00 mts.	27.00 mts.
Potencia Tx RRU	43dBm	43dBm	43dBm

Para validar la configuración física y lógica propuesta se realizó simulaciones de cobertura por medio del software Atoll obteniendo los siguientes resultados.

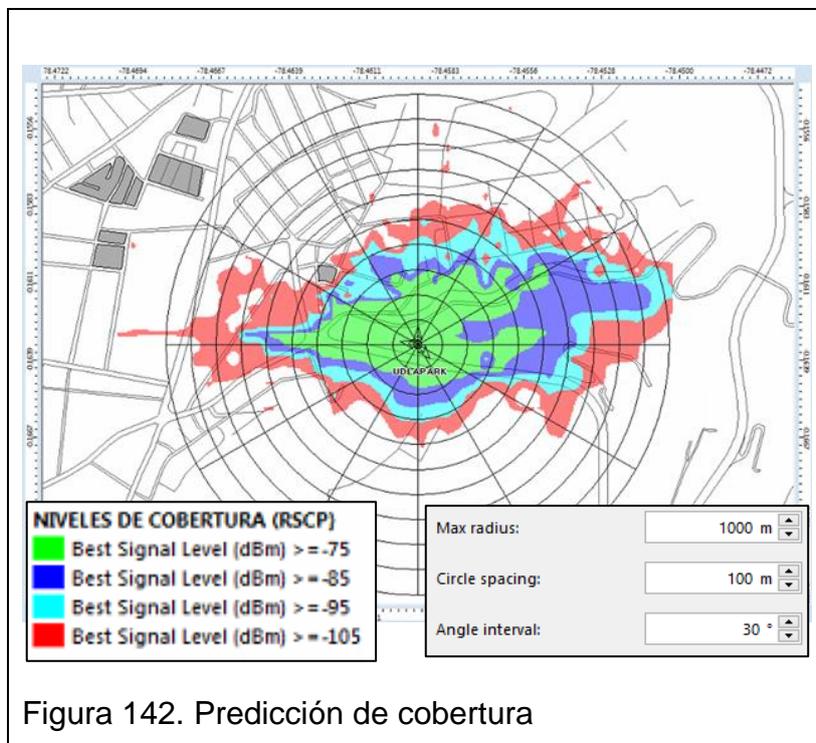


Figura 142. Predicción de cobertura

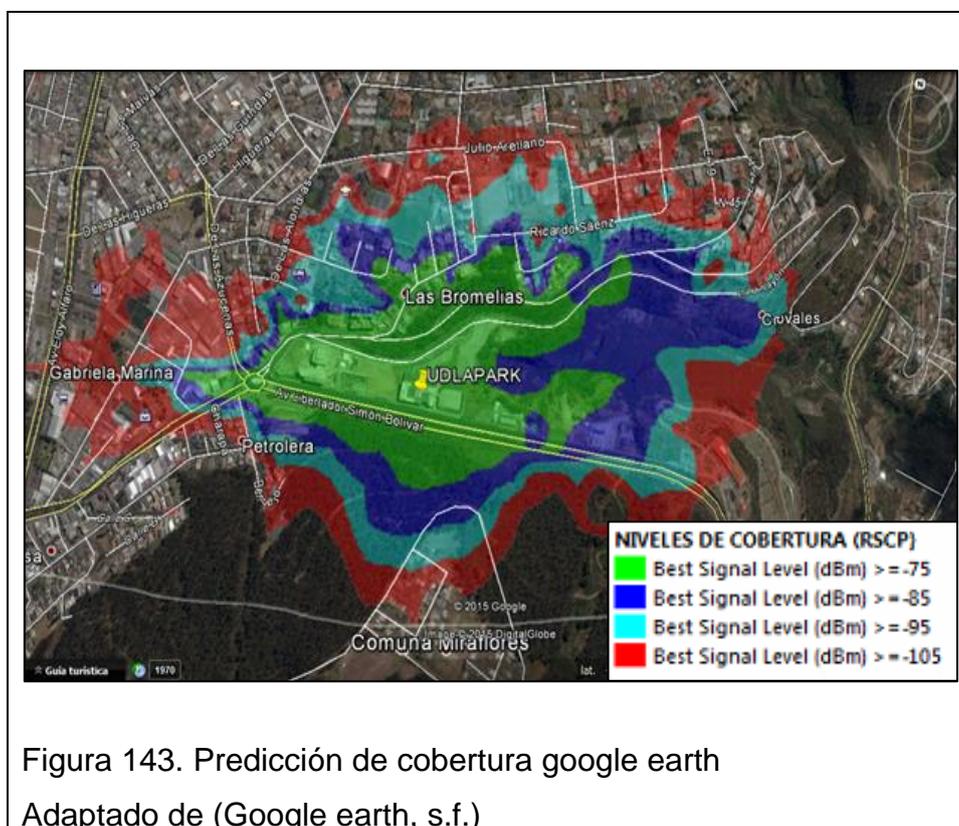


Figura 143. Predicción de cobertura google earth

Adaptado de (Google earth, s.f.)

Como se puede observar en las figuras los niveles de cobertura a nivel outdoor en el campus Udlapark y sus alrededores son óptimos para garantizar un servicio de voz y datos.

En la siguiente tabla se encuentra un resumen de los valores de cobertura obtenidos en cada objetivo específico.

Tabla 28. Objetivos específicos

Sector	Objetivo específico	Nivel de cobertura	Comentario
1	Vía Nayón, urbanizaciones Monteserrin, parqueaderos y áreas verdes Udlapark.	-75dBm a -95dBm	Niveles que fluctúan entre bueno y aceptable.
2	Av. Simón Bolívar, parqueadero Udla.	-75dBm a -85dBm	Niveles que fluctúan entre bueno y muy bueno.
3	Av. Simón Bolívar, Vía Nayón, urbanizaciones Monteserrin y Centro corporativo Ekopark.	0 dBm a -75dBm	Niveles buenos.

5.5 Dimensionamiento de tráfico

Uno de los parámetros más importantes al momento de diseñar una solución de telefonía móvil es definir cuantos canales de voz son necesarios para atender las necesidades y proporcionar un servicio adecuado a los abonados.

El tráfico de voz al ser en tiempo real es crítico por lo que requiere mayor atención a comparación del servicio de datos que puede reducir su velocidad de transferencia de datos siendo en varias ocasiones imperceptible para el usuario, no tiene mayor relevancia si un correo electrónico o SMS se retrasa unos 30s ya que llegara a su destinatario.

5.5.1 Unidad de medición de tráfico

Un Erlang es una unidad de medición de tráfico de telecomunicaciones también es conocido como el uso continuo de un canal de voz siendo en minutos de llamada igual a un Erlang 60 min/h o 1440 min/24h.

5.5.2 Canales tecnología Umts

Una portadora en la tecnología 3G soporta hasta 39 canales de voz, 563 usuarios con un consumo de 50mE por usuario y con un ancho de banda de 12.2kbps por sector, esto corresponde a un máximo de 28.129 Erlangs con el 1% de grado de servicio.

5.5.3 Grado de servicio

El grado de servicio o también conocido como tasa de bloqueo se define como el porcentaje de llamadas que son rechazadas por falta de canales o recursos necesarios para concluir el requerimiento solicitado.

Si en una zona específica existen 100 usuarios realizando llamadas de voz simultáneas y una de ellas es rechazada debido a falta de canales (capacidad) la tasa de bloqueo es de 1 en 100 o el 1% de grado de servicio (GOS).

Los operadores de telefonía móvil en el Ecuador diferencian el objetivo de GOS dependiendo el escenario de radio frecuencia teniendo como valores referenciales el 0.5% de GOS en Centros Financieros, el 1% en centros educativos y el 2% en centros comerciales.

5.5.4 Tabla Erlang B

La tabla de Erlang B nos permite calcular de forma visual el número requerido de canales a un índice de tráfico dado y a un grado determinado de servicio obteniendo la capacidad necesaria para evitar bloqueos de llamadas.

Tabla 29. Erlang B

Números de canales	Grado de servicio									
	0.1%	0.2%	0.5%	1%	1.2%	1.3%	1.5%	2%	3%	5%
1	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05
2	0.05	0.07	0.11	0.15	0.17	0.18	0.19	0.22	0.28	0.38
3	0.19	0.25	0.35	0.46	0.49	0.51	0.53	0.60	0.72	0.90
4	0.44	0.54	0.70	0.87	0.92	0.95	0.99	1.09	1.26	1.52
5	0.76	0.90	1.13	1.36	1.43	1.46	1.52	1.66	1.88	2.22
6	1.15	1.33	1.62	1.91	2.00	2.04	2.11	2.28	2.54	2.96
7	1.58	1.80	2.16	2.50	2.60	2.65	2.73	2.94	3.25	3.74
8	2.05	2.31	2.73	3.13	3.25	3.30	3.40	3.63	3.99	4.54
9	2.56	2.85	3.33	3.78	3.92	3.98	4.08	4.34	4.75	5.37
10	3.09	3.43	3.96	4.46	4.61	4.68	4.80	5.08	5.53	6.22
11	3.65	4.02	4.61	5.16	5.32	5.40	5.53	5.84	6.33	7.08
12	4.23	4.64	5.28	5.88	6.05	6.14	6.27	6.61	7.14	7.95
13	4.83	5.27	5.96	6.61	6.80	6.89	7.03	7.40	7.97	8.83
14	5.45	5.92	6.66	7.35	7.56	7.65	7.81	8.20	8.80	9.73
15	6.08	6.58	7.38	8.11	8.33	8.43	8.59	9.01	9.65	10.63
16	6.72	7.26	8.10	8.88	9.11	9.21	9.39	9.83	10.51	11.54
17	7.38	7.95	8.83	9.65	9.89	10.01	10.19	10.66	11.37	12.46
18	8.05	8.64	9.58	10.44	10.69	10.81	11.00	11.49	12.24	13.39
19	8.72	9.35	10.33	11.23	11.50	11.62	11.82	12.33	13.11	14.31
20	9.41	10.07	11.09	12.03	12.31	12.44	12.65	13.18	14.00	15.25
21	10.11	10.79	11.86	12.84	13.13	13.26	13.48	14.04	14.89	16.19
22	10.81	11.53	12.63	13.65	13.95	14.09	14.32	14.90	15.78	17.13
23	11.52	12.26	13.42	14.47	14.78	14.93	15.16	15.76	16.68	18.08
24	12.24	13.01	14.20	15.30	15.62	15.77	16.01	16.63	17.58	19.03
25	12.97	13.76	15.00	16.12	16.46	16.61	16.87	17.50	18.48	19.99
26	13.70	14.52	15.79	16.96	17.30	17.46	17.72	18.38	19.39	20.94
27	14.44	15.29	16.60	17.80	18.15	18.32	18.59	19.26	20.31	21.90
28	15.18	16.05	17.41	18.64	19.01	19.17	19.45	20.15	21.22	22.87
29	15.93	16.83	18.22	19.49	19.86	20.03	20.32	21.04	22.14	23.83
30	16.68	17.61	19.03	20.34	20.72	20.90	21.19	21.93	23.06	24.80
31	17.44	18.39	19.85	21.19	21.59	21.77	22.07	22.83	23.99	25.77
32	18.20	19.18	20.68	22.05	22.45	22.64	22.95	23.72	24.91	26.75
33	18.97	19.97	21.50	22.91	23.32	23.51	23.83	24.63	25.84	27.72
34	19.74	20.76	22.34	23.77	24.20	24.39	24.72	25.53	26.78	28.70
35	20.52	21.56	23.17	24.64	25.07	25.27	25.60	26.43	27.71	29.68
36	21.30	22.36	24.01	25.51	25.95	26.15	26.49	27.34	28.65	30.66
37	22.08	23.17	24.85	26.38	26.83	27.04	27.39	28.25	29.59	31.64
38	22.86	23.97	25.69	27.25	27.72	27.93	28.28	29.17	30.53	32.62
39	23.65	24.78	26.53	28.13	28.60	28.82	29.18	30.08	31.47	33.61
40	24.44	25.60	27.38	29.01	29.49	29.71	30.08	31.00	32.41	34.60

5.5.5 Cálculo de capacidad solución IBS campus Udipark

Con el propósito de garantizar la capacidad máxima por sector y con un grado de servicio del 1% se propone la siguiente asignación de canales.

Número de usuarios= 563

Número de llamadas= 560

Duración por llamada=3 minutos

Total minutos en 1 hora= duración de llamada x número de llamadas

Total minutos en 1 hora = 3 x 560

Total minutos en 1 hora= 1680 minutos.

El Erlang se define como el tráfico en minutos generado en una hora:

Erlang= Total minutos en 1 hora/60min

Erlang= 1680min/60min

Erlang= 28E

Conociendo que el número de usuarios totales son 563, procedemos a calcular la carga generada por cada usuario.

Carga de usuario= Erlang / número de usuarios.

Carga de usuario= 28 / 563

Carga de usuario= 0.049 E

Carga de usuario= 0.049 x 1000=49 mE por usuario.

Para calcular la capacidad total necesaria de acuerdo a la carga generada por cada usuario procedemos a realizar el siguiente cálculo.

Carga total= número de usuarios x carga de usuario (Erlang)

Carga total= 563 x 0.049E

Carga total= 27.58 Erlangs.

La carga total generada por hora es de 27.58 Erlangs.

Para garantizar la carga total generada por los 563 usuarios y con el 1% de grado de servicio es necesario 39 canales dedicados de voz.

Tabla 30. Grado de servicio

Números de canales	Grado de servicio									
	0.1%	0.2%	0.5%	1%	1.2%	1.3%	1.5%	2%	3%	5%
39	23.65	24.78	26.53	28.13	28.60	28.82	29.18	30.08	31.47	33.61

La tasa mínima de fiabilidad del sistema y con ello garantizar su funcionamiento

Tasa mínima= número de canales x ancho de banda (kbps).

Tasa mínima= 39 x 12.2 (kbps)

Tasa mínima= 475.8 kbps.

5.6 Análisis costo beneficio

El análisis costo beneficio nos permite medir la relación entre los costos e ingresos de un proyecto con la finalidad de evaluar su rentabilidad y conveniencia dentro del mercado.

Un proyecto se denomina rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que uno es decir $B/C > 1$.

B= Beneficio

C= Costo

Costo

Existen tres componentes esenciales al momento de realizar el análisis de los costos que involucra un proyecto siendo estos:

- Costo Técnico.
- Costo Profesional.
- Costo Mantenimiento.

Para este proyecto se ha considerado como costos técnicos a los equipos considerados en el diseño y la instalación, en el componente profesional se

considera al personal que realiza el diseño y por último el componente de mantenimiento reflejado en las visitas preventivas, correctivas y emergentes posterior a la implementación de la solución.

Tabla 31. Costo proyecto

Análisis Costo-Beneficio	
Detalle	Costo
Visita técnica y diseño	\$ 1.500
Predicciones de cobertura	\$ 1.200
Instalación NodoB	\$ 60.000
Instalación solución IBS (Antenas, cables, splitters)	\$ 30.000
Instalación tres sectores outdoor(Antenas, cables)	\$ 20.000
Mantenimiento (tres eventos por año)	\$ 5.000
Total	\$ 117.700

El costo total del diseño y la implementación de la solución es de \$117.700 considerando 3 mantenimientos anuales

Beneficio

El beneficio que tiene el proyecto posterior a la implementación de la solución va de acuerdo al tráfico (Erlangs) que cursara por la estación.

De acuerdo al cálculo de capacidad realizado cada sector de la solución IBS tendrá la capacidad de manejar 563 llamadas simultáneas con una duración de 3 minutos o 1689 minutos por hora.

Tabla 32. Beneficio proyecto

Análisis Costo-Beneficio			
Minutos	Tarifa de uso Nacional	Número de horas, días, meses	Beneficio por hora
1689	\$ 0.22	1 hora	\$ 371.58
			Beneficio Diario
		8 horas	\$ 2,972.64
			Beneficio semanal
		5 días	\$ 14,863.20
			Beneficio Mensual
		4 semanas	\$ 59,452.80
			Beneficio Anual
		12 meses	\$ 713,433.60

El costo generado por el diseño e implementación de la solución será recuperado en dos meses a partir del tercer mes la operadora percibirá ganancia.

El tiempo de recuperación de la inversión y todos los costos generados por el mismo pueden variar dependiendo del número de abonados que mantengan las operadoras en la zona de despliegue del proyecto y el tráfico cursado.

Los usuarios que se beneficiaran con el proyecto son aquellos que se encuentren en el interior y exterior de la sede Udlapark entre los más importantes tenemos:

- Estudiantes, personal docente y visitantes Udlapark.
- Centro corporativo Ekopark.
- Urbanizaciones Monteserrin.

6. Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

La ejecución del protocolo de pruebas y la información recolectada en campo son relevantes al momento de realizar un diseño ya que con los resultados obtenidos en el interior y exterior del campus Udlapark se ha logrado identificar las zonas con bajos niveles de cobertura y calidad así como también evidenciar la presencia de eventos anormales como: llamadas caídas, accesos fallidos, etc.

Para mitigar las falencias de cobertura y calidad celular 3G se ha desarrollado un diseño basándose en las pruebas de drive test, walk test y visitas técnicas realizadas garantizando niveles óptimos de cobertura y calidad en las zonas de interés como: Vía Nayón, urbanizaciones Monteserrin, campus Udlapark, centro corporativo Ekopark y av. Simón Bolívar.

Los equipos y elementos considerados en el diseño se encuentran homologados por el ente regulador Arcotel garantizando una buena operatividad de la solución así como también teniendo la capacidad de adaptarse a cualquier operador de telefonía móvil.

La solución IBS considerada en el proyecto permite ampliar la zona de cobertura, facilitando la propagación de la señal en áreas específicas y dotando de cobertura a áreas donde la cobertura de celdas vecinas es débil y reducida por las atenuaciones encontradas en el trayecto entre el transmisor y receptor.

El cálculo de link budget permite realizar un balance de potencias entre todas las antenas consideradas en el diseño con el propósito que la potencia final radiada sea homogénea en todas las áreas del campus y que la misma sea mayor a 20dBm.

Con el desarrollo del presente proyecto las operadoras de telefonía celular pueden utilizar el contenido para reducir el tiempo de análisis, diseño e implementación de futuras soluciones tecnológicas.

El despliegue de nuevas soluciones en zonas de medio y alto tráfico celular ofrece grandes oportunidades y beneficios a los usuarios y operadores de telefonía móvil permitiendo incrementar la calidad y capacidad de sus redes como también incrementar sus ingresos diarios a cambio de un servicio de punta requerido por los abonados y controlados por el ente regulador.

6.2 Recomendaciones

Durante la ejecución de pruebas de drive test y walk test se debe manipular con precaución los dispositivos utilizados, debido que los datos recolectados por los mismos determinarán las condiciones de RF que servirán para definir la posible ubicación del sistema radiante.

Al realizar el diseño de la distribución de antenas es importante considerar herramientas de simulación de cobertura que nos permitan visualizar la propagación de la señal en el lugar donde se pretende desplegar soluciones de RF, permitiendo así garantizar un óptimo servicio celular con excelentes niveles de cobertura y calidad.

Para el diseño de soluciones exteriores es importante que la altura de las antenas sea similar a las existentes en el sector para tener uniformidad en las áreas de cobertura evitando sobrepropagación e interferencia entre celdas.

Se recomienda utilizar equipos certificados por los fabricantes y homologados por el ente regulador para garantizar su funcionamiento y fácil adaptación a los equipos previamente desplegados por los operadores de telefonía móvil.

La migración e implementación de nuevas tecnologías como 4G requieren tener garantizado en su totalidad el rendimiento y operatividad del servicio

celular 3G, permitiendo así, optimizar las estadísticas de tráfico y mejorar las tasas de velocidades en la solicitud de servicios de voz y datos.

REFERENCIAS

- 3GPP. (s.f.). Universal Mobile Telecommunications System. Recuperado el 12 de septiembre de 2015 de <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/103-umts>
- Duarte, A. (2013). Diseño e implementación de una red RF indoor en el hospital de emergencias pediátricas para mejora de cobertura. Recuperado el 26 de septiembre de 2015 de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4496/DUARTE_ALDO_RED_RF_INDOOR.pdf?sequence=1
- Estructura de la red Umts. (s.f.). Recuperado el 30 de agosto de 2015 de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf
- García, E. (2015). Diseño e instalación de un nodo B adicional en una zona de alto tráfico de la ciudad de El Coca provincia de Orellana para aumentar capacidad y cobertura de la red UMTS. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11900>
- Gonzales, T. (s.f.). Redes Umts. Recuperado el 22 de agosto de 2015 de <https://ehumir.files.wordpress.com/2013/04/articulo-redes-umts.pdf>
- Hernando, J. (s.f.). Nuevos servicios y redes Umts. Recuperado el 25 de agosto de 2015 de <http://catedra-orange.upm.es/fileadmin/doc/umts.pdf>
- Huawei Technologies wcdma radio interface physical layer. (2012). Recuperado el 21 de septiembre de 2015 de <http://docslide.us/documents/owa310010-wcdma-radio-interface-physical-layer-issue-110-compatibility-mode.html>
- Huawei technologies wcdma radio network capacity. (s.f.). Recuperado el 5 de octubre de 2015 de <http://es.slideshare.net/gratienniyitegeka/owp112020-wcdma-radio-network-capacity-dimensioning-issue122>
- Huawei technologies wcdma radio network coverage planing. (s.f.). Recuperado el 5 de octubre de 2015 de <http://www.docfoc.com/owp112010-wcdma-radio-network-coverage-dimensioning-issue121-561d7da88d5a1>

- Huawei technologies wcdma RF Optimization. (s.f.). Recuperado el 8 de septiembre de 2015 de <http://wenku.baidu.com/view/e1d9492a192e45361166f502>
- Huawei Technologies. (2012). Wcdma Ran Fundamental. Recuperado el 21 de septiembre de 2015 de <http://es.slideshare.net/amadoumichelsidibe/owa200002-wcdma-ran-fundamental-issue-11>
- Iheanyi, M. (2013). Indoor radio measurement and planning for UMTS/HSDPA with antennas. Recuperado el 5 de octubre de 2015 de http://dc.uwm.edu/do/search/?q=author_lname%3A%22Eheduru%22%20author_fname%3A%22Marcellinus%22&start=0&context=2805450
- Laiho, J y Wacker, A. (2013). Radio Network Planning and Optimization for UMTS. Espoo, Finland: John Wiley & Sons, Ltd.
- Mishra, A. (2007). Advanced cellular network planning and optimization 2G/2.5G/3G and evolution to 4G. Helsinki, Finland: John Wiley & Sons, Ltd.
- Modelos de propagación para interiores. (s.f.). Recuperado el 7 de octubre de 2015 de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/capitulo4.pdf
- Nokia siemens networks IBS network planning training. (2014). Recuperado el 15 de octubre de 2015 de <https://www.dropbox.com/s/ng4x5dpuy23v3ti/IBS%20Design%20Training.rar?dl=0>
- Pautasio, L. (2015). Ley de comunicación entra en vigencia y Arcotel inicia sus funciones. Recuperado el 25 de agosto de 2015 de <http://www.telesemana.com/blog/2015/03/06/ecuador-ley-de-telecomunicaciones-entra-en-vigencia-y-arcotel-inicia-sus-funciones/>
- Pedrini, L. (2012). ¿Qué es E_c/I_0 y E_b/N_0 ?. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015 de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-ecio-y-ebno.aspx>
- Quintana, A. (2013). Estudio comparativo de los modelos de propagación de canal inalámbrico. Recuperado el 1 de octubre de 2015 de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-282013000100002&script=sci_arttext

Registros administrativos ARCOTEL. (2015). Servicio móvil avanzado. Recuperado el 5 de enero de 2016 de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>

Revista líderes. (s.f.). En 20 años, la telefonía móvil supero las expectativas. Recuperado el 22 de agosto de 2015 de <http://www.revistalideres.ec/lideres/20-anos-telefonía-movil-supero.html>

Sánchez, I. (2014). Universidad de las Américas Fundamentos de RF planning. Recuperado el 10 de octubre de 2015 de <https://www.dropbox.com/s/ccnqjhajttanuy8/Fundamentos%20de%20RF%20Planing.ppt?dl=0>

Software de planificación Umts. (s.f.). Introducción al sistema Umts. Recuperado el 25 de agosto de 2015 de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11783/fichero/Volumen+1%252FCap%EDtulo_2.pdf

Taibe, M. (2012). Análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito. Recuperado el 18 de diciembre de 2015 de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6204>

Tolstrup, M. (2013). Indoor Radio Planning a practical guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA. Dronninglund, Denmark: John Wiley & Sons, Ltd.

Tripathi, N y Reed, J. (2014). Cellular Communications. Piscataway, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

ANEXOS

ANEXO A. HUAWEI BBU 3900

BBU3900

The BBU3900 (BBU for short) is a baseband processing unit and centrally manages an entire base station.

Function

The BBU provides the following functions:

- Centrally manages an entire base station in terms of operation and maintenance (O&M) and signaling processing, and provides the system clock.
- Processes uplink and downlink baseband signals and provides common public radio interface (CPRI) ports for communication with radio frequency (RF) modules.
- Provides ports for communication with environment monitoring devices, and receives and forwards signals from the environment monitoring devices.
- Provides physical ports for communication between a base station and the transport network. ● Provides the O&M channel connecting a base station to the Operation and Maintenance Center (OMC).

2.2 BBU3900

2.2.1 Appearance of the BBU3900

The BBU3900 features a compact case structure that requires a 19-inch-wide and 2 U-high space. It can be installed on a wall, on a staircase, in a storeroom, or in an outdoor cabinet in the existing network. Figure 2-1 shows the BBU3900.

Figure 2-1 BBU3900



2.2.2 Hardware Units of the BBU3900

The BBU3900 is a baseband unit that performs the following functions:

- Transfers signals between the NodeB and the RNC
- Provides the system clock
- Manages the entire NodeB system in terms of OM and signaling processing
- Provides an OM channel for connection to the LMT or M2000

Mandatory Hardware Units

The mandatory hardware units of the BBU3900 are as follows:

- WCDMA Main Processing Transmission (WMPT) unit
- WCDMA BaseBand Processing (WBBP) unit
- FAN unit
- Power module (UPEU)

All the boards support the plug-and-play function and can be configured in the slots as required.

Optional Hardware Units

The optional hardware units of the BBU3900 are as follows:

- Universal Satellite card and Clock Unit (USCU)
- Universal Transmission Processing (UTRP) unit
- Universal Environment Interface Unit (UEIU)

The BBU3900 supports a maximum of 24 cells and supports diverse configurations from 1 x 1 to 6 x 4 or 3 x 8.



NOTE

N x M = sector x carrier. For example, 3 x 1 indicates that each of the three sectors has one carrier.

ANEXO B. HUAWEI RRU

RRU

The RRU is the outdoor remote radio unit. The RRU is the RF module of the distributed NodeB and is installed close to the antenna.

Remote radio units (RRUs) are used in a distributed base station to perform modulation, demodulation, data processing, and power amplification of baseband and radio frequency (RF) signals, and conduct voltage standing wave ratio (VSWR) detection.

2.3.1 Specifications of the RRU

Based on power and processing capabilities, there are different types of RRUs, namely the RRU3804, RRU3801E, RRU3801C, RRU3808, RRU3806 and RRU3908 V2. The RRU3808 and RRU3908 V2 have two TX channels and two RX channels.

Table 2-3 describes the specifications of RRUs.

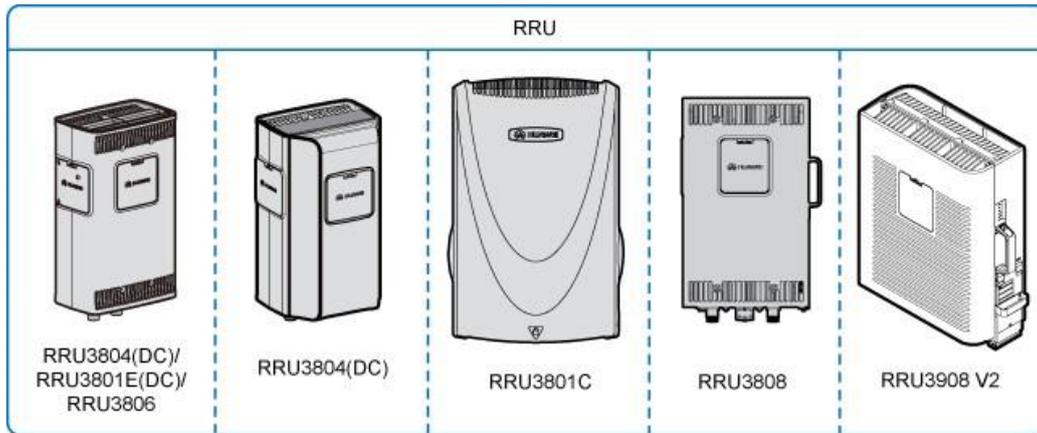
Table 2-3 Specifications of RRUs

Type	Maximum Power	Output	Number of Supported Carriers
RRU3804	60 W		4
RRU3801E	40 W		2
RRU3801C	40 W		2
RRU3808	2 ×40 W		4
RRU3806	80 W		4
RRU3908	2×40W		4

2.3.2 Appearance of the RRU

The BBU3900, together with the RRUs of different types, can form the DBS3900 system. Figure 2-2 shows the RRU.

Figure 2-2 RRU



Cabinets That Can Work with RRUs

Restrictions on using RRUs together with cabinets are as follows:

- The RRU3229, RRU3841, RRU3929, RRU3829, and RRU3942 must be used with Ver.C and Ver.D cabinets.
- For other types of RRUs, there are no restrictions on which types of cabinets can be used with.

Hybrid Configuration Rule

You can use two RRUs to expand system capacity or to achieve mode evolution.

Table 4-5 provides the hybrid configuration rule for RRUs.

 **NOTE**

In the following table, **nTmR** indicates that the related RF module has n transmit channels and m receive channels.

Table 4-5 Hybrid configuration rule for RRUs

Different frequency bands	All types of RRUs support hybrid configuration.	
Same frequency band	Different sectors	All types of RRUs support hybrid configuration.
	Same sector	<p>For RRUs supporting the GSM mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● All types of RRUs except the RRU3004 support hybrid configuration. ● In the same subsite, only RRU3008 V1 and RRU3008 V2 modules can be used together, and only RRU3908 V1 and RRU3908 V2 modules can be used together. <p>Figure 4-4 shows RRU hybrid configuration for a GL dual-mode base station that is upgraded from a GSM only (GO) single-mode base station.</p>

	<p>For RRUs supporting the UMTS mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Two 1T2R RRUs can be used together. ● Single-mode RF modules cannot be used together with multi-mode RF modules. ● When multiple multi-mode RF modules are used together, UMTS carriers must be configured on one module. <p>Figure 4-5 shows RRU hybrid configuration for a base station whose capacity is to be expanded.</p>
	<p>For RRUs supporting the LTE mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● For RRUs working in LTE mode: Two 1T2R RRUs of the same type and can work together to support the 2T configuration. Two 2T2R RRUs of the same type can work together to support the 4T configuration. ● For RRUs working in multi-mode: Two 1T2R RRUs can work together to support the 2T configuration. ● When different types of RRUs are used together, you must upgrade the software of the base station to the required version.

ANEXO C. HUAWEI BTS 3900

4.2 BTS3900

As an indoor macro base station, the BTS3900 is characterized by a large capacity and small size and can be easily expanded.

Cabinet Structure

A BTS3900 uses either of the following cabinets:

- BTS3900 (Ver.B): supports -48 V DC, +24 V DC, 220 V AC, or 110 V AC power input.
- BTS3900 (Ver.C): supports -48 V DC, 220 V AC, or 110 V AC power input.
- BTS3900 (Ver.D): supports -48 V DC or 220 V AC power input.

Different power supply modules are installed in the cabinet when different power input is used. [Figure 4-6](#), [Figure 4-7](#), and [Figure 4-8](#) show the internal structure of a BTS3900 (Ver.B) cabinet, a BTS3900 (Ver.C) cabinet, and a BTS3900 (Ver.D) cabinet when -48 V DC power input is used, respectively.

Figure 4-6 Internal structure of a BTS3900 (Ver.B) cabinet

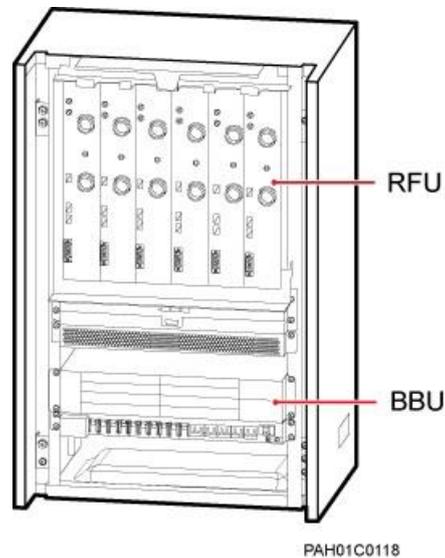


Figure 4-7 Internal structure of a BTS3900 (Ver.C) cabinet

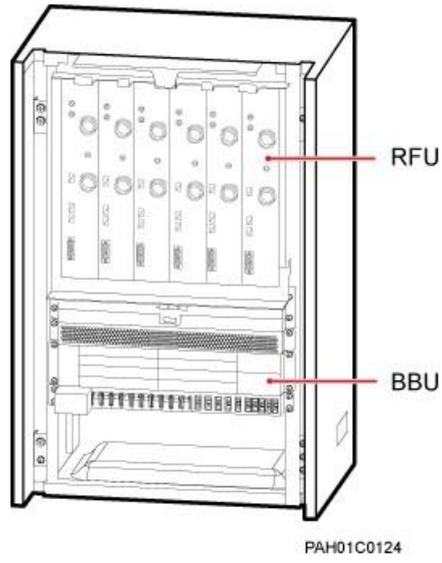
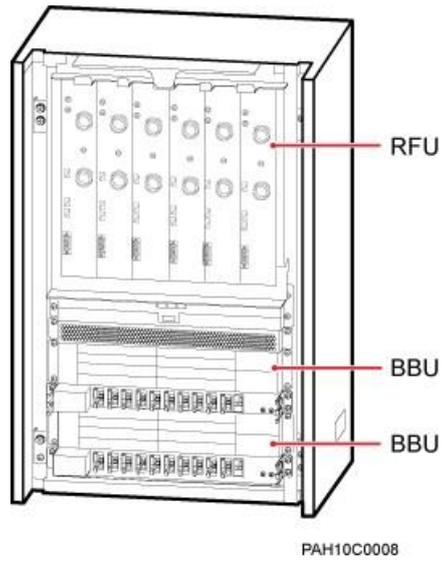


Figure 4-8 Internal structure of a BTS3900 (Ver.D) cabinet



ANEXO D. Antena indoor panel

COMMSCOPE®

POWERED BY



Cell-Max™ Directional Inbuilding Antenna, 698960 MHz, 1710–2700 MHz

Frequency Band, MHz	698–800	800–960	1710–2170	2200–2700
Gain, dBi	5.0	5.0	8.0	6.0
Beamwidth, Horizontal, degrees	120	90	65	50
Beamwidth, Vertical, degrees	90.0	85.0	55.0	40.0
VSWR Return Loss, dB	1.8 10.9	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-140	-140	-140	-140
Input Power per Port, maximum, watts	50	50	50	50
Polarization	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

Antenna Type	Directional
Application	Indoor
Operating Frequency Band	1710 – 2700 MHz 698 – 960 MHz
Brand	Cell-Max™
Mount Type	4-hole wall mounting plate and hardware (included)
Package Quantity	1
Pigtail Cable	670-141SXE, plenum rated

Electrical Note PIM specifications are less than or equal to the stated value

Color	White
Pigtail Length	500.0 mm 19.7 in
Radome Material	ABS, UV resistant
RF Connector Interface	N Female

Operating Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

Depth	44.0 mm 1.7 in
Length	210.0 mm 8.3 in
Width	180.0 mm 7.1 in
Net Weight	0.6 kg 1.4 lb

Depth	55.0 mm 2.2 in
Length	250.0 mm 9.8 in

ANEXO E. Antena indoor omnidireccional



Cell-Max™ Omni In-building Antenna, 698–960 MHz and 1710–2700 MHz

- This product is part of the CommScope Wired for Wireless ® Solution

Frequency Band, MHz	698–800	800–960	1710–2700
Gain, dBi	2.0	2.0	5.0
Beamwidth, Horizontal, degrees	360	360	360
VSWR Return Loss, dB	1.8 10.9	1.5 14.0	1.5 14.0
Input Power per Port, maximum, watts	50	50	50
Polarization	Vertical	Vertical	Vertical
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm
Antenna Type	Omni		
Application	Indoor		
Operating Frequency Band	1710 – 2700 MHz 698 – 960 MHz		
Brand	Cell-Max™		
Mount Type	Thru-hole ceiling mount (optional)		
Package Quantity	1		
Pigtail Cable	KSR195, plenum rated		
Color	White		
Pigtail Length	315.0 mm 12.4 in		
Radome Material	ABS, UV resistant		
RF Connector Interface	N Female		
Operating Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)		
Relative Humidity	Up to 100%		
Height	85.00 mm 3.35 in		
Outer Diameter	186.0 mm 7.3 in		

ANEXO F. Antena outdoor panel



Andrew® Dual Band Antenna, 824–960 MHz and 1710–2180 MHz, 65° horizontal beamwidth, RET compatible

- Interleaved dipole technology providing for attractive, low wind load mechanical package

Frequency Band, MHz	824–896	870–960	1710–1880	1850–1990	1920–2180
Gain, dBi	16.8	17.4	18.5	18.7	18.3
Beamwidth, Horizontal, degrees	70	67	66	62	60
Beamwidth, Vertical, degrees	7.7	7.4	4.9	4.6	4.3
Beam Tilt, degrees	0–8	0–8	0–6	0–6	0–6
USLS (First Lobe), dB	15	15	15	15	15
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	26	27	32	32	28
Isolation, dB	30	30	30	30	30
Isolation, Intersystem, dB	35	35	35	35	35
VSWR Return Loss, dB	1.4 15.6	1.5 14.0	1.5 14.0	1.4 15.6	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150	-150	-150	-150	-150
Input Power per Port, maximum, watts	350	350	350	350	350
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm
Frequency Band, MHz	824–896	870–960	1710–1880	1850–1990	1920–2180
Gain by all Beam Tilts, average, dBi	16.6	17.1	17.7	17.6	17.6
Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB	±0.5	±0.4	±0.5	±0.5	±0.6
	0° 16.7	0° 17.2	0° 17.7	0° 17.9	0° 17.9
Gain by Beam Tilt, average, dBi	4° 16.7	4° 17.2	3° 17.7	3° 17.7	3° 17.8
	8° 16.5	8° 17.0	6° 17.4	6° 17.1	6° 17.0
Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees	±2.4	±2.8	±4.9	±2	±3.5
Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees	±0.3	±0.3	±0.3	±0.2	±0.3
USLS, beampeak to 20° above beampeak, dB	14	14	11	12	13
Front-to-Back Total Power at 180° ± 30°, dB	22	22	26	28	27
CPR at Boresight, dB	23	21	18	17	15
CPR at Sector, dB	17	11	10	9	7
Antenna Brand	Andrew®				
Antenna Type	DualPol® multiband				
Band	Multiband				
Brand	DualPol® Teletilt®				
Operating Frequency Band	1710 – 2180 MHz 824 – 960 MHz				
Performance Note	Outdoor usage				

ANEXO G. Splitter dos vías

COMMSCOPE®

POWERED BY



Two-way Reactive Power Splitter, 698 –2700 MHz

S-2-CPUSE-H-Ni6 Two-way Reactive Power Splitter, 698–2700 MHz

Brand	Andrew®
Device Type	Splitter
Interface	N Female
Color	Black

Operating Frequency Band	698 – 2700 MHz
3rd Order IMD	-150 dBc (relative to carrier)
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
Average Power, maximum	300 W
Dissipative Loss at Frequency Band	0.1 dB @ 698–2700 MHz
Impedance	50 ohm
Peak Power, maximum	3 kW
Power Rating, Splitting	300 W
Reflected Power, maximum	300 W
Return Loss, minimum	20.8 dB
Split Loss	3.0 dB
VSWR	1.2:1

Inner Contact Plating	Silver
Outer Contact Plating	Trimetal

Application	Indoor/Outdoor
Ingress Protection Test Method	IEC 60529:2001, IP65
Operating Temperature	-25 °C to +85 °C (-13 °F to +185 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

Length	211.00 mm 8.31 in
Width	61.00 mm 2.40 in

ANEXO H. Splitter tres vías

COMMSCOPE®

POWERED BY



Three-way Reactive Power Splitter, 698 –2700 MHz

S-3-CPUSE-H-Ni6 Three-way Reactive Power Splitter, 698-2700 MHz

Brand	Andrew®
Device Type	Splitter
Interface	N Female
Color	Black

Operating Frequency Band	698 – 2700 MHz
3rd Order IMD	-150 dBc (relative to carrier)
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
Average Power, maximum	300 W
Dissipative Loss at Frequency Band 0.2 dB @ 698-2700 MHz	
Impedance	50 ohm
Peak Power, maximum	3 kW
Power Rating, Splitting	300 W
Reflected Power, maximum	300 W
Return Loss, minimum	19.1 dB
Split Loss	4.8 dB
VSWR	1.25:1

Inner Contact Plating	Silver
Outer Contact Plating	Trimetal

Application	Indoor/Outdoor
Ingress Protection Test Method	IEC 60529:2001, IP65
Operating Temperature	-25 °C to +85 °C (-13 °F to +185 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

Length	227.00 mm 8.94 in
Width	61.00 mm 2.40 in
Net Weight	370.00 g 0.82 lb

ANEXO I. Splitter cuatro vías

COMMSCOPE®

POWERED BY



Four-way Reactive Power Splitter, 698 – 2700 MHz

S-4-CPUSE-H-Ni6 Four-way Reactive Power Splitter, 698-2700 MHz

Brand	Andrew®
Device Type	Splitter
Interface	N Female
Color	Black

Operating Frequency Band	698 – 2700 MHz
3rd Order IMD	-150 dBc (relative to carrier)
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
Average Power, maximum	300 W
Dissipative Loss at Frequency Band	0.3 dB @ 698-2700 MHz
Impedance	50 ohm
Insertion Loss at Frequency Band	0.3 dB @ 698-2700 MHz
Peak Power, maximum	3 kW
Power Rating, Splitting	300 W
Reflected Power, maximum	300 W
Return Loss, minimum	17.7 dB
Split Loss	6.0 dB
VSWR	1.3:1

Inner Contact Plating	Silver
Outer Contact Plating	Trimetal

Application	Indoor/Outdoor
Ingress Protection Test Method	IEC 60529:2001, IP65
Operating Temperature	-25 °C to +85 °C (-13 °F to +185 °F)

Height	43.00 mm 1.69 in
Length	227.00 mm 8.94 in

ANEXO J. Conector N tipo Hembra



Type N Male RingFlare™ for 1/2 in LDF4-50A cable

Connector Impedance	50 ohm
Operating Frequency Band	0 – 8800 MHz
Cable Impedance	50 ohm
3rd Order IMD, typical	-120 dBm @ 910 MHz
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
RF Operating Voltage, maximum (vrms)	707.00 V

dc Test Voltage	2000 V
Outer Contact Resistance, maximum	0.30 mOhm
Inner Contact Resistance, maximum	2.00 mOhm
Insulation Resistance, minimum	5000 MOhm
Average Power	0.6 kW @ 900 MHz
Peak Power, maximum	10.00 kW
Insertion Loss, typical	0.05 dB
Shielding Effectiveness	-130 dB

Outer Contact Attachment Method	Ring-flare
Inner Contact Attachment Method	Captivated
Outer Contact Plating	Trimetal
Inner Contact Plating	Gold
Attachment Durability	25 cycles
Interface Durability	500 cycles
Interface Durability Method	IEC 61169-16:9.5
Connector Retention Tensile Force	890 N 200 lbf
Connector Retention Torque	5.42 N-m 48.00 in lb
Insertion Force	66.72 N 15.00 lbf
Insertion Force Method	MIL-C-39012C-3.12, 4.6.9
Pressurizable	No
Coupling Nut Proof Torque	19.91 N-m 176.25 in lb
Coupling Nut Retention Force	444.82 N 100.00 lbf
Coupling Nut Retention Force Method	MIL-C-39012C-3.25, 4.6.22

Nominal Size	1/2 in
--------------	--------

Diameter	22.00 mm 0.87 in		
Length	76.00 mm 2.99 in		
Weight	242.00 g 0.53 lb		
<hr/>			
Operating Temperature	-55 °C to +150 °C (-67 °F to +302 °F)		
Storage Temperature	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)		
Immersion Depth	1 m		
Immersion Test Mating	Mated		
Immersion Test Method	IEC 60529:2001, IP68		
Water Jetting Test Mating	Mated		
Water Jetting Test Method	IEC 60529:2001, IP66		
Moisture Resistance Test Method	MIL-STD-202F, Method 106F		
Mechanical Shock Test Method	MIL-STD-202, Method 213, Test Condition I		
Thermal Shock Test Method	MIL-STD-202F, Method 107G, Test Condition A-1, Low Temperature -55 °C		
Vibration Test Method	MIL-STD-202F, Method 204D, Test Condition B		
Corrosion Test Method	MIL-STD-1344A, Method 1001.1, Test Condition A		
<hr/>			
Attenuation, Ambient Temperature °C	20		68 °F
Average Power, Ambient Temperature 40 °C			104 °F
<hr/>			
Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)	
0-1000 MHz	1.03	36.00	
1000-2000 MHz 1.07 29.00			
<hr/>			
Agency	Classification		
RoHS 2011/65/EU	Compliant by Exemption		
China RoHS SJ/T 11364-2006	Above Maximum Concentration Value (MCV)		
<hr/>			
			
Immersion Depth	Immersion at specified depth for 24 hours		
Insertion Loss, typical 0.05v ⁻¹ freq (GHz) (not applicable for elliptical waveguide)			

ANEXO K. Cable corrugado 1/2

 LDF4-50A, HELIAX® Low Density Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 1/2 in, black PE jacket	
Jacket Material	PE
Outer Conductor Material	Corrugated copper
Dielectric Material	Foam PE
Flexibility	Standard
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire
Jacket Color	Black
<hr/>	
Nominal Size	1/2 in
Cable Weight	0.15 lb/ft 0.22 kg/m
Diameter Over Dielectric	12.954 mm 0.510 in
Diameter Over Jacket	15.875 mm 0.625 in
Inner Conductor OD	4.8260 mm 0.1900 in
Outer Conductor OD	13.970 mm 0.550 in
<hr/>	
Cable Impedance	50 ohm ±1 ohm
Capacitance	23.1 pF/ft 75.8 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.450 ohms/kft 1.480 ohms/km
dc Resistance, Outer Conductor	0.820 ohms/kft 2.690 ohms/km
dc Test Voltage	4000 V
Inductance	0.190 µH/m 0.058 µH/ft
Insulation Resistance	100000 Mohms•km
Jacket Spark Test Voltage (rms)	8000 V
Operating Frequency Band	1 – 8800 MHz
Peak Power	40.0 kW
Velocity	88%
<hr/>	
Installation Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Operating Temperature	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)
Storage Temperature	-70 °C to +85 °C (-94 °F to +185 °F)

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.149	0.045	40.00
1	0.211	0.064	36.11
1.5	0.259	0.079	29.46
2	0.299	0.091	25.50
10	0.672	0.205	11.35
20	0.954	0.291	7.99
30	1.172	0.357	6.51
50	1.521	0.463	5.02
88	2.031	0.619	3.76
100	2.169	0.661	3.52
108	2.256	0.688	3.38
150	2.673	0.815	2.85
174	2.887	0.88	2.64
200	3.103	0.946	2.46
300	3.835	1.169	1.99
400	4.462	1.36	1.71
450	4.749	1.447	1.61
500	5.021	1.53	1.52
512	5.085	1.55	1.50
600	5.533	1.686	1.38
700	6.009	1.831	1.27
800	6.456	1.968	1.18
824	6.56	1.999	1.16
894	6.855	2.089	1.11
960	7.124	2.171	1.07
1000	7.284	2.22	1.05
1250	8.226	2.507	0.93
1500	9.093	2.771	0.84
1700	9.744	2.97	0.78
1800	10.058	3.066	0.76
2000	10.666	3.251	0.72
2100	10.961	3.341	0.70
2200	11.251	3.429	0.68
2300	11.535	3.516	0.66
2500	12.09	3.685	0.63
2700	12.627	3.849	0.60
3000	13.407	4.086	0.57
3400	14.401	4.389	0.53
3700	15.118	4.608	0.50
4000	15.815	4.82	0.48
5000	18.01	5.489	0.42
6000	20.055	6.113	0.38
8000	23.826	7.262	0.32
8800	25.244	7.694	0.30

* Values typical, guaranteed within 5%

Agency Classification

RoHS 2011/65/EU Compliant

China RoHS SJ/T 11364-2006 Below Maximum Concentration Value (MCV)