

**PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE ACCESO LTE PARA DATOS EN LA
CIUDAD DE PARIS**

AUTOR:

HUGO JAVIER ARÉVALO PINZÓN

CÓDIGO: 2100004

ESTUDIANTE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

BOGOTÁ

2014

**PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE ACCESO LTE PARA DATOS EN LA
CIUDAD DE PARIS**

AUTOR:

HUGO JAVIER ARÉVALO PINZÓN

CÓDIGO: 2100004

ESTUDIANTE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DIRECTORA

MÓNICA ESPINOSA BUITRAGO

INGENIERA ELECTRÓNICA

MAGISTER EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

ASESOR

HUGO CAMPOS POLO

INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

BOGOTÁ

2014

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mi familia, quienes con un gran esfuerzo y dedicación me permitieron estudiar esta gran carrera, en esta tan importante universidad. A mi madre, quien con su paciencia y amor siempre ha estado a mi lado y quien inculco en mi la responsabilidad y respeto, a mi padre, quien ha sido mi mentor en la vida, y quien dedico horas y horas de paciencia explicándome siempre cualquier inquietud que se me presentara y finalmente a mi hermano, quien estuvo dispuesto a ayudarme y a recalcar me la importancia del estudio para la vida profesional. MUCHAS GRACIAS!

Hugo Javier Arévalo Pinzón.

AGRADECIMIENTOS

En este momento tan importante, es primordial para mí agradecer a Dios por la grandiosa familia que me regalo, una familia que siempre me apoyo en las decisiones tomadas y que ha estado conmigo en los buenos y malos momentos vividos en lo que llevo de mi existencia. A ellos mil y mil gracias. Por otra parte quiero agradecer a toda la planta docente de la Universidad Santo Tomas, especialmente a la Ingeniera Mónica Espinosa, quien desde el principio mostro interés en el tema central de esta tesis, al Ingeniero Hugo Campos Polo, quien confió en mis capacidades para la realización de este trabajo de Grado y al Ingeniero Julio Pulido, quien muy amablemente me recalco la importancia de la realización de este proyecto. Quiero agradecer también a todos mis amigos y compañeros con los cuales compartí a lo largo de estos 5 años, quienes han aportado mucho en mi crecimiento personal y profesional. Y por último a las empresas: Alcatel quienes me aportaron las bases para la realización de este proyecto, y a INGYTELCOM S.A.S quienes me han permitido empezar a trabajar en el mundo de las comunicaciones móviles.

Muchas gracias a TODOS.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
JUSTIFICACIÓN.....	22
OBJETIVO GENERAL.....	25
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
MARCO TEÓRICO.....	26
1. Generaciones de red.....	26
1.1. Red 1G: Redes Celulares Análogas.....	26
1.2. Redes 2G: GSM (Global System For Mobile Telecommunications)	27
1.3. GPRS (General Packet Radio Service)	30
1.4. EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).....	32
1.5. 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	32
1.6. 3.5G HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)	35
1.7. 4G LTE (Long Term Evolution)	35
2. Small Cells	39
3. Modelos de Propagación.....	41
3.1. Modelo de propagación Okumura	42
3.2. Modelo de propagación Okumura-Hata	42
3.3. Atenuación por espacio Libre, Ecuacion de Friss	44
3.4. Modelo de propagación COST-231	44
3.5. Modelo de propagación Longley & Rice	45
4. ICS Telecom Designer	45
5. Clutter.....	47
5.1. Urbano.....	47
5.2. Urbano Denso.....	47
5.3. Urbano Denso.....	47
5.4. Rural.....	48
6. Link Budget	48
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	50
1. Recursos	50
1.1 Recursos Físicos: Se relaciona en la Tabla 1 Recursos Físicos , los recursos físicos utilizados para la realización del proyecto:.....	50
1.2 Recursos de Software: Se relaciona en la Tabla 2 Recursos de Software , los recursos de Software utilizados para la realización del proyecto:	51
2. Calculo de cobertura.	52
2.1 Especificación de las variables	53

2.2	Planificación de Frecuencias.....	56
2.3	Calculo ideal de cobertura (Link Budget).....	57
3.	Ubicación de los eNodeB.....	62
4.	Parametrización de eNodeB.....	122
5.	eNodeB NSN (Nokia Solutions Networks).....	125
5.1	Macro Estaciones NSN	126
5.2	Micro Estaciones NSN	127
6.	Propuesta de RED RAN	128
7.	CONCLUSIONES.....	131
8.	RECOMENDACIONES.....	134
	BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA.....	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Recursos Físicos	51
Tabla 2 Recursos de Software	51
Tabla 3 Consideraciones del modelo de propagación Okumura – Hata	53
Tabla 4 Consideraciones de parámetros dependientes de la frecuencia.	59
Tabla 5 Parámetros para el calculo del Link Budget en UpLink.	60
Tabla 6 Tabla de Cobertura Up Link por eNodeB.	60
Tabla 7 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-001	63
Tabla 8 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-002	64
Tabla 9 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-003	65
Tabla 10 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC- 004.....	66
Tabla 11 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC- 005.....	67
Tabla 12 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC- 006.....	68
Tabla 13 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC- 007.....	69
Tabla 14 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC- 008.....	70

Tabla 15 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-009.....	71
Tabla 16 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-010.....	72
Tabla 17 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-011.....	73
Tabla 18 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-012.....	74
Tabla 19 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-013.....	75
Tabla 20 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-014.....	76
Tabla 21 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-015.....	77
Tabla 22 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-016.....	78
Tabla 23 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-017.....	79
Tabla 24 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-018.....	80
Tabla 25 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-019.....	81
Tabla 26 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-020.....	82
Tabla 27 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-021.....	83
Tabla 28 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-022.....	84

Tabla 29 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-023.....	85
Tabla 30 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-024.....	86
Tabla 31 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-025.....	87
Tabla 32 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-026.....	88
Tabla 33 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-027.....	89
Tabla 34 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-028.....	90
Tabla 35 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-029.....	91
Tabla 36 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-030.....	92
Tabla 37 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-031.....	93
Tabla 38 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-032.....	94
Tabla 39 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-033.....	95
Tabla 40 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-034.....	96
Tabla 41 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-035.....	97
Tabla 42 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-036.....	98

Tabla 43 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-037.....	99
Tabla 44 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-038.....	100
Tabla 45 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-039.....	101
Tabla 46 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-040.....	102
Tabla 47 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-041.....	103
Tabla 48 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-042.....	104
Tabla 49 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-043.....	105
Tabla 50 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-044.....	106
Tabla 51 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-045.....	107
Tabla 52 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-046.....	108
Tabla 53 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-047.....	109
Tabla 54 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-048.....	110
Tabla 55 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-049.....	111
Tabla 56 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-050.....	112

Tabla 57 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-051.....	113
Tabla 58 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-052.....	114
Tabla 59 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-053.....	115
Tabla 60 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-054.....	116
Tabla 61 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-055.....	117
Tabla 62 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-056.....	118
Tabla 63 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-057.....	119
Tabla 64 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-058.....	120
Tabla 65 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-059.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura de red GSM	30
Figura 2 Arquitectura de red GPRS	32
Figura 3 Arquitectura de red UMTS	34
Figura 4 OFDMA	36
Figura 5 Beamforming	37
Figura 6 MIMO 2X2.	38
Figura 7 Arquitectura de red 4G LTE.....	39
Figura 8 Logo ICS TELECOM	46
Figura 9 Clutter presentes en el área de estudio para la realización de diseño de red, Paris.	48
Figura 10 Diversidad de espacio	54
Figura 11 Parámetros dependientes de la frecuencia (Archivo Macro Excel).....	58
Figura 12 Masificación de Usuarios.....	61
Figura 13 Panorámica de eNodeB FRC-001	63
Figura 14 Panorámica de eNodeB FRC-002	64
Figura 15 Panorámica de eNodeB FRC-003	65
Figura 16 Panorámica de eNodeB FRC-004	66
Figura 17 Panorámica de eNodeB FRC-005	67
Figura 18 Panorámica de eNodeB FRC-006	68
Figura 19 Panorámica de eNodeB FRC-007	69

Figura 20 Panorámica de eNodeB FRC-008	70
Figura 21 Panorámica de eNodeB FRC-009	71
Figura 22 Panorámica de eNodeB FRC-010	72
Figura 23 Panorámica de eNodeB FRC-011	73
Figura 24 Panorámica de eNodeB FRC-012	74
Figura 25 Panorámica de eNodeB FRC-013	75
Figura 26 Panorámica de eNodeB FRC-014	76
Figura 27 Panorámica de eNodeB FRC-014	77
Figura 28 Panorámica de eNodeB FRC-016	78
Figura 29 Panorámica de eNodeB FRC-017	79
Figura 30 Panorámica de eNodeB FRC-018	80
Figura 31 Panorámica de eNodeB FRC-019	81
Figura 32 Panorámica de eNodeB FRC-020	82
Figura 33 Panorámica de eNodeB FRC-021	83
Figura 34 Panorámica de eNodeB FRC-022	84
Figura 35 Panorámica de eNodeB FRC-023	85
Figura 36 Panorámica de eNodeB FRC-024	86
Figura 37 Panorámica de eNodeB FRC-025	87
Figura 38 Panorámica de eNodeB FRC-026	88
Figura 39 Panorámica de eNodeB FRC-027	89
Figura 40 Panorámica de eNodeB FRC-028	90
Figura 41 Panorámica de eNodeB FRC-029	91
Figura 42 Panorámica de eNodeB FRC-030	92

Figura 43 Panorámica de eNodeB FRC-031	93
Figura 44 Panorámica de eNodeB FRC-032	94
Figura 45 Panorámica de eNodeB FRC-033	95
Figura 46 Panorámica de eNodeB FRC-034	96
Figura 47 Panorámica de eNodeB FRC-035	97
Figura 48 Panorámica de eNodeB FRC-036	98
Figura 49 Panorámica de eNodeB FRC-037	99
Figura 50 Panorámica de eNodeB FRC-038	100
Figura 51 Panorámica de eNodeB FRC-039	101
Figura 52 Panorámica de eNodeB FRC-040	102
Figura 53 Panorámica de eNodeB FRC-041	103
Figura 54 Panorámica de eNodeB FRC-042	104
Figura 55 Panorámica de eNodeB FRC-043	105
Figura 56 Panorámica de eNodeB FRC-044	106
Figura 57 Panorámica de eNodeB FRC-045	107
Figura 58 Panorámica de eNodeB FRC-046	108
Figura 59 Panorámica de eNodeB FRC-047	109
Figura 60 Panorámica de eNodeB FRC-048	110
Figura 61 Panorámica de eNodeB FRC-049	111
Figura 62 Panorámica de eNodeB FRC-050	112
Figura 63 Panorámica de eNodeB FRC-051	113
Figura 64 Panorámica de eNodeB FRC-052	114
Figura 65 Panorámica de eNodeB FRC-053	115

Figura 66 Panorámica de eNodeB FRC-054	116
Figura 67 Panorámica de eNodeB FRC-055	117
Figura 68 Panorámica de eNodeB FRC-056	118
Figura 69 Panorámica de eNodeB FRC-057	119
Figura 70 Panorámica de eNodeB FRC-058	120
Figura 71 Panorámica de eNodeB FRC-059	121
Figura 72 Agregar estación Rx/Tx en ICS Designer.	122
Figura 73 Parametrización de una estación Rx/Tx LTE en ICS Designer	123
Figura 74 Características del módulo RF en ICS Designer.....	124
Figura 75 Características del patrón de Radiación en ICS Designer	124
Figura 76 Configuraciones del eNodeB en ICS Designer.	125
Figura 77 Modulo FOC NSN.....	126
Figura 78 System Module NSN	127
Figura 79 Small Cell NSN.....	128
Figura 80 Región de aplicación de la red a Diseñar.	129
Figura 81 Simulación 59 eNodeB, cobertura aproximada 96%.....	129
Figura 82 Propuesta de RED RAN.	130

INTRODUCCIÓN

En el mes de Febrero del 2014, la empresa Advanced Radiocommunications (ATDI), lanzo un concurso a nivel mundial, en el cual convoca a todos los estudiantes de pregrado y posgrado (en carreras afines a las Comunicaciones) a la realización de una propuesta de diseño de la red LTE (Long Term Evolution) para una región específica en la ciudad de Paris (Francia), con el fin de mejorar las competencias mundiales en el área de diseño de redes inalámbricas.

Con la constante demanda que se presenta por los usuarios de servicios móviles y la cantidad de utilidades que permiten los nuevos terminales han llevado a que los operadores migren a diferentes generaciones tecnológicas. Este incremento se ve fuertemente sustentado en los últimos 3 informes trimestrales presentados por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), en donde en un periodo de estudio de 9 meses, se evidencia un incremento bastante notorio en la cantidad de abonados para los servicios móviles (Telefonía Móvil Celular e Internet Móvil) frente a los servicios fijos (Internet Banda Ancha y Telefonía Pública Básica Conmutada).

Por ejemplo para el 2 Trimestre (2-T) del año 2013 (periodo comprendido de Abril a Junio), si tenemos presente de un promedio de 46.000.000 de habitantes, la cantidad de abonados para Internet Fijo Banda Ancha (teniendo presente que se considera a las conexiones con velocidades que sobrepasan o son iguales a 1Mbps) es de 7.194.134 conexiones que es igual al 15,64%, mientras que la Telefonía Pública Básica Conmutada (TPBC) cuenta con 6.360.845 abonados que corresponden al 13.82%; siendo así los servicios fijos para este periodo representan alrededor del 29.46%

Por otro lado, en los servicios móviles, la cantidad de abonados se encuentra altamente superada, ya que para la Telefonía Móvil Celular (TMC) cuenta con 47.313.686 suscriptores lo que equivale a un 102.8% (más de una línea móvil telefónica por habitante); el internet móvil por su parte cuenta con 19.020.686

abonados alrededor del 41.35%; Se obtiene entonces que el porcentaje para servicios móviles es de 144.15%. Para el 2-T del 2013 se tiene entonces una diferencia de alrededor de 73 puntos porcentuales, diferencia bastante importante a favor de los servicios móviles (Boletín, 2013).

Los datos anteriormente mencionados permiten tener una perspectiva de cómo se evidencia el concepto de la necesidad de la población en las tecnologías móviles. Tomando como punto de partida los porcentajes del 2-T del 2013, y revisando ahora los porcentajes nueve meses después, en donde para el 1-T del 2014 se obtiene que para el internet fijo Banda Ancha cuenta con 8.883.004 conexiones, representando un 19.3%, mientras que la TPBC cuenta con 7.110.823 abonados que corresponden al 15.46%, logrando para el fin del tiempo estudiado un 34,76%; en los servicios móviles, específicamente en la TMC, esta cuenta con 51.594.619 líneas, llegando a representar el 112.16% y el Internet móvil que su cantidad de abonados es de 19.641.843 abonados que representan el 15.46% (Boletín, 2014).

Todos estos porcentajes permiten encontrar que en solo 9 meses de estudio (2° trimestre del 2013 y 1^{er} trimestre del 2014) la diferencia porcentual entre los servicios fijos es de 5 puntos contra 10 de los servicios móviles.

Dada la necesidad que se evidencia para Colombia en los reportes anteriormente presentados, la importancia que las comunicaciones móviles tienen en el país y el despliegue de red más que necesario por el constante incremento de usuarios de estas tecnologías, es importante la participación en concursos como el propuesto por ATDI, ya que permite la elaboración formal de una propuesta de diseño de la red de acceso LTE para una región específica (en este caso París), en la que se presenta la necesidad de garantizar una velocidad específica de navegación, que deberá ser solucionada bajo parámetros que permitirán al diseñador dar una mayor optimización de los recursos a utilizar.

De acuerdo con lo anterior, este proyecto tiene como propósito general realizar una propuesta de diseño de red de Acceso LTE, para una región específica de la ciudad de París (Francia), por medio de la utilización de la herramienta ICS

Designer suministrada por ATDI y teniendo presente características esenciales de la red, que permitirá realizar variaciones en el diseño que garantizará la velocidad requerida y cobertura necesaria para los diferentes perfiles de terreno y Clutters presentes en la cartografía de una región de la ciudad de Paris suministrada, la cual cuenta con las siguientes características:

- Cartografía Bing Maps
- Ciudad de Paris (Parcial)
- 4m de Resolución
- Perfil de terreno incluido (Clutter Layer)
- Modelado de Edificios Incluido (Building Layer)
- Formato .ewf

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La constante evolución entre las diversas tecnologías de red en la Telefonía Móvil Celular (TMC), permite que el crecimiento profesional de los ingenieros del sector contribuya a que las migraciones entre estas sean cada vez más cortas. Por esto, es indispensable que en un país como Colombia el cual busca estar a la vanguardia tecnológica cuente con profesionales interesados en apoyar y promover la iniciativa del gobierno en el área de tecnologías de la información y las comunicaciones. Por esta razón oportunidades como la que brinda ATDI, en donde busca promover la investigación en el diseño de redes LTE para un país el cual presenta una necesidad específica y que está pasando por una transición de tecnológica, ayuda en el crecimiento profesional de los ingenieros colombianos logrando aceptar y familiarizarse con las tecnologías utilizadas en países desarrollados.

El ideal del concurso de ATDI se basa en la realización de una propuesta de red de acceso LTE para una zona específica de Paris, permitiendo que los participantes diseñen una optimización de la red haciendo usos de todos los recursos que considere necesario. Siendo muy importante a nivel académico este tipo de concursos, ya que permiten contar con todas las herramientas necesarias para estos diseños, por esta razón se define el desarrollo bajo parámetros fijos tales como el perfil del terreno, redes ya existentes 3G, modelo de propagación (Okumura Hata), ancho de banda, topología antena Tx, potencia disipada del terminal, figura de ruido del eNB (Radio estación) y User Equipment (UE), pérdidas por cable, márgenes de penetración por Clutter, altura, ganancia y potencia del UE; y parámetros variables como frecuencia (teniendo disponible la banda de 800 MHz y la de 2.5GHz), modelo de duplexación, ganancia de la antena, potencia disipada del eNB y altura de la torre (máximo 40 m).

Por todo esto surge la siguiente pregunta problema ¿Cuál es la propuesta de diseño de la red de acceso para datos LTE en la ciudad de París (Francia) que garantiza las necesidades previstas por el concurso y que cumple con los requerimientos establecidos por la empresa ATDI?.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de los usuarios de la telefonía móvil celular que se ha venido presentando en la última década es muy importante para la sociedad colombiana, frente a los nuevos servicios que ofrecen las plataformas de los sistemas de tecnologías de la información y las comunicaciones, que garantizan una contribución positiva para el desarrollo económico y social del país que mejora la calidad de vida de los usuarios.

En la última década se ha observado un crecimiento bastante importante en la cantidad de usuarios de los servicios móviles frente a los servicios fijos, todo esto motivado por la necesidad de estar informado de lo que está sucediendo al rededor. El despliegue de las redes LTE se ve altamente dominado por Europa frente a Sur américa, ya que desde el 2009, Noruega cuenta con redes LTE en servicio (NETCOM / TELIA SONERA en la banda LTE-2600 MHz) y dando hoy en día cobertura en casi el 100% del continente. Por otro lado, en Sur américa el país pionero en el despliegue y funcionamiento de esta red es Brasil, ya que en Diciembre del 2011 SKY TELECOM lanza sus primeros planes LTE (LTE-2500 MHz) (NgnGuru Solutions, 2009).

En Francia (país en el cual se realizara la propuesta de diseño), las redes LTE se encuentran en servicio desde Noviembre del 2012 por medio del operador SFR (*Société Française du Radiotéléphone*), pero cuenta además con Orange France (Junio del 2013), Bouygues Telecom (Mayo 2013) y Free Mobile (Diciembre 2013). En Colombia, LTE llega en junio del 2012 con UNE (EPM Telecomunicaciones), en el 2013 Movistar (Colombia Telecomunicaciones S. A) y Tigo (Colombia Móvil) entran en operación en el mes de Diciembre, mientras que en Febrero del 2014 Avantel (Avantel S.A.S) y Claro (Claro Colombia y Comcel S. A) (NgnGuru Solutions, 2009).

Adicionalmente la constante demanda de servicios de TMC requiere el diseño, planeación y puesta en marcha de las redes telecomunicaciones que permitirá el debido funcionamiento de los servicios para usuarios finales.

Esto, no solo beneficia a los usuarios y operadores, sino que también, esta gran demanda de recursos de servicio móviles, permite a las empresas desarrolladoras de Software generar herramientas potentes que permitan a las áreas encargadas de planeación de los diferentes operadores, realizar una simulación acertada y muy cercana a la realidad de la red que se tiene prevista a desplegar. Este es el caso de ATDI, una multinacional encargada del desarrollo y comercialización de software y servicios relacionados con el diseño y planificación de redes inalámbricas.

En el mes de Febrero, ATDI, lanza una convocatoria a nivel mundial para estudiantes de carreras afines a las Telecomunicaciones, que quieran participar en un concurso, en el cual se deberá realizar una propuesta de diseño de la red de acceso para una red LTE que un nuevo operador implementará y desplegará. El diseño deberá realizarse teniendo presente los siguientes parámetros:

- Parámetros fijos:
 - Perfil del terreno del área de estudio.
 - Infraestructura de redes ya existentes 3G.
 - Modelo de propagación Okumura Hata.
 - Troughput mínimo de 2Mbps.
 - Topología de la antena de Transmisión.
 - MIMO 2X2
 - Diversidad de espacio.
 - Potencia disipada del terminal.
 - Perdidas por cable.
 - Márgenes de penetración por Clutter.
 - Altura, ganancia y potencia del UE

- Parámetros variables:
 - Frecuencia de operación (teniendo disponible la banda de 800 MHz y la de 2.5GHz).
 - Modo de duplexación.
 - Ganancia de la antena.
 - Potencia disipada del eNB.
 - Altura de la torre (máximo 40 m).

El diseño, se realizó por medio de la implementación de ICS Designer, un Software de diseño capaz de soportar y diseñar redes GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, HSPA +, LTE (TDD y FDD), WiMAX, WiFi, CDMA 2000, entre otros. Permite además realizar cálculo de coberturas, importar base de datos de redes ya existentes para uso de infraestructura y cantidad de usuarios, planificación de frecuencia, activación de features LTE, entre otros.

Lo anterior, ha permitido observar el impacto de este proyecto de grado; en donde se plantea una propuesta del diseño de la red de acceso para la tecnología LTE en una región específica de la ciudad de Paris (Francia) como solución a la problemática presentada por ATDI en el concurso para la mejor planificación radio LTE.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de diseño de la red LTE para Paris (Francia) haciendo uso de la herramienta de Diseño ICS Telecom de acuerdo al concurso de la empresa ATDI.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los parámetros para la realización del diseño de acuerdo con requerimientos establecidos en el concurso ATDI.

Realizar una revisión histórica y contextualización de las diferentes tecnologías de red presentes hasta 4G.

Elaborar Link Budget teniendo presente las reflexiones generadas por la densidad de población y el perfil del terreno (Clutter) para la región de estudio.

Parametrizar el software ICS Telecom de acuerdo a los requerimientos de diseño propuestos por el concurso.

Identificar los módulos presentes en el eNB, de acuerdo con su función y características principales en la red de TMC.

Elaborar una propuesta tecnológica de diseño de la red LTE de acuerdo con los parámetros establecidos por el concurso.

MARCO TEÓRICO

1. Generaciones de red

1.1.Red 1G: Redes Celulares Análogas.

Esta fue la primera generación de la red celular que se dio a conocer a nivel mundial. Pese a que no fue la encargada de romper el paradigma de la movilidad, pues a finales de 1940 existían dispositivos que por medio de sistemas de radio analógicos (con modulación AM y FM) permitían la comunicación sin necesidad de encontrarse en un lugar fijo. Estos servicios se encontraban funcionando en las bandas VHF y UHF.

Partiendo de la idea generada en ese entonces, 30 años después en 1970 en los laboratorios Bell (USA) se da el primer paso a esta generación, que se vería estancada rápidamente por la falta de organización y de regulación, ya que 3 diferentes países desarrollarían sus propios sistemas con inconvenientes comunes (Sandra, 2009).

- En 1979 en Estados Unidos, especialmente Chicago realizaría el Sistema AMPS (Sistema Telefónico Móvil Avanzado). Posteriormente sería adaptado por Inglaterra y Japón.
- En 1981 en Suiza se realizaría el sistema NMT (Telefonía Móvil Nórdica)
- En 1985 en el Reino Unido se realizaría el sistema TACS (Total Acces Systems)

Estos 3 sistemas presentaban inconvenientes comunes, ya que solo podían ser utilizados hasta los límites geográficos y que por la sencillez de la red las

comunicaciones podían ser fácilmente interceptadas y monitoreadas; por lo general estos servicios presentaban funcionamiento en la banda de 450 y 900 MHz.

A pesar de lo anterior y con las ventajas que presentaban estos sistemas de comunicación, esta generación sería de gran utilidad hasta finales de los 80's.

El proceso de migración de las redes 1G a las redes de 2 Generación se llevó a cabo gracias a que en 1987 se firmaría por medio de los operadores Europeos (posteriormente (1991) firmarían UAE, Hong Kong, Nueva Zelanda y Australia) el GSM-MoU, Memorando de Entendimiento para la red GSM.

1.2.Redes 2G: GSM (Global System For Mobile Telecommunications)

El memorando anteriormente mencionado fue un gran paso para la puesta en marcha de la red GSM, la cual buscaba básicamente desarrollar especificaciones técnicas para la elaboración de una red europea capaz de cubrir la necesidad de los millones de habitantes de las diferentes ciudades del continente.

Gozo de gran aceptación esta red, ya que arreglo los inconvenientes presentados por la generación anterior. Adicionalmente integro el concepto de calidad de servicio, y Roaming, pues gracias a este último ya era posible desplazarse por el continente europeo sin perder la comunicación. Como primer medida Se pensó en estas redes básicamente para tráfico de voz, pero con la evolución de los elementos presentes en la red, fue posible adicionar servicios, hasta llegar al tráfico de datos para internet (Michel & Paulet, 1992).

La arquitectura de la red se presenta en la Figura 1, en donde se encuentran los siguientes elementos de red.

- **UE (User Equipment):** Es el terminal del usuario, el cual se encuentra identificado por un único número IMEI.

- **SIM (Subscriber Identity Module):** es el elemento identificador del abonado. Contiene en si el número IMSI (International Mobile Subscriber Identity), agenda del usuario, claves de encriptación, etc.
- **BSS (Base Station):** es el elemento encargado de controlar la interface de radio.
 - **BTS (Base Transceiver Station):** Transmisores y receptores de la BSS. Esta es la interface encargada de unir al UE y a la BSC.
 - **BSC (Base Station Controller):** Elemento encargado de controlar los recursos de radio de las BTS presentes en la estación base.
- **NSS (Net Subsystem):** Elemento que permite la interconexión de la estación base con las demás redes públicas.
 - **MSC (Mobile Switching Center):** Se encarga de la gestión de tráfico de la estación base, es además el elemento común de todos los elementos de NSS. Analógicamente puede pensarse como un router. Se encarga además de la autenticación de las llamadas, y el handover (cambio de celda).
 - **HLR (Home Location Register):** Base de datos en donde se encuentra la relación del IMSI (Identidad del Abonado a un móvil) y el MSISDN (número del abonado), tipos de datos contratados, posición actual del móvil.

Dentro de sus principales funciones se encuentran:

- Seguridad: encriptación de la información que se encuentra entre el AUC y el VLR.
 - Gestión de datos del usuario y estadísticos.
-
- **VLR (Visitor Location Register):** Base de datos temporal que se encarga de informar al HLR la ubicación del abonado.
 - **AUC (Authentication Center):** Elemento que se encarga de la autenticación y cifrado de todos los abonados pertenecientes a la celda y las llamadas. Por tal motivo se encarga de verificar que el servicio que solicita sea realizado por un abonado legítimo.
 - **EIR (Equipment Identity Register):** Base de datos que se encarga de la verificación de los UE autorizados para acceder al sistema.
 - **OMC (Operation and Maintenance Center):** **Equipo** de gestión que es utilizado para el mantenimiento y la monitorización de los diferentes elementos de red.

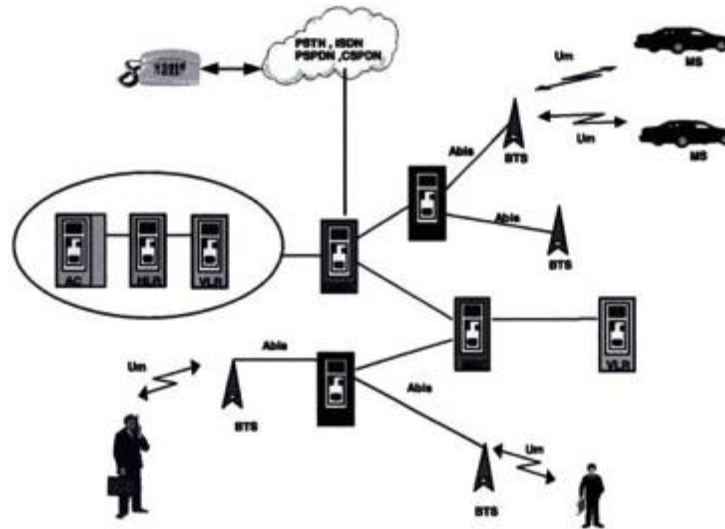


Figura 1 Arquitectura de red GSM

Fuente: Secure Communication: Applications and Management, Roger Sutton, John Wiley & Sons, 2002, Pag 115.

1.3. GPRS (General Packet Radio Service)

Pese a la gran acogida con la que conto las redes 2G, la inclusión de contenidos de multimedia llevo a que fuera necesario tener presente el tráfico de datos dentro de las redes de telefonía móvil celular. Ese cambio que se presenta a mediados de los 90, en donde se ve a GPRS como una segunda etapa de GSM.

Ahora bien, GPRS es una tecnología que se encuentra orientada a paquetes (especial para el tráfico de datos) en donde se buscaban las siguientes bases: (Halonen, Romero, & Melero, 2004)

- Eficiencia espectral: asignación de recursos para up link y Down link por canales separados.
- Fácil implementación gracias a que es posible seguir utilizando el 100% de la red GSM.

- Velocidades cercanas a los 160 Kbps.
- La red GSM seguirá siendo la misma, y por esta se seguirá tratando las llamadas, la modificación se realizará solo para el tráfico de datos el cual será totalmente separado al de voz.

La migración de esta tecnología, fue sentida desde el UE ya que debido a la inclusión de los datos se generalizaron 3 diferentes clases de terminales:

- Class A: Pueden realizar transmisiones de voz y datos al tiempo.
- Class B: Pueden realizar transmisiones de voz y datos pero no simultaneas.
- Class C: Pueden realizar únicamente transmisiones de voz o datos.

Adicionalmente, la arquitectura como se mencionó anteriormente se ve modificada debido a la inclusión de 3 nuevos elementos de red (Bates, 2001) ver Figura 2

- **PCU (Packet Control Unit):** software incorporado a la estación base en el que indica la distinción de los paquetes tratados ya sea voz o datos, para así ser enrutados por la red GSM o GPRS respectivamente.
- **SGSN (Serving GPRS Support Node):** Elemento encargado de ser el punto de acceso del UE a la red GPRS.
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Elemento que hace la función de pasarela para la interconexión de la red GPRS con internet. Esta a su vez hace invisible a la red GPRS por seguridad.

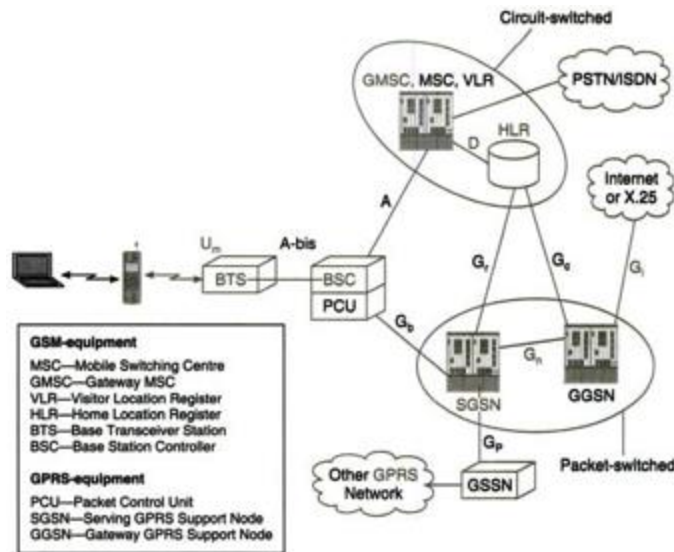


Figura 2 Arquitectura de red GPRS

Fuente: Mobile computing, SIPRA DASBIT, BIPLAB K. SIKDAR, PHI Learning Pvt. Ltd., 2009, Pag 125.

1.4. EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

A si como anteriormente se afirmó que GPRS era una evolución de GSM, es posible decir para este caso, que EDGE es una evolución de GPRS, ya que manteniendo la misma estructura que GPRS en donde se prestan servicios de datos y voz, pero realizando una modificación en la modulación, en donde para este caso se utiliza 8 PSK, es posible mejorar notablemente la velocidad ofrecida, ya que con esta tecnología es posible tener hasta 384 Kbps (Feruskar , Mazur , Muller , & Olofsson, 1999).

1.5. 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

Con la tecnología anterior (Edge) se culmina la segunda generación en donde se presentaron 3 diferentes sistemas. Algunos sitúan a GSM como 2G, a GPRS como 2.5G y a Edge en 2,75G. Lo importante es que físicamente con EDGE y la

forma en que la red se encontraba distribuida era muy complicado superar la velocidad de los 384 Kbps.

Además de lo anterior, se vio también altamente influenciadas las redes por diferentes drivers como: chat por mensajes cortos, chat por voz, chat por video, correo electrónico, redes sociales, buscadores móviles, compras electrónicas, transferencia de archivos, streaming y música entre otros, ya que la velocidad para el debido funcionamiento de estos debería ser superior a la prestada por EDGE.

Referente a la arquitectura de red, ver Figura 3 Arquitectura de red UMTS, es importante mencionar algunos cambios y modificaciones de los elementos (Holma & Toskala, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, 2005).

UE: Es importante que estos dispositivos tenga la posibilidad de trabajar en las 2 redes, ya que la migración de redes 2G a 3G no fue tan rápida como las anteriores.

Red de acceso: Para estas nuevas redes, la red de acceso es UTRAN, la cual está compuesta por la RNC, Node B (antiguas Base Station).

RNC (Radio Network Controller): este es el dispositivo encargado del control de diferentes NodeB, monitorea la calidad de conexión de la comunicación con los UE, adicionalmente controla los diferentes handover que se puedan presentar en las diferentes NodeB.

NodeB: Elemento encargado de la comunicación vía radio de la red con los UE.

3G-MSC (3g Mobile Switching Center): Es el dispositivo que se encarga de la gestión de la movilidad del usuario, la gestión de las llamadas, servicio de conmutación de voz y recolección de información referente a facturación por usuarios.

GMSC (Gateway Mobile Switching Center): Elemento dedicado al enrutamiento de llamadas entre el 3G-MSC y las redes Public switched Telephone Network (PSTN) y Public Land Mobile Network (PLMN).

3G-SGSN (3G Serving GPRS Support Node): Elemento primordial para la conmutación de paquetes, contiene información referente a información del abonado, IMSI, ubicación, entre otros.

3G-GGSN (3G Gateway GPRS Support Node): es el Elemento que se encarga del enrutamiento de los paquetes proveniente del #G-SGSN con Internet, analiza los datos del usuario, gestiona las sesiones establecidas con los diferentes abonados, genera la facturación por el acceso a internet, asigna la dirección IP a los UE y tramita la calidad de servicio para el UE.

HLR, EIR y AUC: Igual que redes anteriores.

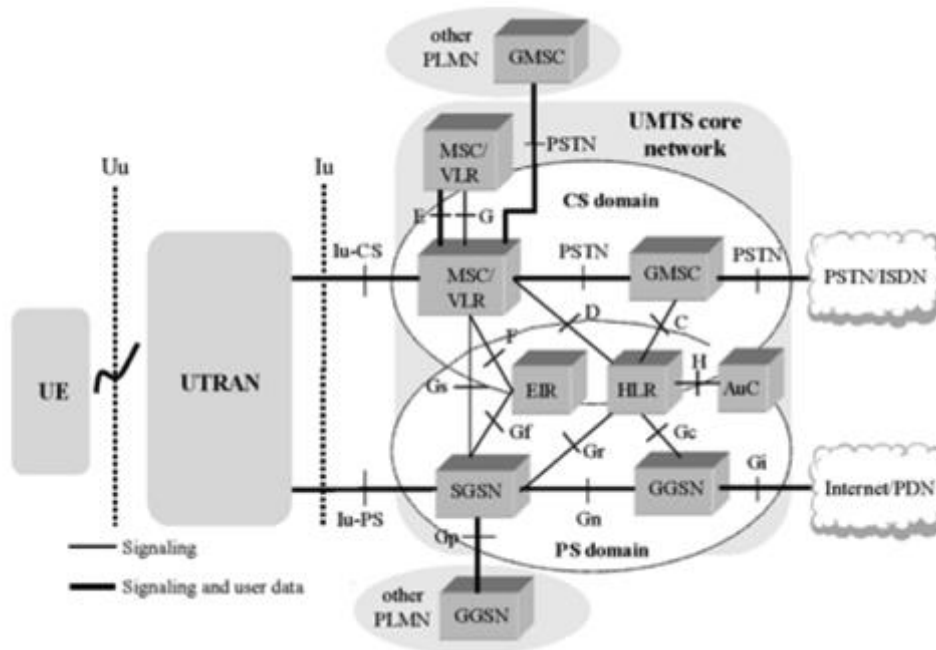


Figura 3 Arquitectura de red UMTS

Fuente: UMTS, Javier Sanchez, Mamadou Thioune, John Wiley & Sons, 2013

1.6.3.5G HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

Esta es tal vez la tecnología con mayor presente en Colombia, ya que es la red que se encuentra en funcionamiento y con mayor cantidad de usuarios.

La principal diferencia con la red inmediatamente anterior es una "actualización" de hardware y software en la estación base. Adicionalmente se presentan unas controladoras de Radio conocida como el RNC.

Para este caso se implementa un nuevo canal HS-DSCH (Nuevo canal de transporte) que permite que puedan compartirse los mismos recursos para los usuarios ubicados en una misma celda.

Esta actualización también permite modulaciones más robustas (hasta 64 QAM) para así garantizar velocidades cercanas a los 42Mbps (Holma, Harri; Toskala, Antti, 2007).

1.7.4G LTE (Long Term Evolution)

Finalmente se llega a la última red mundialmente implementada. LTE llega por el alto impacto que logra:

- La navegación en internet por medio de los UE en las redes anteriores.
- La evolución de los UE que con el paso del tiempo han permitido un mayor procesamiento y optimización de recursos.
- Los diferentes aplicativos que a diario son diseñados para la utilización, entretenimiento aprendizaje y demás.

- El Cloud Computing que ha revolucionado la forma de trabajar.

Todo esto genera entonces que los suscriptores a servicios de banda ancha móvil tengan un crecimiento exponencial referente a los suscriptores de banda ancha fija.

LTE cuenta además con 5 características únicas de esta red, las cuales le permiten lograr velocidades cercanas a los 320 Mbps (en el mejor de los casos). Dentro de estas se encuentran (Campos, 2009):

- **OFDMA:** Acceso para LTE, en donde su principal característica es el ahorro en espectro gracias al uso compartido de recursos de radio. Por medio de este, el sistema de red es capaz de asignar N sub-portadoras a los diferentes usuarios. Dependiendo de ese N variable, es posible establecer una velocidad de conexión para cada usuario presente en el sistema.

En este, las portadoras son ortogonales entre sí, lo que permite que se sobreponga una sobre otra para así obtener un ahorro considerable en espectro. En la Figura 4 se presenta una explicación gráfica del funcionamiento en espectro de las sub-portadoras para OFDMA.

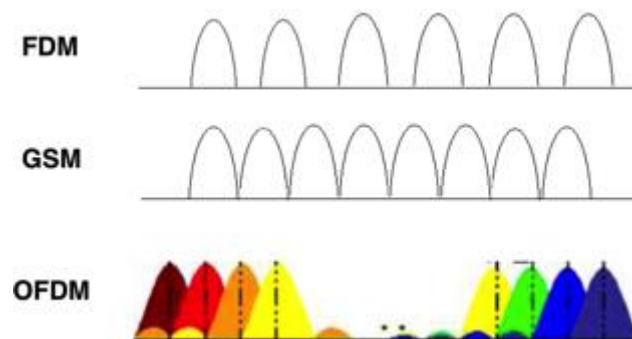


Figura 4 OFDMA

Fuente: Comunicaciones móviles de última generación (Hugo Campos)

- **Beamforming:** Esta característica se presenta como una evolución en los módulos RF en donde por medio de arreglos de antenas se construye una Smart Antenna. Esta es entonces capaz de direccionar siempre el patrón de radiación a medida a que el usuario se desplace.

Con esto se logra una mejora en el área de la cobertura, una menor interferencia con UE cercanos, una mayor velocidad de datos y un menor consumo de potencia para el UE pues el umbral para este será siempre el mínimo. Ver Figura 5 Beamforming

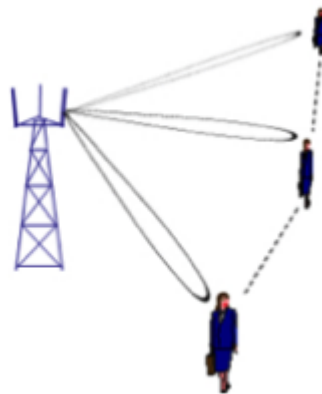


Figura 5 Beamforming

Fuente: Comunicaciones móviles de última generación (Hugo Campos)

- **MIMO:** Forma de transmisión de datos entre el eNB y el UE. Para este se presenta una auto negociación entre las dos partes para determinar qué información se envía por la antena 1 y cual por la 2 (esto si es MIMO 2X2). De igual forma el elemento transmisor conoce que información debe recibir por la antena 1 y cual por la 2. Esto permite entonces mayores velocidades y evitar el desvanecimiento. Ver Figura 6 MIMO 2X2.

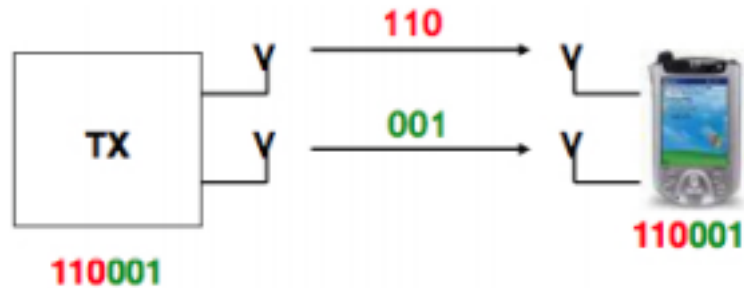


Figura 6 MIMO 2X2.

Fuente: Comunicaciones móviles de última generación (Hugo Campos)

- **SON:** característica de hardware de la red LTE que se encarga del auto configuración, auto-optimización y auto-diagnóstico de la red. Por medio de la auto - configuración, permite un menor tiempo en la puesta de servicios adicionales a la red, la auto optimización permite la modificación de parámetros del eNB dependiendo de la carga que tenga este, y el autodiagnóstico permite prevención y corrección de errores que puedan llegar a presentarse en la red.

La arquitectura para esta red es diferente a la UMTS/HSDPA. En la Figura 7 Arquitectura de red 4G LTE se presenta, en donde se tiene elementos como:

- **eNB:** es la estación base de LTE, se encarga de la comunicación entre la red y los UE. Este elemento presenta procesamiento a diferencia de las redes anteriores, lo que le permite gestionar recursos de radio, controlar la admisión o no de usuarios, auto-negociación de MIMO, QoS y modulación.

- **SGW:** Elemento encargado de gestionar el plano de Usuario. Por medio de este es posible la movilidad entre diferentes eNB, enruta y reenvía los paquetes de usuario.
- **PGW:** Elemento que se encarga de hacer la pasarela con redes externas, por medio de estese realiza la asignación de direcciones IP a los UE, realiza políticas de facturación.
- **PCRF:** Elemento encargado del dinamismo de servicios, por medio de este el operador se encarga de monetizar los servicios además de la continua velicación de la QoS atribuido a cada servicio.

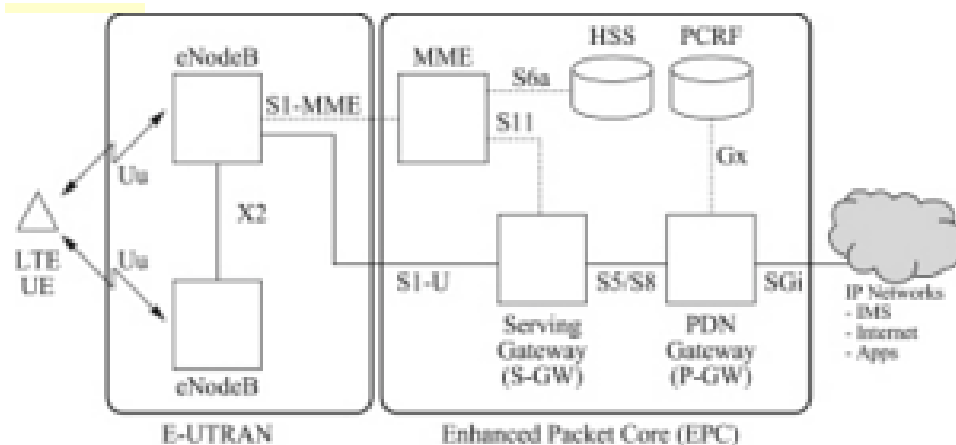


Figura 7 Arquitectura de red 4G LTE

Fuente: LTE Standards, Jean-Gabriel Rémy, Charlotte Letamendia, John Wiley & Sons, 2014

2. Small Cells

Una vez que se tiene claro cómo fue la evolución en la arquitectura de las diferentes redes, es ahora necesario tener presente como esta en este

momento el acceso para estas redes, y en especial en las micro celdas (Eggers & J, 1993).

Las small cells buscan principalmente:

- Maximizar el uso de bandas de frecuencias.
- Optimizar la potencia de Tx de los UE.
- Ofrecer mayor capacidad de TX.

Estos factores han generado entonces que el número de celdas se incremente pero que el cubrimiento de esta se vea reducida; las small cells garantizan altos niveles de calidad ya que en el momento en el que el tamaño de la celda se reduzca, la capacidad disponible es mayor.

Existen 3 divisiones de small cells (Lopez, Valcarce, & De la Roche, 2009).

- Micro celdas
 - Máximo 2 Km de radio.
 - Especiales para dar cobertura a clutter urbanos
- Pico celdas
 - Alrededor de 200 m de radio.
 - Especialmente para dar cobertura a espacios abiertos con alta concentración de personas (ej. Conciertos, estadios, centros comerciales, etc.)
- Femto celdas
 - Alrededor de 10 m de radio.

- Especialmente para dar coberturas a hogares o pequeñas oficinas.
- Soportan hasta 9 UE.

El sistema ideal se obtiene por medio de la unión de las diferentes celdas vistas, ya que las Macro celdas siguen siendo de gran importancia en las redes LTE. La integración de las Macro celdas y las small cells lograrán una mejora muy significativa a los servicios prestados por el operador.

3. Modelos de Propagación

Los modelos de propagación son una serie de expresiones matemáticas y algoritmos usados con el fin de representar las características radio en diferentes ambientes. Básicamente, lo que se busca expresar por medio de estos modelos es una predicción de la perdida por trayectoria que experimenta una señal de radio desde la antena TX hasta la antena RX.

Los diferentes modelos de propagación usados actualmente pueden ser clasificados en (Roig, Valenzuela , & Auusti, 2003) :

Empíricos o estadísticos: Modelos de propagación basados en mediciones experimentales realizadas.

Teóricos o Determinísticos: Modelos de propagación basados en los principios fundamentales de las leyes físicas.

Semi-Empíricos: Modelos de propagación basados en leyes físicas pero que además tiene en cuenta factores de corrección empíricas.

Para cada uno de los diferentes modelos existentes, es importante tener presente tres factores fundamentales como lo son: El ambiente de Propagación (Cobertura indoor u outdoor), cobertura proporcionada por el eNodeB (Macrocela o Microcela) y la obtención de los datos (Empíricos, teóricos o semi-Empíricos).

3.1. Modelo de propagación Okumura

Modelo de propagación empírico, llevado a cabo en la ciudad de Tokyo (Japón), en el que se realizan mediciones sobre señales radio con frecuencias entre los 100 MHz y los 1,92GHz. De estas mediciones, se obtienen un conjunto de curvas que proporcionan la atenuación en el espacio libre, con parámetros elementales como la frecuencia, distancia entre la antena TX y el UE y la altura de las mismas, y factores de corrección para diferentes áreas (Roig, Valenzuela , & Auusti, 2003).

Este modelo se encuentra delimitado para los siguientes rangos de los parámetros previamente mencionados

$f = \text{frecuencia de operación}$

$$450 \text{ MHz} \leq f \leq 900 \text{ MHz}$$

$h_t = \text{Altura de la torre de TX}$

$$30 \text{ m} \leq h_t \leq 1000 \text{ m}$$

$h_{uv} = \text{Altura del UE}$

$$1 \text{ m} \leq h_t \leq 10 \text{ m}$$

$d = \text{Distancia entre la antena TX y el UE}$

$$1 \text{ Km} \leq d \leq 100 \text{ Km}$$

Este modelo de propagación es ideal para ambientes Urbanos y Sub-Urbanos.

3.2. Modelo de propagación Okumura-Hata

El modelo de propagación Hata, también conocido como Okumura-Hata es una continuación del modelo Okumura, en él se realiza un factor de corrección sobre la altura efectiva del UE en función del área de cobertura.

Por lo anterior, este es un modelo Empírico que busca predecir las pérdidas de propagación por medio de la siguiente expresión (Roig, Valenzuela , & Auusti, 2003).

$$L = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_{uv}) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d \text{ [dB]}$$

Ecuación 1 Expresión matemática para el Modelo de propagación Okumura-Hata

Para la Ecuación 1, es necesario tener presente que:

f = frecuencia de operación

$$150 \text{ MHz} \leq f \leq 1500 \text{ MHz}$$

h_t = Altura de la torre de TX

$$30 \text{ m} \leq h_t \leq 200 \text{ m}$$

h_{uv} = Altura del UE

$$1 \text{ m} \leq h_t \leq 10 \text{ m}$$

d = Distancia entre la antena TX y el UE

$$1 \text{ Km} \leq d \leq 20 \text{ Km}$$

El factor de corrección implementado para este modelo está definido por:

$$a(h_{uv}) = \begin{cases} ((1,1 \log f - 0,7)h_{uv} - (1,56 \log f - 0,8)) & \text{Ciudades pequeñas y medianas} \\ 8,29 (\log 1,54 h_{uv})^2 - 1,1 & \text{Grandes Ciudades } f \leq 400 \text{ MHz} \\ 3,2(\log 11,75 h_{uv})^2 - 4,97 & \text{Grandes Ciudades } f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

Este modelo resulta ser muy útil y de gran aplicación a nivel mundial para el cálculo de pérdidas de propagación para ambientes urbanos, para diferentes ambientes será necesario de algunas modificaciones. Este es el modelo de propagación usado para el diseño RAN, ya que es el que ATDI pide implementar en el concurso.

3.3. Atenuación por espacio Libre, Ecuación de Friss

Modelo de propagación en el cual existe línea de vista directa entre la antena TX y Rx, por lo tanto no se presentan obstáculos, pero por diversas condiciones se atenúa la señal recibida, este es un modelo determinista en donde se evidencia que la relación entre la Potencia de TX y la recibida es directamente proporcional a la ganancia de la antena TX y RX, la longitud de onda y la inversa del cuadrado de la distancia entre las antenas. Este modelo no es usado para el cálculo de coberturas para TMC (**Caprile, 2009**).

La expresión que representa este modelo de propagación determinístico se presenta en la Ecuación 2

$$P_r = P_t + G_t + G_r - 20 \log f - 20 \log r + 147,56 \quad [dB]$$

Ecuación 2 Ecuación de Friss

3.4. Modelo de propagación COST-231

Modelo de propagación Semi-Empirico, usualmente utilizado en el diseño RAN de redes TMC usando únicamente Macroceldas con frecuencias de operación que se encuentran entre los 2,0 GHz y los 3,5 GHz (Ardéshir Guran, 1996) .

Se presenta en la expresión matemática para este modelo de propagación

$$L = 46,3 + 33,9 * \log f - 13,82 * \log h_t - a(h_{mv}) + (44,9 - 6,55 * \log h_t) * \log d + C$$

Ecuación 3 Expresión matemática para el Modelo de propagación COST-231

En donde C es el factor de corrección que varía dependiendo de:

C = 0 dB para áreas Suburbanas y medianas ciudades.

C = 3 dB para Ciudades Centrales.

3.5. Modelo de propagación Longley & Rice

Modelo de propagación empírico usado para ambientes rurales y terrenos irregulares, este modelo de propagación permite frecuencias que se encuentran en el rango de los 20 MHz hasta los 20GHz (Marcombo, 2008).

Este modelo es de mayor complejidad que los anteriormente mencionados, ya que adicionalmente para el cálculo de pérdidas usa la teoría de la difracción y la refracción troposférica, por medio de modelos complementarios como es de Fresnel-Kirchoff y Forward Scatter para las pérdidas por difracción y refracción respectivamente.

Algunos parámetros que se deben considerar para este modelo son:

$f = \text{frecuencia de operación}$

$20 \text{ MHz} \leq f \leq 20000 \text{ MHz}$

$P_{tx} = \text{Potencia de TX}$

$10 \text{ nW} \leq P_{tx} \leq 1 \text{ MW}$

$S_{rx} = \text{Sensibilidad del receptor}$

$0,01 \mu V \leq S_{rx} \leq 10 \text{ m}$

$d = \text{Distancia entre la antena TX y el UE}$

$0,1 \text{ Km} \leq d \leq 2 \text{ Km}$

4. ICS Telecom Designer

Es una herramienta de modelado de redes de radio para tecnologías fijas y/o móviles con una gama de frecuencia de los 10 KHz a los 450 GHz, capaz de ser utilizado para las diferentes etapas de la planeación de cualquier tipo de red, tales como el dimensionamiento de infraestructuras, optimización de espectro y red, administración de sistemas, entre otros (ATDI, ATDI).

Específicamente, para el diseño de redes LTE, el software permite la búsqueda y optimización de cada sitio para la ubicación de la estación base, la simulación de cada conexión para cada suscriptor a la mejor eNB teniendo en cuenta su

ubicación y su capacidad de tráfico, planificación de frecuencias y análisis de interferencias, análisis de tráfico. Además permite variar parámetros físicos de los eNB como lo es la altura del mástil, potencias, ganancias, atenuaciones, frecuencias entre otras (Lopez, Valcarce, & De la Roche, 2009).

El funcionamiento de ICS TELECOM consta de la superposición de 7 capas que dan lugar a la creación de cada proyecto, dentro de estas se encuentra capas de gran importancia e indispensables como la capa de vectores (.VEC), cobertura (.FLD), clutter (.SOL), edificios (.BLG) y perfil del terreno (.GEO) (ATDI, ICS Designer Getting Started).

Para el debido funcionamiento, ICS TELECOM requiere de una potente máquina que cumpla con las siguientes características:

- 8Gb de Memoria RAM.
- 500 GB Libres en Disco Duro.
- Acceso a internet
- Procesador x64
- Tarjeta dedicada de video (2GB)
- Windows 7 o 8.



Figura 8 Logo ICS TELECOM

Fuente: <http://www.atdi.co.uk/wp-content/uploads/2011/08/ICS-telecom-new.jpg>

5. Clutter

El termino Clutter hace referencia a el tipo de área generado por una serie de ecos (no deseados) obtenidos de señales de Radio Frecuencia y que son causados por el perfil del terreno del área de estudio, por ejemplo obras civiles, lagos, ríos árboles, etc.... Existen diferentes Clutters, pero los principales y de mayor importancia a la hora de la planeación de una red TMC (Villalobos, Ortega, & Andrade, 2010):

5.1. Urbano

Área en el que se presenta alta concentración de obras civiles, principalmente edificios, centros de convenciones, estadios, centros comerciales y demás estructuras arquitectónicas que se encuentran no mas que 40 metros de altura.

5.2. Urbano Denso

Área en el que se presenta una mayor concentración de estructuras arquitectónicas que en Urbano, en este caso los edificios, centros de convenciones, estadios, centros comerciales y demás estructuras arquitectónicas que se encuentran por encima de los 40 metros de altura.

5.3. Urbano Denso

Área residencial en donde no se presentan ningún tipo de estructura arquitectónica que supere los 15 metros de altura. Se presentan para este tipo de área, vegetación sin mucha concentración.

5.4. Rural

Área Abierta en el que no se presenta ninguna estructura arquitectónica, salvo puentes y carreteras, tiene alta densidad de vegetación, ríos y lagunas.

En la Figura 9 se observan los diferentes Clutters presentes en la región de estudio



Figura 9 Clutter presentes en el área de estudio para la realización de diseño de red, París.

Fuente: Cartografía BING Maps de la Ciudad de París Suministrada por ATDI para la realización del proyecto, el formato de la misma es para uso exclusivo con los programas de Diseño realizados por ATDI.

6. Link Budget

El link Budget o presupuesto del enlace busca especificar la cobertura crítica que se obtiene para una radio estación, el cual debe ser calculado para Uplink y Downlink, teniendo presente el tipo de servicio y la velocidad de bits por segundo (bps) para el servicio a prestar (voz o navegación). La parametrización del mismo

se encuentra determinado por diversos factores que se ven especificados tanto por la tecnología de implementación y las cualidades del terreno de la región de estudio (Qualcomm, 2009).

Referente a las especificaciones de la tecnología, para LTE, es indispensable factores como modo de Duplexación (FDD, TDD), Frecuencia (UL y DL), Figura de ruido de la estación, Figura de ruido del UE, Modelo de propagación, Ganancia de la antena y pérdidas por cable, Potencias de la estación y del UE, entre otros.

Referente a las características del terreno, se tiene presente los Clutter's mencionados en el numeral anterior.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Este proyecto de grado tiene como objeto la realización de una propuesta de diseño de la red de acceso para datos LTE en una región específica de París, para esto, se utiliza una metodología práctica, en donde por medio de la utilización de un macro de Excel (Proporcionada por el ingeniero Hugo Campos Polo) se calculó la cobertura de los eNodeB, en el que dependerá el tipo de Clutter, el perfil del terreno, la cantidad de usuarios, la potencia de la estación, entre otros, para así pasar al estudio del terreno y escoger el mejor lugar por la morfología del terreno y por medio de Google Earth conseguir las coordenadas exactas, para que finalmente sea ubicada en la herramienta de diseño ICS Telecom Designer y así realizar una simulación final para todos los eNodeB.

Es importante tener presente que las licencias de los tres software utilizados para la realización del proyectos fueron adquiridas legalmente, en donde:

Microsoft Excel: Licencia adquirida por compra directa en ishop Colombia, producto adquirido **MS Office Mac Home Student 2011 Spanish**.

Google Earth: Licencia adquirida gratuitamente desde la página oficial <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

ICS Telecom Designer: Licencia de prueba adquirida por ATDI, en donde se proporciona una licencia FULL con validez hasta el mes de Julio del 2014.

1. Recursos

1.1 Recursos Físicos: Se relaciona en la **Tabla 1** los recursos físicos utilizados para la realización del proyecto:

Elemento	Modelo	Especificaciones
Computador	MacBook Pro 13' 2012	Procesador: 2,5 GHz Intel Core i5
		Memoria: 4 GB 1600 MHz DDR3
		Gráficos: Intel HD Graphics 4000, 1024 MB
		Almacenamiento: Disco Sata 500 GB
Computador	Asus	Procesador: 2,5 GHz Intel Core i7
		Memoria: 8Gb 1600 MHz DDR3
		Gráficos:
		Almacenamiento: Disco Sata 1 TB

Tabla 1 Recursos Físicos

1.2 Recursos de Software: Se relaciona en la **Tabla 2**, los recursos de Software utilizados para la realización del proyecto:

Software	Detalle	Licencia
Google Earth	Software de mapas	Adquirida gratuitamente desde la pagina web oficial de Google Earth: https://www.google.es/intl/es/earth/index.html
Microsoft Excel	Software para manejo de hojas de calculo.	Adquirida por compra directa, el producto comprado es MS Office Mac Home Student 2011 Spanish.
ICS Telecom Designer	Software de diseño de redes de comunicaciones inalámbricas	Adquirida por medio de ATDI, con duración por 5 meses (licencia a partir desde febrero.

Tabla 2 Recursos de Software

2. Calculo de cobertura.

Por medio de la utilización de un archivo Macro de Excel, se procede a realizar el cálculo general de cobertura para las estaciones Macro y Micro teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Parámetros fijos:
 - Perfil del terreno del área de estudio.
 - Modelo de propagación Okumura Hata.
 - Troughput mínimo de 2Mbps.
 - Topología de la antena de Transmisión.
 - MIMO 2X2
 - Diversidad de espacio.
 - Potencia disipada del terminal.
 - Figura de ruido del eNB (Radio estación LTE).
 - Figura de ruido del User Equipment (UE).
 - Perdidas por cable.
 - Márgenes de penetración por Clutter.
 - Altura, ganancia y potencia del UE
- Parámetros variables:
 - Frecuencia de operación (teniendo disponible la banda de 800 MHz y la de 2.5GHz).
 - Modo de duplexación.
 - Ganancia de la antena.
 - Potencia disipada del eNB.
 - Altura de la torre (máximo 40 m).

Como primer medida, es importante tener presente que las variables fijas imposibilitará realizar modificaciones sobre el diseño, mientras que los parámetros variables permitirán realizar modificaciones sobre el diseño para así garantizar la cobertura y el Troughput requerido.

2.1 Especificación de las variables

2.1.1 Parámetros fijos:

- **Perfil del Terreno:** Son las características físicas del terreno, y por lo tanto son inmodificables, ya que se contemplan fallas geológicas, vegetación, etc. Estas características se obtienen desde la cartografía (BingMaps, 4m de Resolución) cargada en ICS Telecom y el Google Earth.
- **Modelo de propagación:** Una de las características esenciales propuestas por ATDI en la realización del diseño es el modelo de propagación Okumura-Hata, este modelo consiste en los datos de pérdidas de propagación de Okumura para los diferentes Clutters presentes, en el cual se deben tener las siguientes características: (Ver Tabla 3 Consideraciones del modelo de propagación Okumura – Hata)

Consideración	Mínimo	Máximo
Frecuencia	150 MHz	1,5 GHz
Altura del eNodeB	30 m	200 m
Altura del UE	1 m	10 m

Tabla 3 Consideraciones del modelo de propagación Okumura – Hata

- **Troughput mínimo:** Una de las condiciones que se exigen por parte de ATDI para el diseño, es que en el peor de los casos se le garantice a los usuarios de borde (usuarios con peor calidad de recursos de red) una

velocidad mínima de 2 Mbps, esto se garantizará gracias al cálculo del Link Budget, ya que es una variable esencial a la hora del cálculo y que tiene implícitamente variables como la cantidad de usuarios por estación y la morfología del terreno.

- **Topología de la antena Transmisora:** Para este parámetro se debe hacer uso de:
 - **Diversidad de espacio:** La diversidad de espacio permite mayor veracidad y seguridad de la información recibida, ya que por medio de la implementación de un segundo módulo RF (Radio Frecuencia), es posible radio receptar la información suministrada por el UE. La información que llega por las dos guías de onda es tratada por un multiplexor para obtener la misma señal enviada. En la Figura 10 Diversidad de espacio , se observa como es el concepto de funcionamiento de la diversidad de espacio.

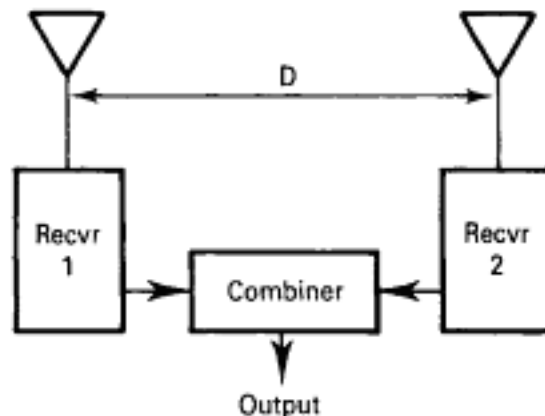


Figura 10 Diversidad de espacio

Fuente: Fundamentals of Telecommunications, Roger L. Freeman, John Wiley & Sons, 2005, Pag 466

- **MIMO 2X2:** Como se mencionó en la sección **Marco Teórico, 1. Generaciones de Red, 1.7 LTE**, MIMO es una de las 5 características únicas de las redes 4G LTE, esta permite entonces, según la necesidad que quiera cubrir el operador, garantizar mayor velocidad proporcionando recepción por separado por medio de cada una de las antenas RX o mayor seguridad en la información proporcionando que cada una de las dos antenas (en este caso) reciba la misma información transmitida por el UE.
- **Potencia disipada por el UE:** Este parámetro es fijo, ya que es el valor para el peor de los casos para un UE Clase 2 (se toman los UE Clase 2, ya que estos son los de menor clase que soportan MIMO 2X2). □ La potencia típica disipada por un teléfono móvil se encuentra alrededor de los 500 mW.
- **Perdidas por cable:** Para este parámetro, es posible obtener dos únicos valores, los cuales serán importantes dependiendo del tipo de infraestructura a utilizar, ya que si:
 - **Infraestructura $15 < h < 40$:** Se toman perdidas por cable entre la base y el Jumper (2,0 dB) y entre el jumper y el modulo RF (0,5 dB).
 - **Infraestructura $h < 15$:** Únicamente se tienen perdidas entre el jumper y el modulo RF (0,5 dB).

2.1.2 Parámetros Variables:

- **Frecuencia de Operación:** Para este parámetro, es posible, escoger dentro de las 2 bandas de frecuencias disponibles para el concurso, para este caso y como primer decisión del diseño se escoge la banda de 800 MHz, ya que con esta se obtendrá (teniendo presente que los

parámetros sean exactamente igual para todas las estaciones a implementar) mayor cobertura y por lo tanto un número menor de eNodeB.

- **Modo de Duplexación:** Como se especificó anteriormente para LTE se cuenta con los modos de Duplexación FDD y TDD, para este caso de diseño se utilizará FDD, ya que por medio de este se garantiza velocidades superiores que TDD, además de que mundialmente es el más usado.
- **Ganancia de la antena:** Los equipos elegidos para la conformación del eNodeB son NSN (Nokia Solutions Networks), por lo tanto el modulo RF a utilizar en todas las estaciones será Flexi Multiradio Active Antenna System con ganancia (proporcionada por el fabricante) de 16 dBi.
- **Altura de la Torre:** Dependerá de las condiciones del terreno y de la necesidad en la elaboración del diseño. Por condiciones del concurso esta altura no puede sobrepasar los 40 metros.

2.2 Planificación de Frecuencias.

Para el presente Diseño se tendrán en cuenta las siguientes características:

- Tipo de duplexación: FDD
- Subportadoras de 15 KHz
- Resource Block de 180 KHz (12 Subportadoras)
- Ancho de banda de cada Subportadora: 10 MHz
- 50 Resource Block
- 4200 Resource Elements
- Modulación 64 QAM (6 Bit por Símbolo)
- Prefijo Cíclico: Celda Normal (7 Símbolos por Slot)
- MIMO 2X2

- 25% de Señalización (PDCCH, señal de referencia, señal de sincronismo, PBCH)

Estas características permitirá, para el mejor de los casos (sin tener en cuenta las pérdidas de propagación, entre otras) obtener un Bit Rate de:

$$\#de\ Bits = \#Simbolos\ por\ Slot * \# \frac{Bits}{Simbolo} * \#Subportadoras$$

$$\#de\ Bits = 504$$

$$\#de\ Bits\ en\ 2\ Slots = \#de\ Bits * 2$$

$$\#de\ Bits\ en\ 2\ Slots = 1008$$

$$\#de\ Bits\ en\ 10Mhz = \#de\ Bits\ en\ 2\ Slots * 50$$

$$\#de\ Bits\ en\ 10Mhz = 50400$$

$$BitRate = \frac{\#de\ Bits\ en\ 10Mhz}{1ms}$$

$$BitRate = 50,4Mbps$$

$$BitRate(MIMO\ 2X2) = 50,4Mbps * 2$$

$$BitRate(MIMO\ 2X2) = 100,8\ Mbps$$

$$BitRate = 100,8\ Mbps * 75\%$$

$$\mathbf{BitRate = 75,6\ Mbps}$$

2.3 Calculo ideal de cobertura (Link Budget).

Teniendo en cuenta que los parámetros anteriormente mencionados, la topología del terreno, la cantidad de usuarios y las condiciones locativas de la ciudad impiden que se generen parámetros y coberturas iguales para la totalidad del terreno, se realiza para el diseño el cálculo de cobertura para el peor de los casos, y así garantizar el troghput solicitado en los eNodeB a implementar.

Para esto, tal y como se mencionó en Calculo de cobertura. Por medio de la utilización de un archivo macro de Excel se realiza el cálculo para los diferentes Clutters garantizando las exigencias mínimas de cobertura y de velocidad.

Para evitar inconvenientes a los usuarios de borde de celda cuando dos o más eNodeB presenten coberturas solapadas por el cálculo realizado, se habilita el feature de LTE, ICIC (Inter-cell Interference Coordination) el cual se encarga de evitar interferencias a nivel de subtrama, ya que este permite el intercambio de información sobre las subportadoras a utilizar en cada uno de los eNodeB.

Se realiza el cálculo de cobertura por medio del archivo Macro de Excel, teniendo presente los parámetros mencionados en Especificación de las variables.

En la Figura 11 Parámetros dependientes de la frecuencia (Archivo Macro Excel) se observa la interfaz de la herramienta utilizada para el cálculo de la cobertura, en donde se establecen los parámetros que dependerán principalmente de la frecuencia a utilizar.

Duplex Mode	FDD
Frequency Band	800 MHz
Bandwidth	10.0 MHz

50 FIB

Frequency Band Dependent Parameters																	
Frequency band (MHz)	FDD Band	TDD Band	UL Frequency	DL Frequency	FDD eNodeB Noise Figure	TDD eNodeB Noise Figure	UE Noise Figure	Propagation Model		3-sector Antenna Gain	Cable Losses (Tower PF Model)	Cable Losses (Base PF Model)	Penetration Margin				
								DL_U	DL_DL				Dense Urban	Urban	Suburban n Indoor	Suburban n Rural	Rural
400 MHz	PMR 1		307.5 MHz	307.5 MHz	4.0 dB	4.0 dB	4.0 dB	Hata	Hata	12.0 dB	12.0 dB	12.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB
700 MHz	N		700.0 MHz	700.0 MHz	4.0 dB	4.0 dB	4.0 dB	Hata	Hata	12.0 dB	12.0 dB	12.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB	18.0 dB
800 MHz	1		825.0 MHz	867.5 MHz	2.1 dB	2.1 dB	4.0 dB	Hata	Hata	16.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	17.0 dB	14.0 dB	11.0 dB	9.0 dB	9.0 dB
900 MHz	4		875.0 MHz	914.0 MHz	2.1 dB	2.1 dB	4.0 dB	Hata	Hata	12.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
900 MHz	8		867.5 MHz	914.0 MHz	2.1 dB	2.1 dB	4.0 dB	Hata	Hata	12.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
1800 MHz	3		1710.0 MHz	1845.0 MHz	2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
1800 MHz	2	33	1800.0 MHz	1845.0 MHz	2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
AvS	4		1710.0 MHz	1845.0 MHz	2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
2000 MHz		34			2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
2300 MHz	1		1800.0 MHz	1940.0 MHz	2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
2300 MHz		40			2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
2600 MHz	7	37	2520.0 MHz	2655.0 MHz	2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB
2600 MHz		42			2.5 dB	2.5 dB	4.0 dB	CC07-20	CC07-20	10.0 dB	0.5 dB	2.0 dB	18.0 dB	15.0 dB	12.0 dB	10.0 dB	10.0 dB

Figura 11 Parámetros dependientes de la frecuencia (Archivo Macro Excel)

Como primer medida y como se mencionó en 2.1.2 Parámetros Variables: se realiza el diseño bajo el modo de duplexación FDD, en la banda de 800 MHz y con un ancho de banda de cada Sub portadora de 10 MHz.

Teniendo en cuenta lo anterior, la herramienta proporciona la información pertinente a la banda a utilizar, y las frecuencias de UL y DL, las cuales se encuentran en Tabla 4 Consideraciones de parámetros dependientes de la frecuencia.

Banda FDD	18
Frecuencia Up Link	822,5 MHz
Frecuencia Down Link	867,5 MHz

Tabla 4 Consideraciones de parámetros dependientes de la frecuencia.

Una vez que se tienen las frecuencias de operación tanto para UL como para DL, es posible realizar el cálculo de Link Budget para Uplink por medio de la utilización del programa MACRO de Excel, en el cual se tiene presente la ecuación del modelo de propagación Okumura Hata con el factor de corrección para grandes ciudades con frecuencias superiores a los 400 MHz

$$L = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t - 3,2(\log 11,75 h_{uv})^2 - 4,97 + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d \text{ [dB]}$$

Ecuación 4 Ecuación Modelo de propagación Okumura Hata con factor de corrección para Grandes ciudades con frecuencias superiores de 400MHz

2.3.1 Calculo Link Budget para Uplink

Es importante tener presente parámetros del UE y del eNodeB, por esto en la Tabla 5 se observan los parámetros a utilizar para el cálculo del Link Budget para Uplink:

Parámetro	UE (TX)	eNodeB (RX)
Potencia	27 dBm	-
Ganancia Antena TX	0 dBi	-
Figura de Ruido	-	2,1 dB
Ruido del receptor	-	(-) 116 dBm
Ruido Térmico	-	(-) 118 dBm
Sensibilidad del Modulo	-	(-)123.4 dBm
Perdidas por cable	-	2,5 dB
Ganancia Antena RX	-	16 dBi

Tabla 5 Parámetros para el cálculo del Link Budget en UpLink.

Con estos parámetros, es ahora posible realizar el dimensionamiento de cobertura para cada eNodeB, adicionalmente es importante tener presente que actualmente, se realiza el cálculo de cobertura sobre en enlace de UpLink, ya que resulta más económico tanto para fabricantes de UE como para el usuario dejar el amplificador de señal recibida en el eNodeB.

Se muestra a continuación (Ver Tabla 6 Tabla de Cobertura Up Link por eNodeB.) el resultado de cobertura para cada Clutter en kilómetros, hallado tras parametrizar la herramienta MACRO de Excel con la información presente en Tabla 5 Parámetros para el cálculo del Link Budget en UpLink.

Clutter	Cobertura (Km)
Urbano Denso	1,58
Urbano	2,52
Sub-Urbano Indoor	5,52
Rural	15

Tabla 6 Tabla de Cobertura Up Link por eNodeB.

Con los resultados obtenidos, es ahora posible realizar el dimensionamiento final de la red 4G, adicional a esta cobertura, es importante tener presente la cantidad de usuarios por zonas tal y como se evidencia en Figura 12 Masificación de Usuarios obtenida de una base de datos proporcionada de ATDI, en donde se obtienen 8 zonas con cantidad alta, media y baja de abonados, esta información se encuentra cuantificada por la tarificación generada de los NodeB presentes de HSPA+.



Figura 12 Masificación de Usuarios.

La Figura 12 permite tener presente en que zonas es necesario establecer una mayor cantidad de eNodeB debido a la demanda presentada por la cantidad de usuarios presentes. Para estos casos es posible disminuir la potencia del eNodeB, lo que generará una disminución en cobertura y una mayor cantidad de estaciones. Tal y como se mencionó anteriormente, se implementa el feature de ICIC, el cual evita cualquier tipo de interferencia entre usuarios de borde de celda.

3. Ubicación de los eNodeB.

Para tener un acercamiento real de la zona en el cual se realizará la integración de los diferentes eNodeB, se utiliza el programa Street View de Google Earth, Mediante este se verifica la pre factibilidad de la ubicación de las diferentes estaciones. El cuadro en rojo indicara la ubicación del eNodeB.

La ubicación de cada una de las estaciones se tomó teniendo presente la demanda presentada en las diferentes zonas y la infraestructura presente en la tecnología HSDPA y anteriores, suministrada en una base de datos por ATDI, adicionalmente, es importante tener presente que dentro de las especificaciones del concurso, ATDI expone que es transparente para el diseño tener en sitio carrier, ya que este punto puede ser tratado con diferentes alternativas de solución.

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-001	Macro Cell	48°53'43.88"N	2°16'28.27"E	- Alta densidad de edificios. - Muy alta densidad de Población - eNodeB ubicada en Terraza. - Baja Vegetación

Tabla 7 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-001



Figura 13 Panorámica de eNodeB FRC-001

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-002	Micro Cell	48°53'41.93"N	2°17'17.28"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación

Tabla 8 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-002



Figura 14 Panorámica de eNodeB FRC-002

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-003	Macro Cell	48°53'4.51"N	2°16'50.88"E	• Alta densidad de edificios. • Muy Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en Terraza. • Alta Vegetación

Tabla 9 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-003



Figura 15 Panorámica de eNodeB FRC-003

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-004	Micro Cell	48°52'56.39"N	2°17'57.21"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en poste. • Muy baja vegetación

Tabla 10 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-004



Figura 16 Panorámica de eNodeB FRC-004

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-005	Micro Cell	48°52'27.38"N	2°17'15.73"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de Población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación

Tabla 11 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-005



Figura 17 Panorámica de eNodeB FRC-005

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-006	Macro Cell	48°53'47.02"N	2°18'17.86"E	• Baja densidad de edificios. • Muy Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en Terraza. • Alta Vegetación • Ubicada en zona industrial.

Tabla 12 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-006



Figura 18 Panorámica de eNodeB FRC-006

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-007	Micro Cell	48°52'52.36"N	2°17'22.60"E	• Densidad media de edificios. • Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación

Tabla 13 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-007



Figura 19 Panorámica de eNodeB FRC-007

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-008	Macro Cell	48°53'12.77"N	2°18'41.54"E	• Densidad media de edificios. • Alta densidad de Población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación

Tabla 14 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-008



Figura 20 Panorámica de eNodeB FRC-008

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-009	Macro Cell	48°52'44.70"N	2°18'39.50"E	• Baja densidad de edificios. • Muy alta densidad de población • eNodeB ubicada en piso. • Alta Vegetación

Tabla 15 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-009



Figura 21 Panorámica de eNodeB FRC-009

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-010	Micro Cell	48°53'56.80"N	2°19'19.49"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 16 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-010

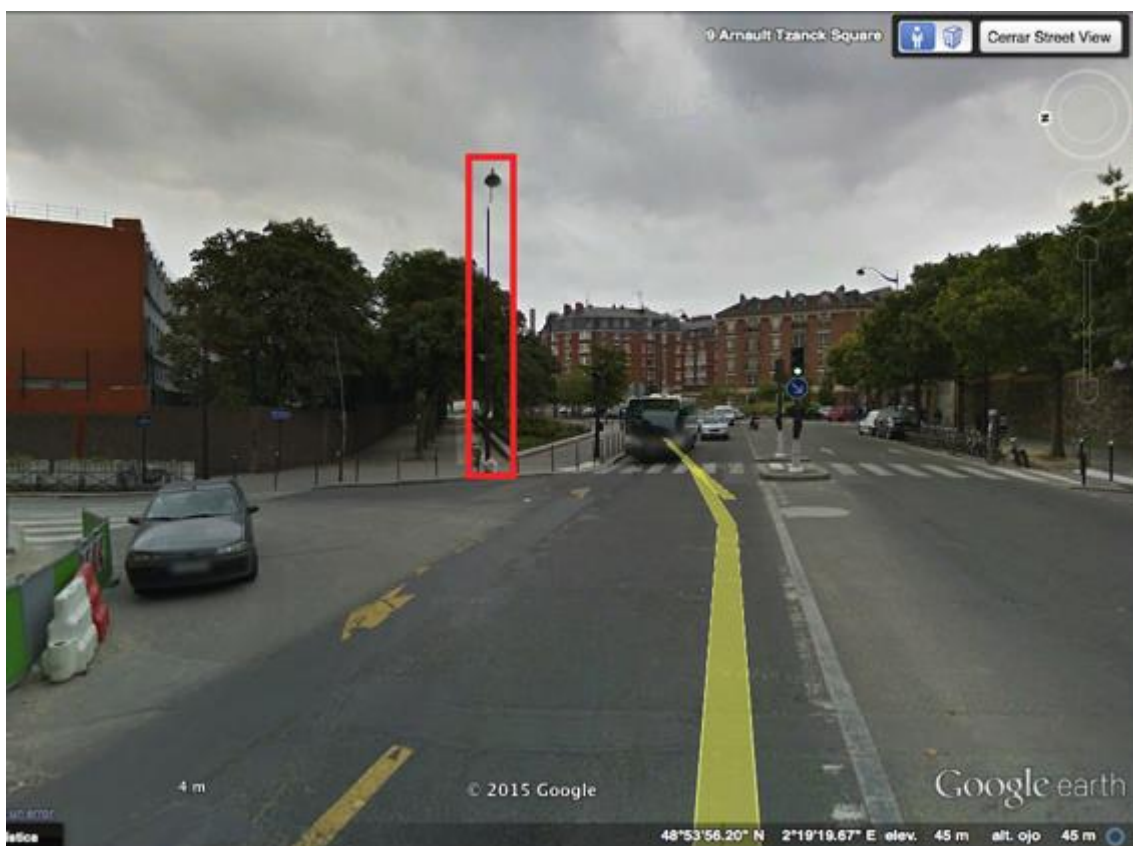


Figura 22 Panorámica de eNodeB FRC-010

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-011	Micro Cell	48°53'47.65"N	2°20'18.86"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 17 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-011



Figura 23 Panorámica de eNodeB FRC-011

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-012	Micro Cell	48°54'27.83"N	2°21'28.69"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 18 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-012

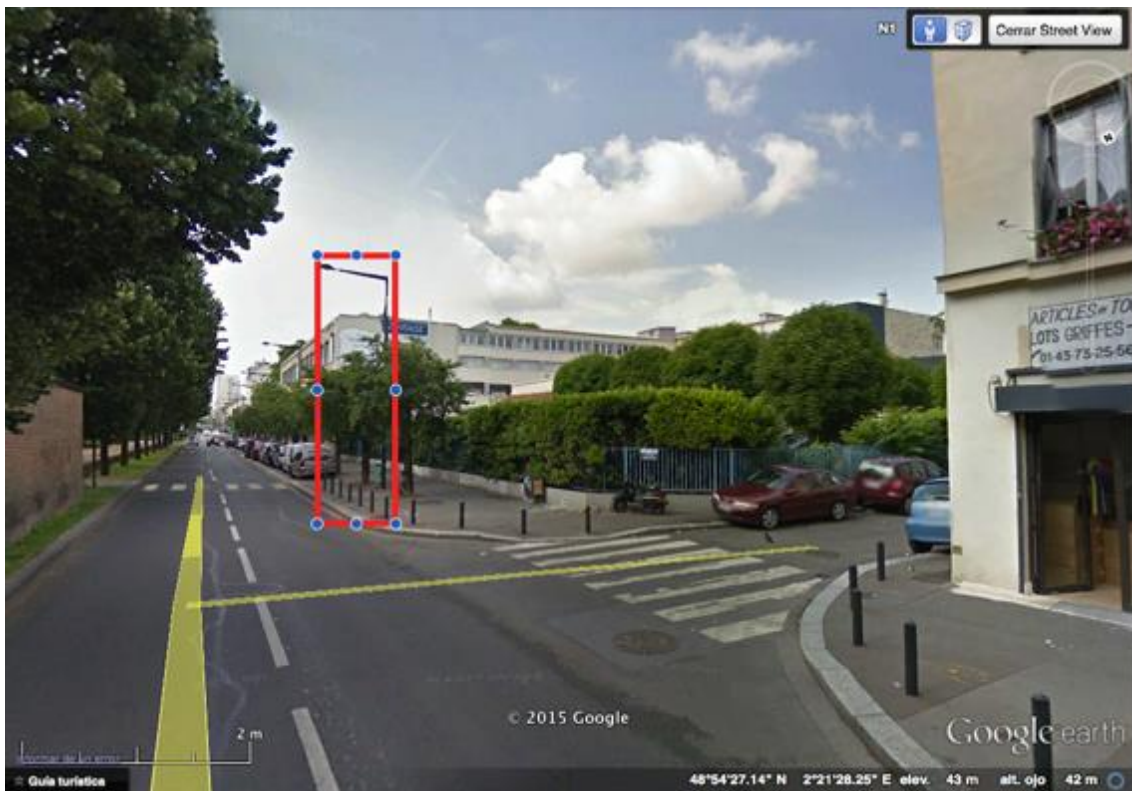


Figura 24 Panorámica de eNodeB FRC-012

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-013	Macro Cell	48°54'47.20"N	2°20'33.32"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en torre. • Alta vegetación. • Ubicado cerca de un centro comercial.

Tabla 19 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-013



Figura 25 Panorámica de eNodeB FRC-013

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-014	Micro Cell	48°53'35.09"N	2°21'36.71"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 20 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-014



Figura 26 Panorámica de eNodeB FRC-014

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-015	Micro Cell	48°53'32.49"N	2°19'42.02"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 21 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-015



Figura 27 Panorámica de eNodeB FRC-014

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-016	Macro Cell	48°53'24.59"N	2°20'26.91"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Sin vegetación.

Tabla 22 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-016

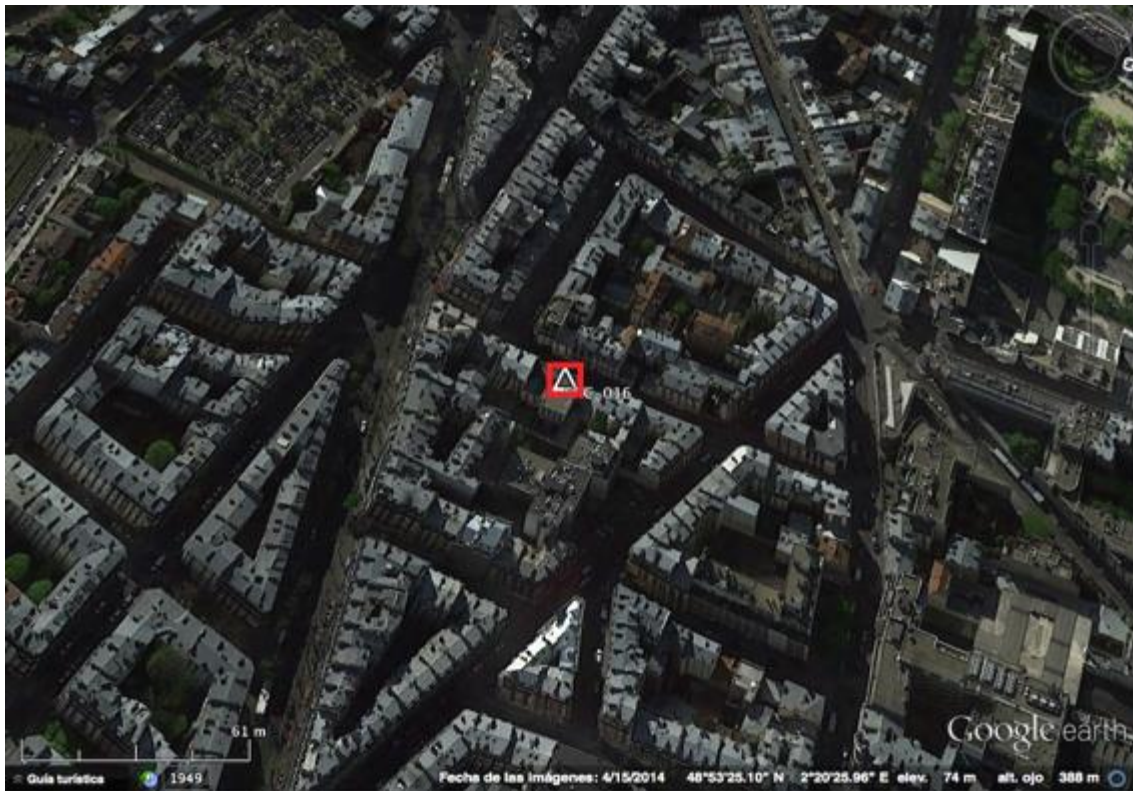


Figura 28 Panorámica de eNodeB FRC-016

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-017	Micro Cell	48°53'14.52"N	2°20'0.66"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 23 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-017



Figura 29 Panorámica de eNodeB FRC-017

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-018	Macro Cell	48°53'3.59"N	2°19'31.19"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en torre. • Baja vegetación.

Tabla 24 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-018



Figura 30 Panorámica de eNodeB FRC-018

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-019	Macro Cell	48°53'13.14"N	2°20'46.11"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en torre. • Alta vegetación.

Tabla 25 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-019

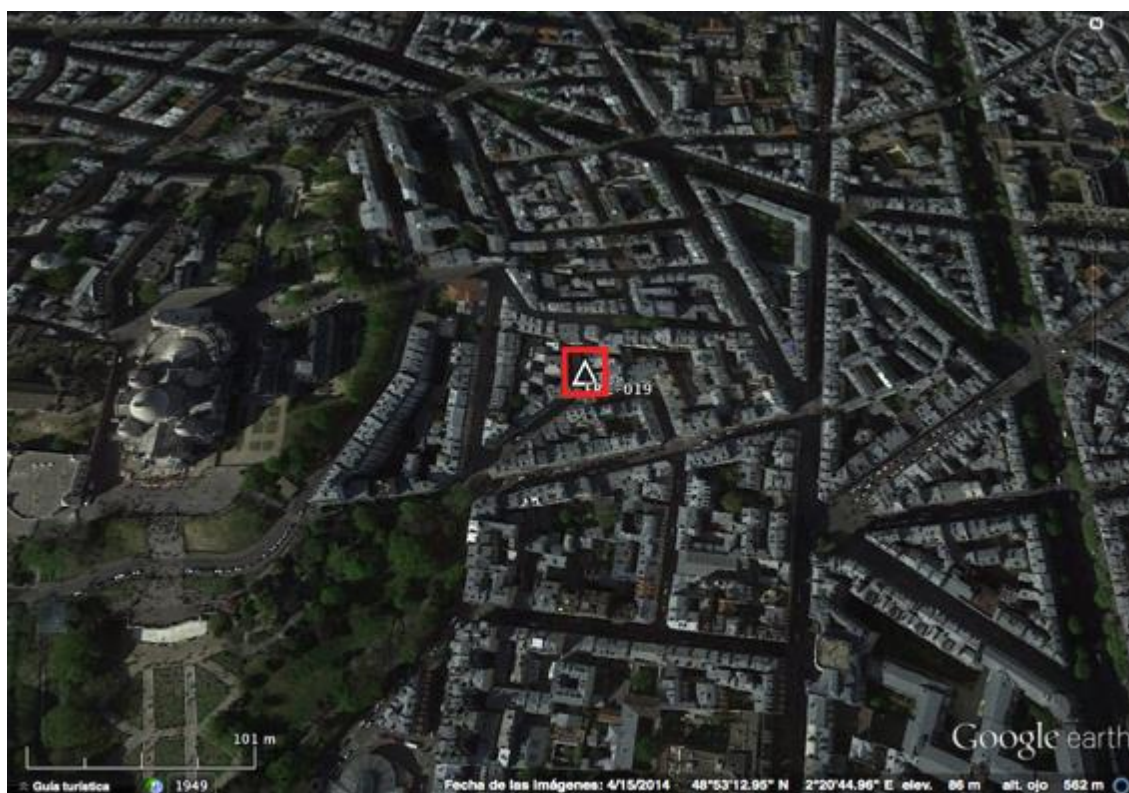


Figura 31 Panorámica de eNodeB FRC-019

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-020	Micro Cell	48°53'3.46"N	2°20'19.43"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 26 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-020



Figura 32 Panorámica de eNodeB FRC-020

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-021	Macro Cell	48°52'52.82"N	2°19'59.36"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 27 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-021

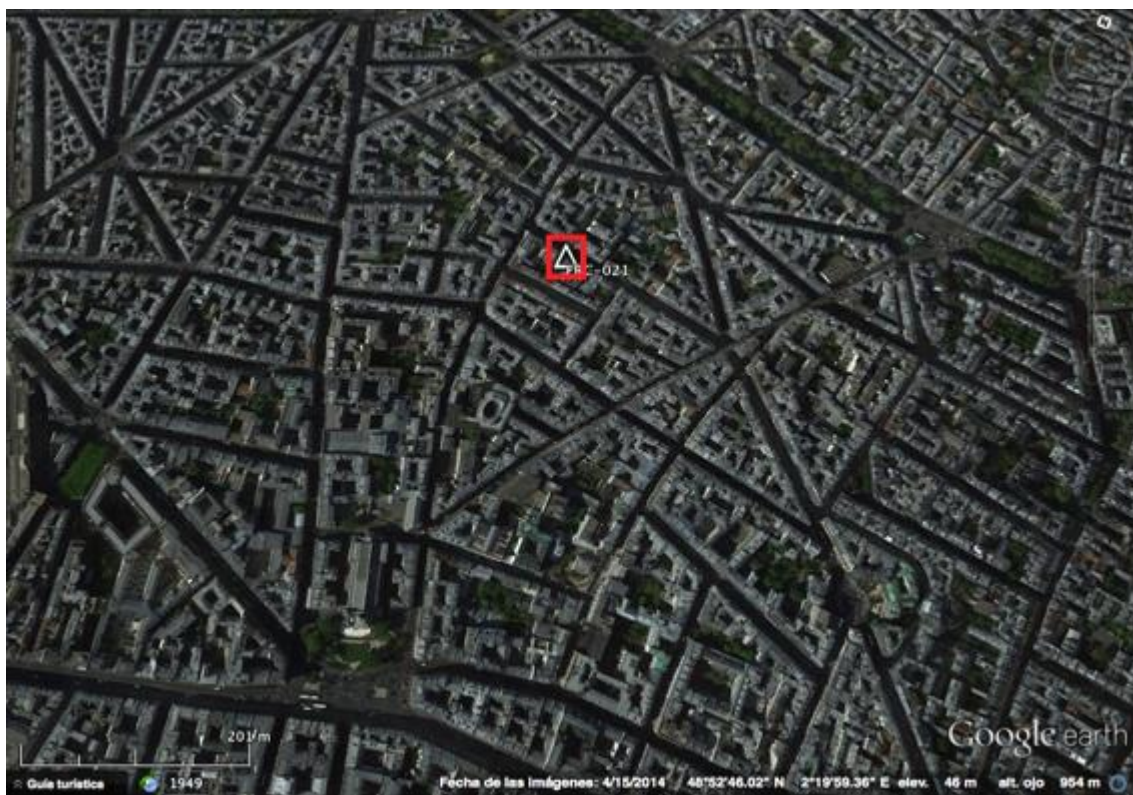


Figura 33 Panorámica de eNodeB FRC-021

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-022	Macro Cell	48°52'43.56"N	2°19'27.26"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en torre. • Baja vegetación.

Tabla 28 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-022

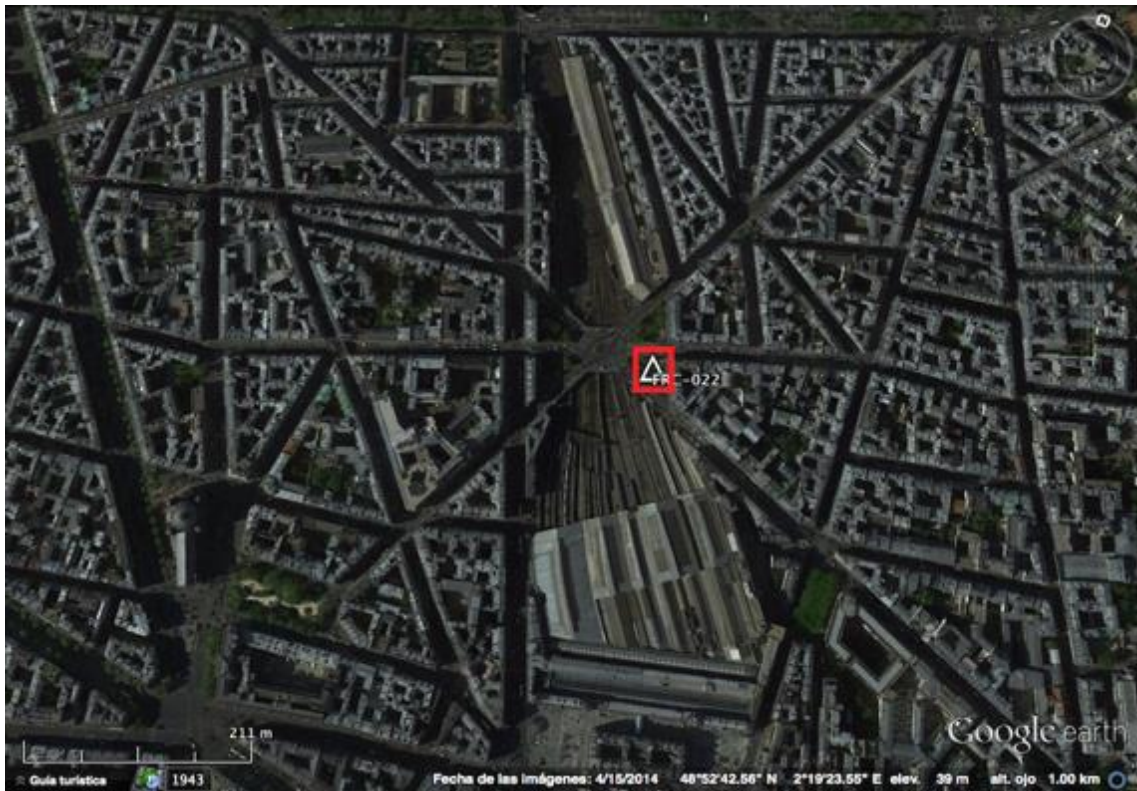


Figura 34 Panorámica de eNodeB FRC-022

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-023	Micro Cell	48°52'31.63"N	2°19'4.58"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación

Tabla 29 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-023



Figura 35 Panorámica de eNodeB FRC-023

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-024	Macro Cell	48°52'22.69"N	2°18'28.60"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 30 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-024

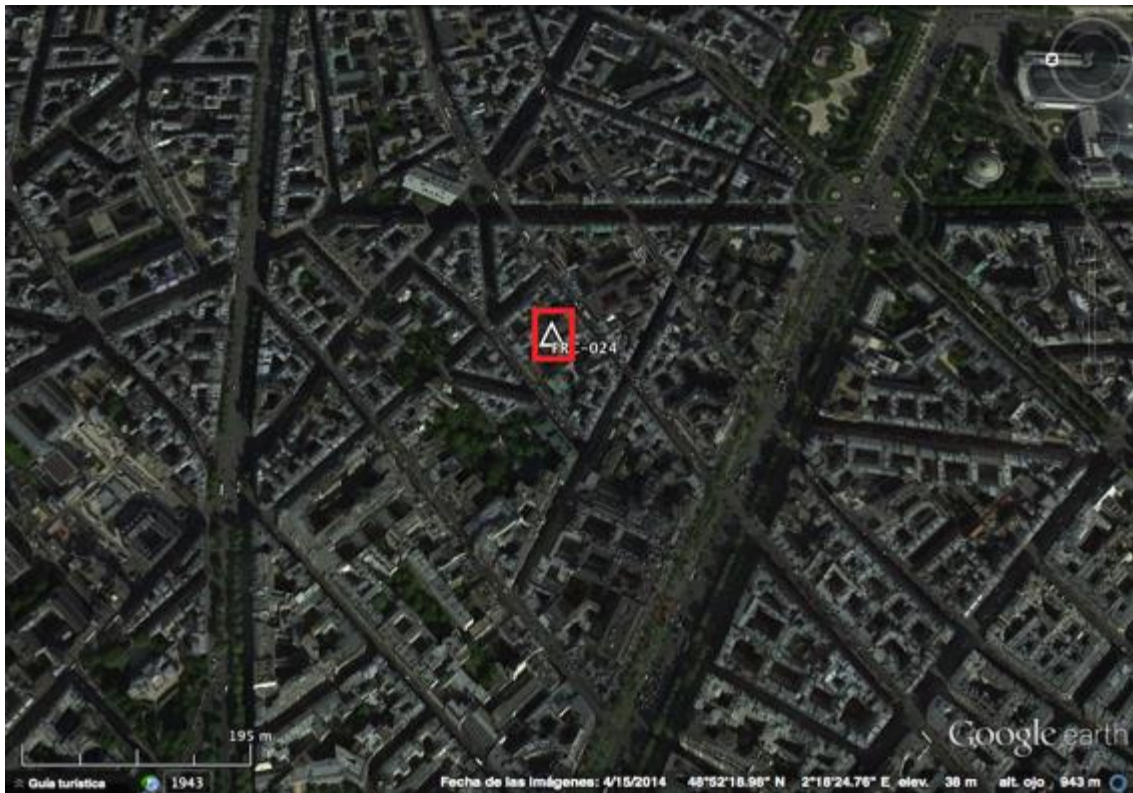


Figura 36 Panorámica de eNodeB FRC-024

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-025	Macro Cell	48°52'17.97"N	2°17'55.99"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 31 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-025

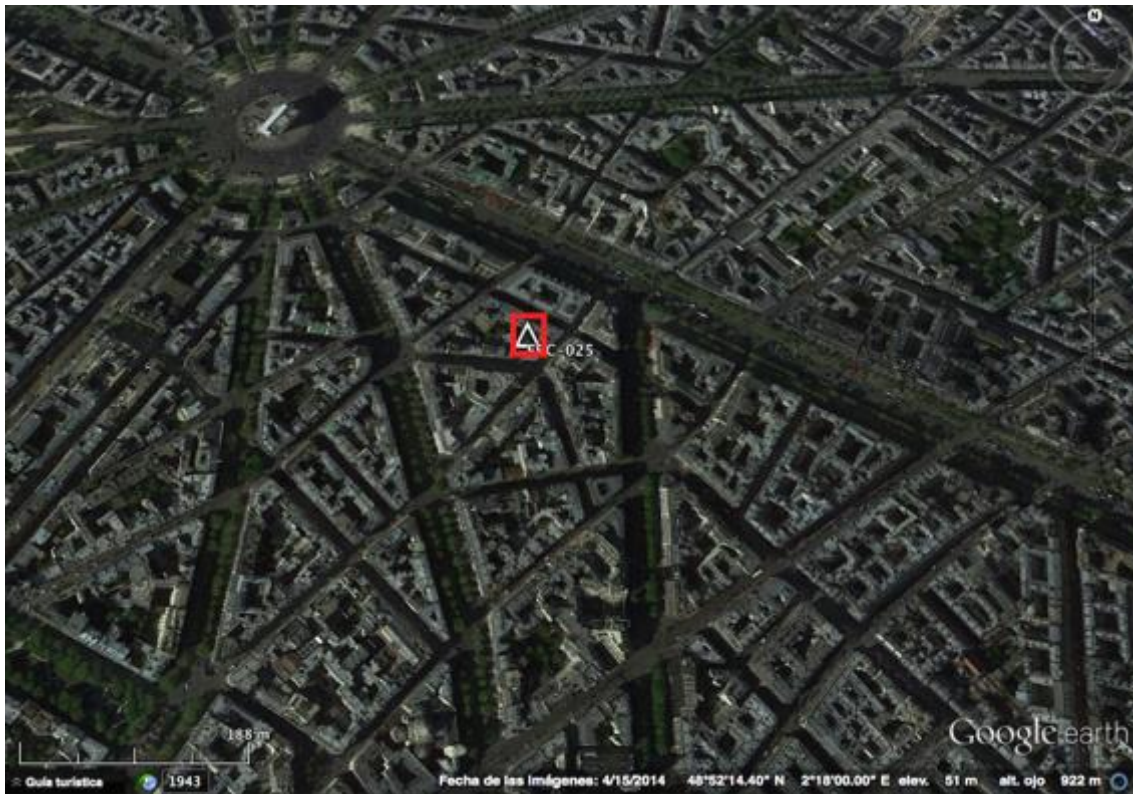


Figura 37 Panorámica de eNodeB FRC-025

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-026	Micro Cell	48°52'8.11"N	2°17'31.64"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 32 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-026



Figura 38 Panorámica de eNodeB FRC-026

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-027	Macro Cell	48°52'10.66"N	2°17'4.25"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 33 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-027

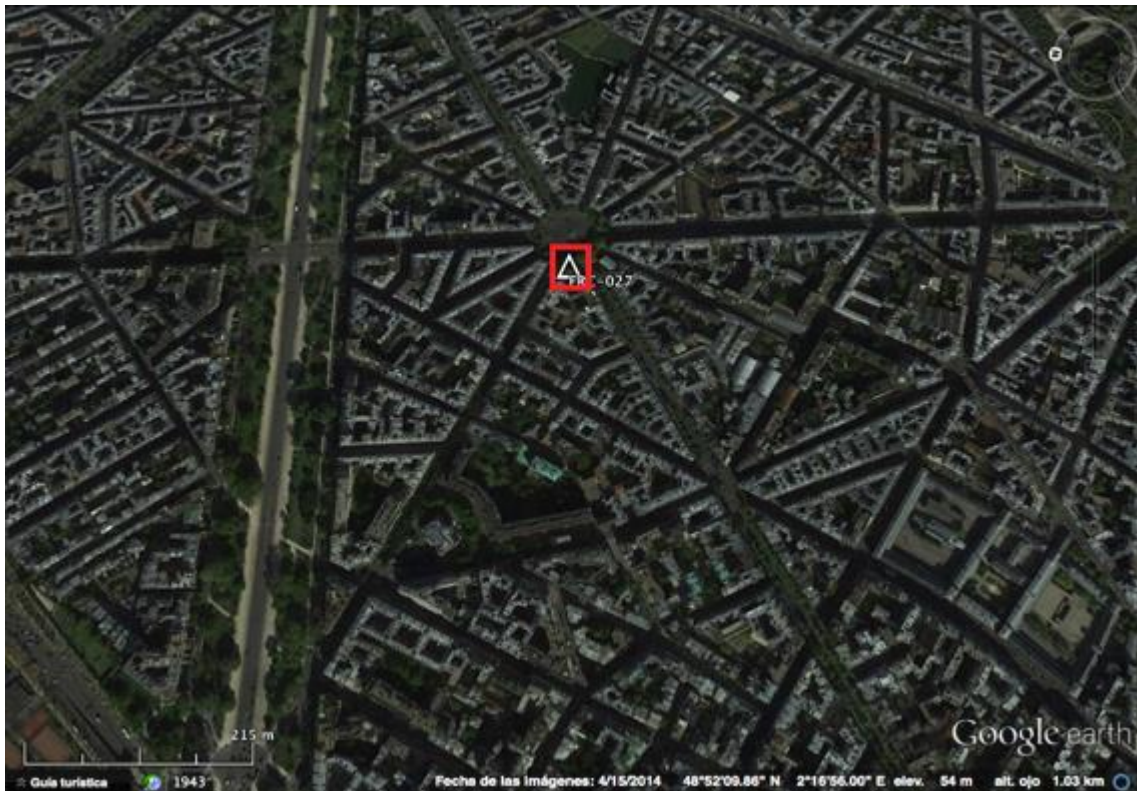


Figura 39 Panorámica de eNodeB FRC-027

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-028	Micro Cell	48°52'26.96"N	2°16'42.87"E	• Densidad media de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 34 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-028



Figura 40 Panorámica de eNodeB FRC-028

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-029	Micro Cell	48°52'8.23"N	2°16'31.93"	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 35 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-029



Figura 41 Panorámica de eNodeB FRC-029

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-030	Micro Cell	48°51'54.19"N	2°16'51.25"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 36 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-030



Figura 42 Panorámica de eNodeB FRC-030

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-031	Micro Cell	48°51'48.61"N	2°16'22.22"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 37 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-031



Figura 43 Panorámica de eNodeB FRC-031

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-032	Micro Cell	48°51'40.81"N	2°16'39.64"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 38 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-032



Figura 44 Panorámica de eNodeB FRC-032

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-033	Micro Cell	48°51'38.22"N	2°16'27.16"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 39 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-033



Figura 45 Panorámica de eNodeB FRC-033

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-034	Macro Cell	48°52'26.17"N	2°17'42.12"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 40 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-034

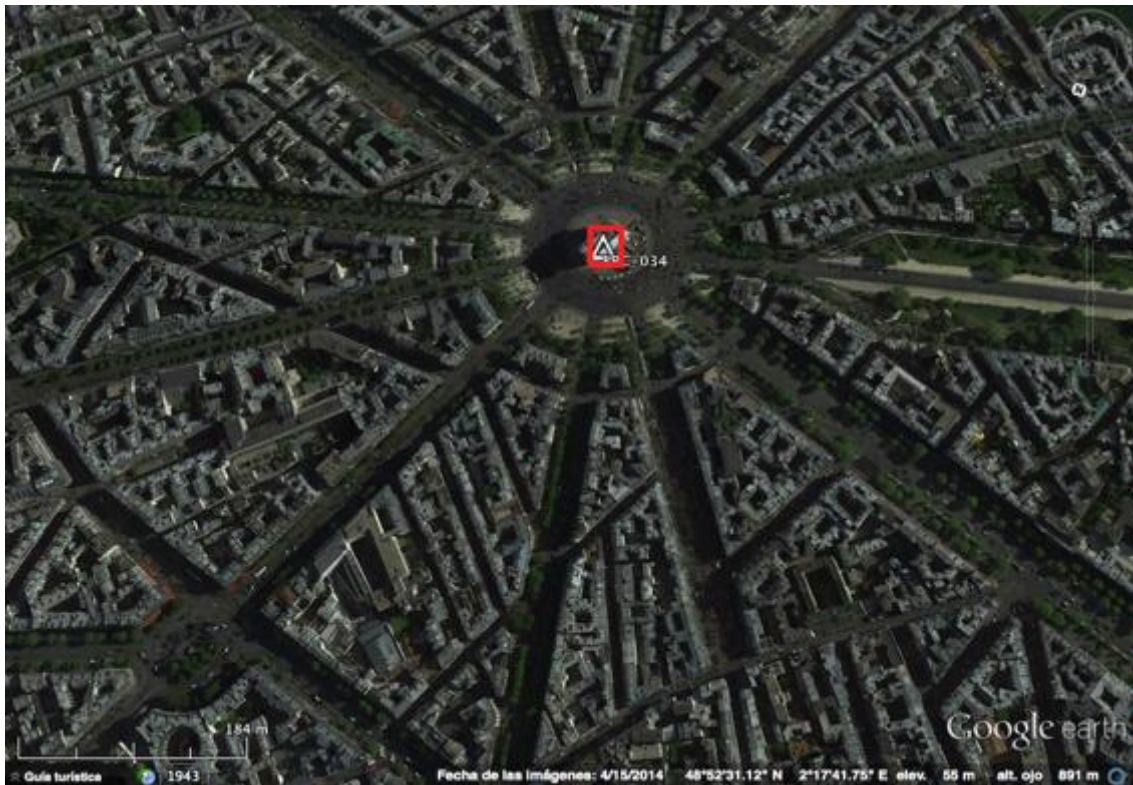


Figura 46 Panorámica de eNodeB FRC-034

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-035	Micro Cell	48°52'9.11"N	2°18'49.13"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 41 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-035



Figura 47 Panorámica de eNodeB FRC-035

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-036	Macro Cell	48°52'28.00"N	2°19'51.30"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación. • Ubicado en zona universitaria

Tabla 42 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-036

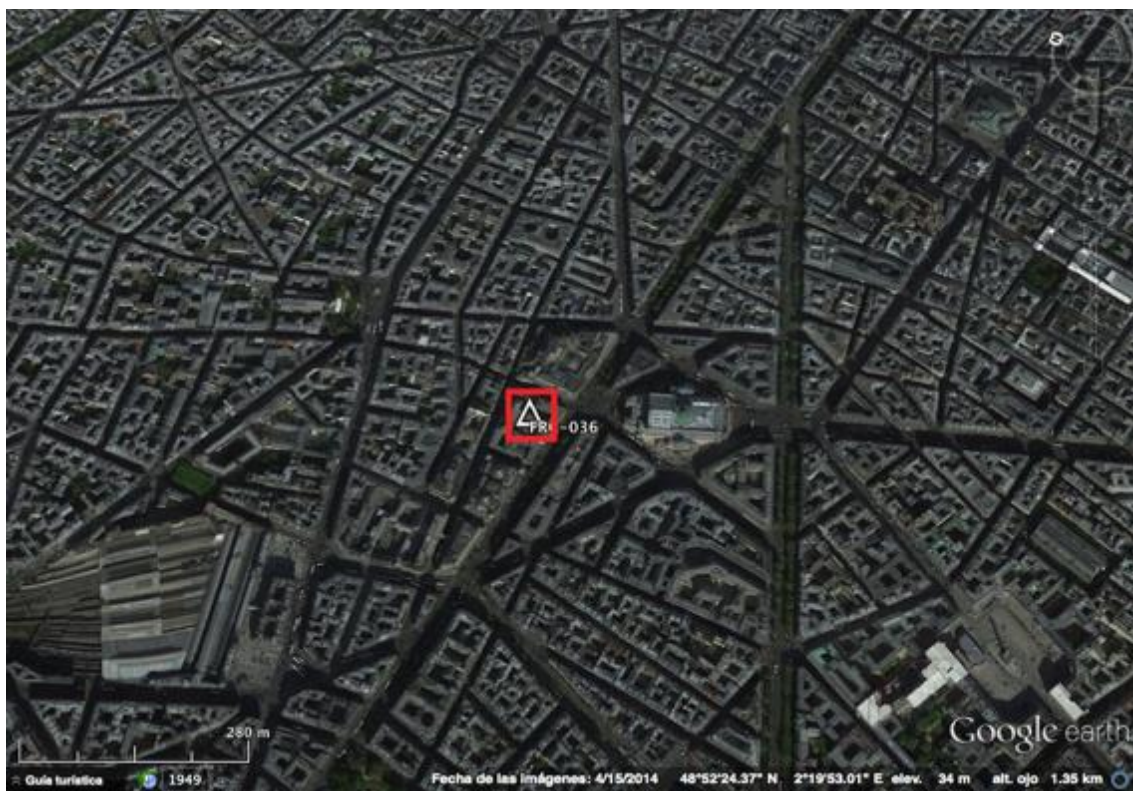


Figura 48 Panorámica de eNodeB FRC-036

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-037	Macro Cell	48°51'52.66"N	2°15'25.97"E	• Muy baja densidad de edificios. • Densidad media de población • eNodeB ubicada en torre. • Muy alta vegetación.

Tabla 43 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-037



Figura 49 Panorámica de eNodeB FRC-037

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-038	Macro Cell	48°52'43.01"N	2°20'32.75"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en terraza. - Baja vegetación.

Tabla 44 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-038

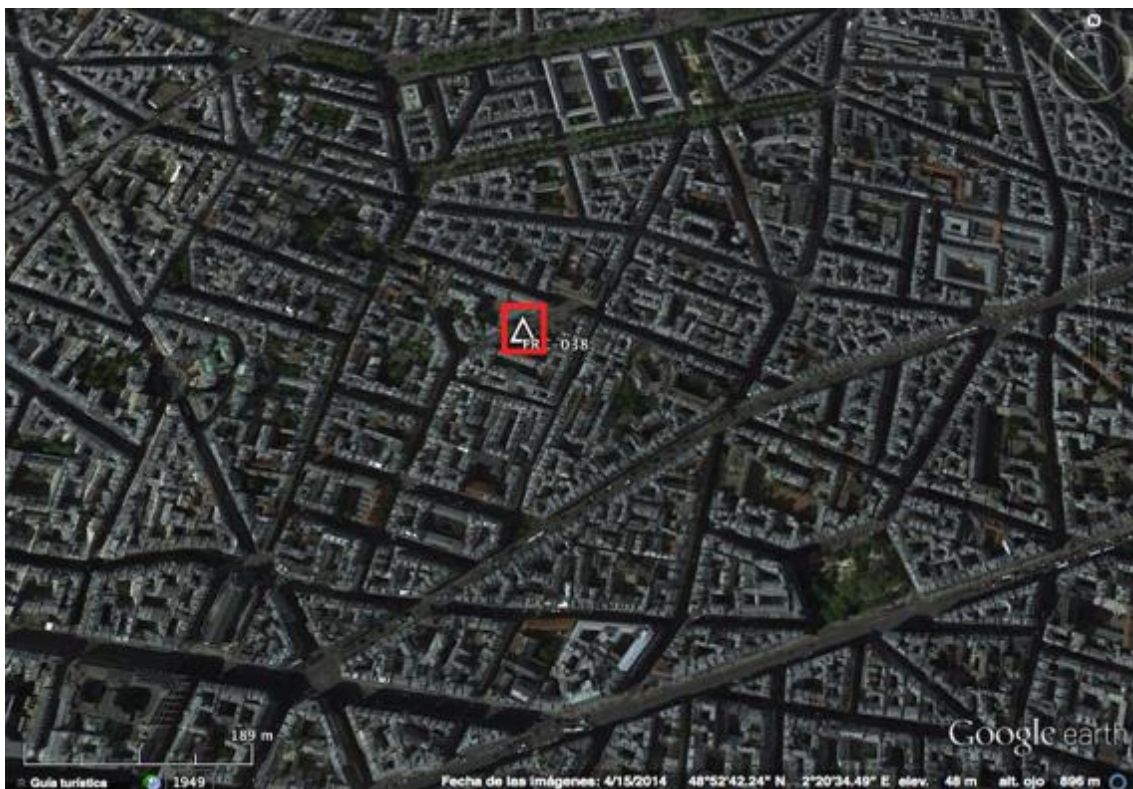


Figura 50 Panorámica de eNodeB FRC-038

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-039	Macro Cell	48°52'16.25"N	2°20'29.49"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 45 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-039



Figura 51 Panorámica de eNodeB FRC-039

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-040	Micro Cell	48°53'3.36"N	2°21'24.04"E	• Baja densidad de edificios. • Baja densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 46 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-040



Figura 52 Panorámica de eNodeB FRC-040

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-041	Micro Cell	48°53'16.09"N	2°21'53.47"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en torre. • Baja vegetación.

Tabla 47 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-041

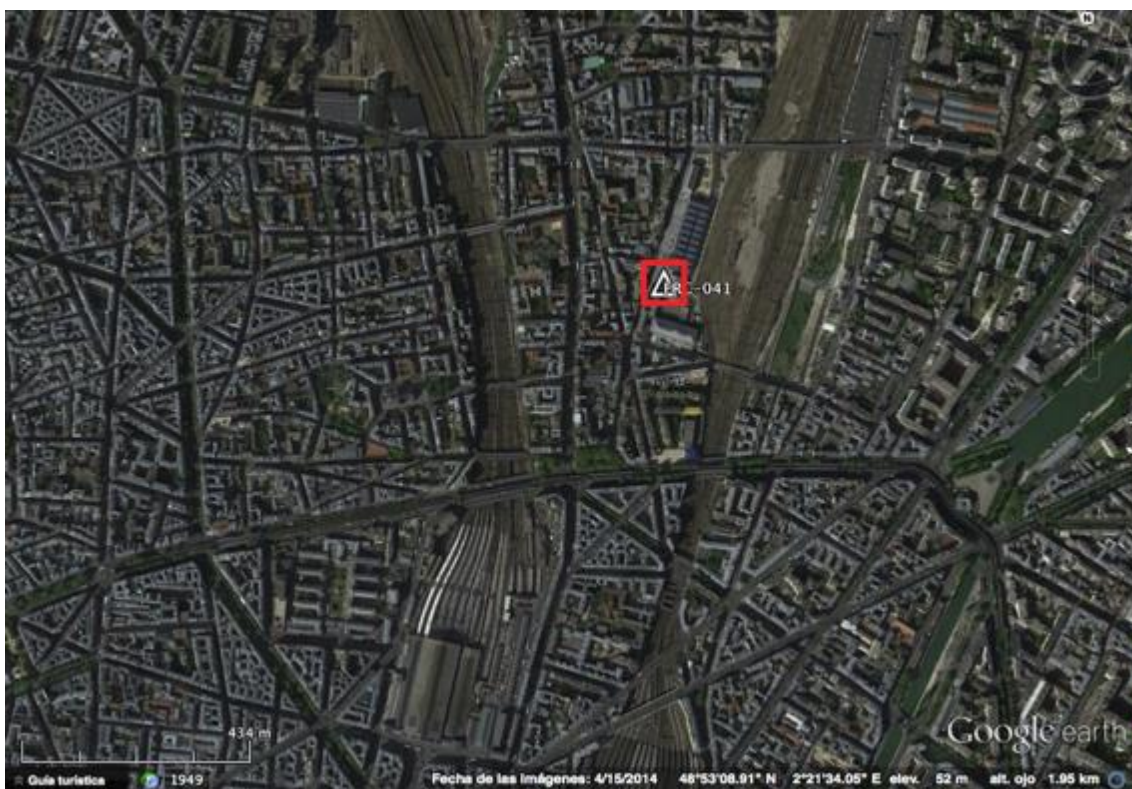


Figura 53 Panorámica de eNodeB FRC-041

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-042	Micro Cell	48°53'37.44"N	2°22'18.36"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 48 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-042



Figura 54 Panorámica de eNodeB FRC-042

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-043	Micro Cell	48°53'16.64"N	2°22'30.13"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 49 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-043



Figura 55 Panorámica de eNodeB FRC-043

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-044	Micro Cell	48°53'46.56"N	2°22'57.56"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 50 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-044

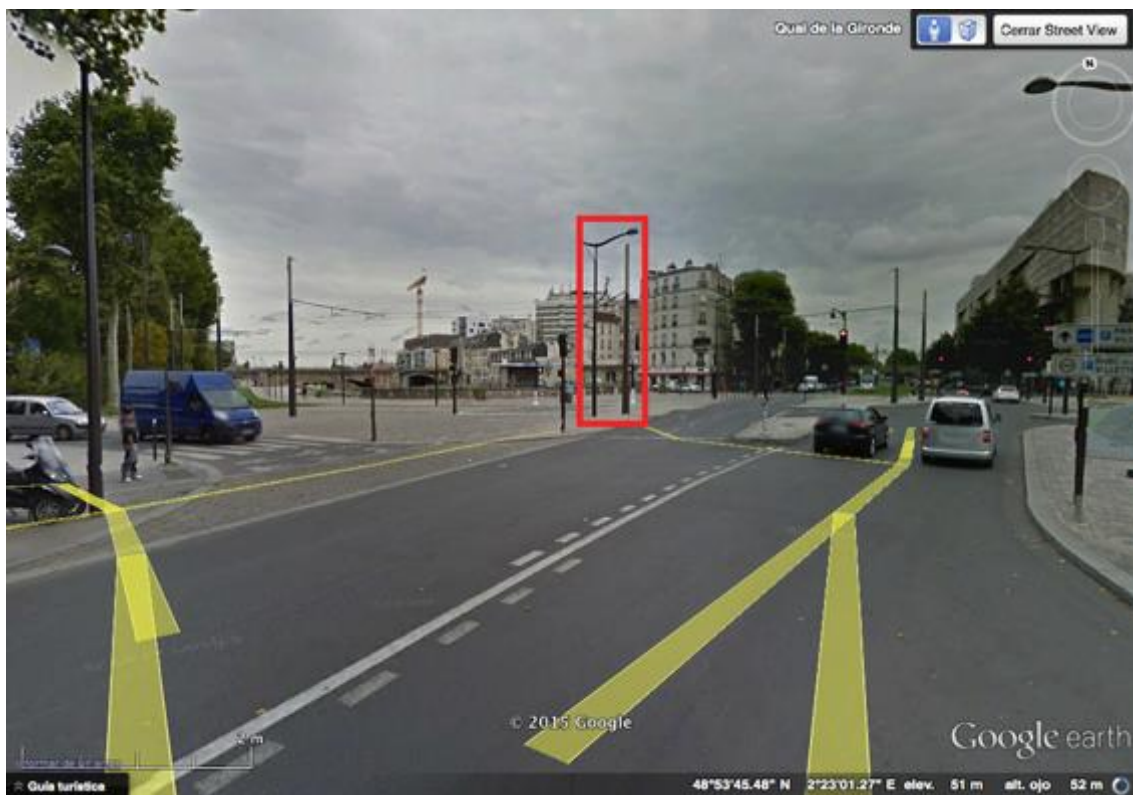


Figura 56 Panorámica de eNodeB FRC-044

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-045	Micro Cell	48°53'17.34"N	2°23'16.79"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Baja vegetación.

Tabla 51 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-045



Figura 57 Panorámica de eNodeB FRC-045

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-046	Macro Cell	48°52'50.15"N	2°23'0.80"E	• Muy baja densidad de edificios. • Densidad media de población • eNodeB ubicada en torre. • Muy alta vegetación.

Tabla 52 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-046



Figura 58 Panorámica de eNodeB FRC-046

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-047	Micro Cell	48°52'49.34"N	2°22'6.89"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 53 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-047



Figura 59 Panorámica de eNodeB FRC-047

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-048	Micro Cell	48°52'41.35"N	2°21'28.99"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Sin vegetación.

Tabla 54 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-048



Figura 60 Panorámica de eNodeB FRC-048

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-049	Micro Cell	48°52'26.54"N	2°20'59.74"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Sin vegetación.

Tabla 55 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-049



Figura 61 Panorámica de eNodeB FRC-049

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-050	Macro Cell	48°52'31.75"N	2°21'54.42"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Alta vegetación.

Tabla 56 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-050

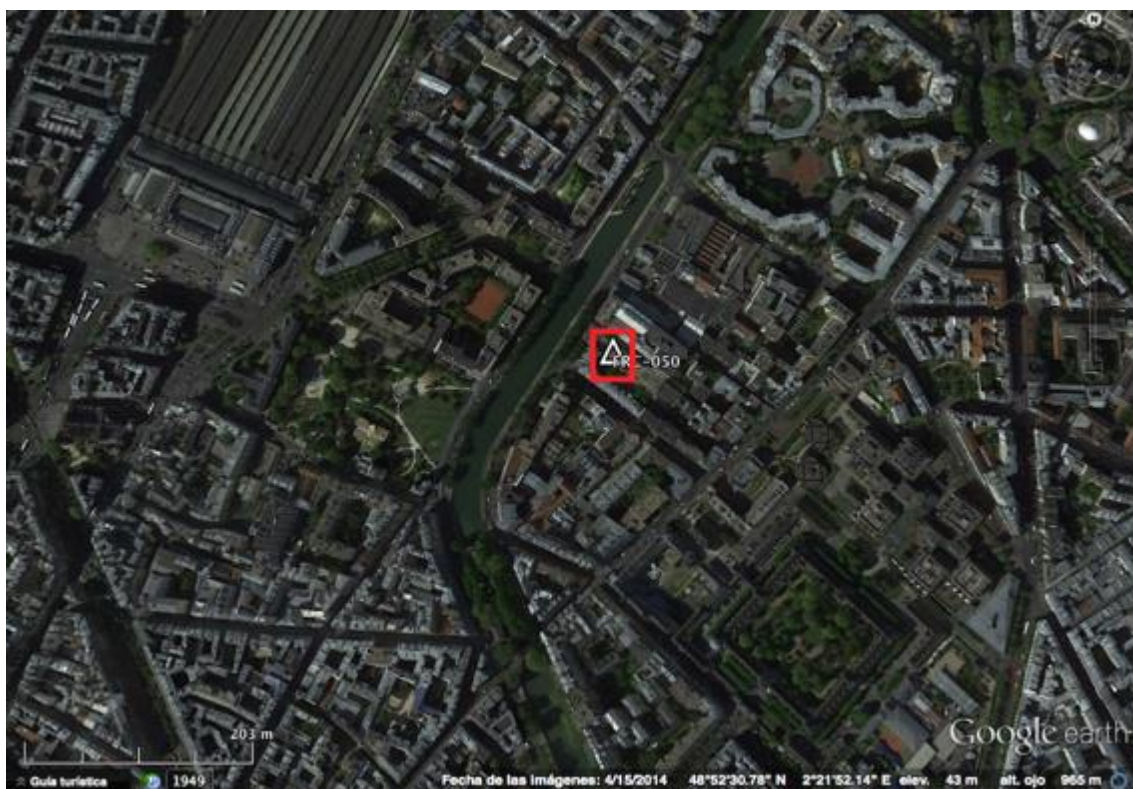


Figura 62 Panorámica de eNodeB FRC-050

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-051	Macro Cell	48°52'21.55"N	2°21'34.23"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Alta vegetación.

Tabla 57 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-051

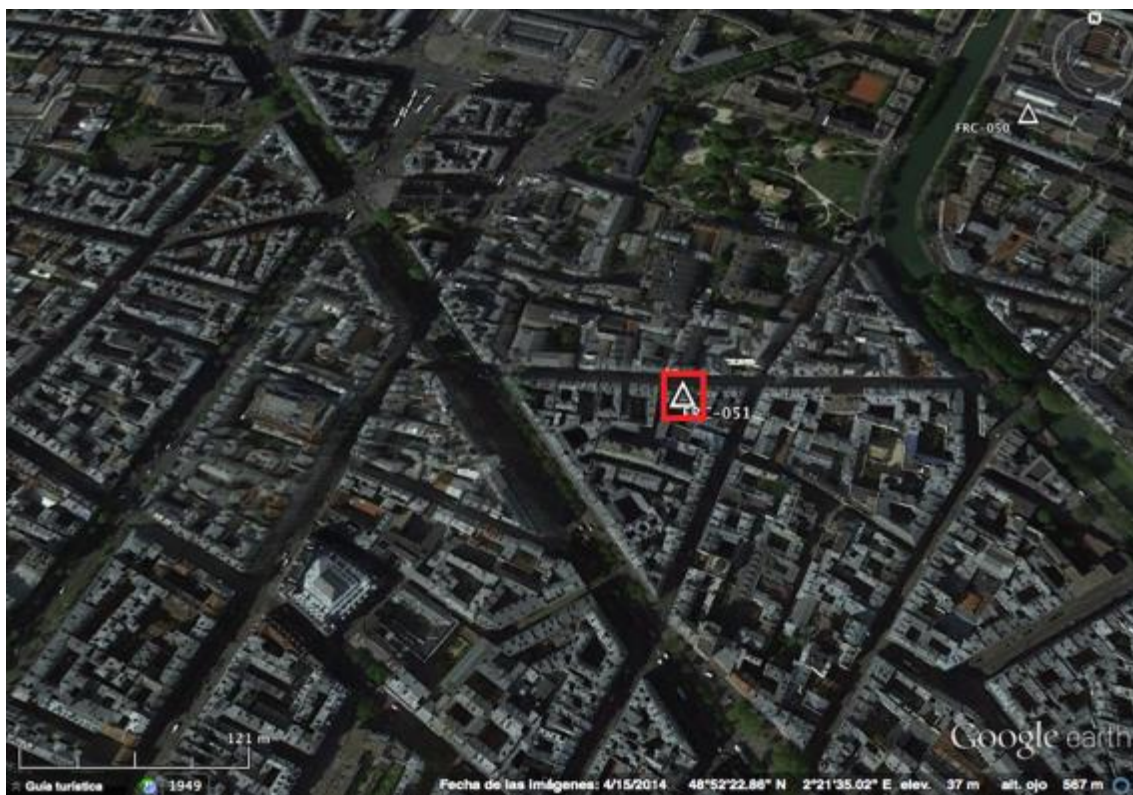


Figura 63 Panorámica de eNodeB FRC-051

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-052	Micro Cell	48°52'6.27"N	2°21'13.23"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 58 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-052



Figura 64 Panorámica de eNodeB FRC-052

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-053	Macro Cell	48°52'4.08"N	2°21'47.28"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en terraza. • Baja vegetación.

Tabla 59 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-053

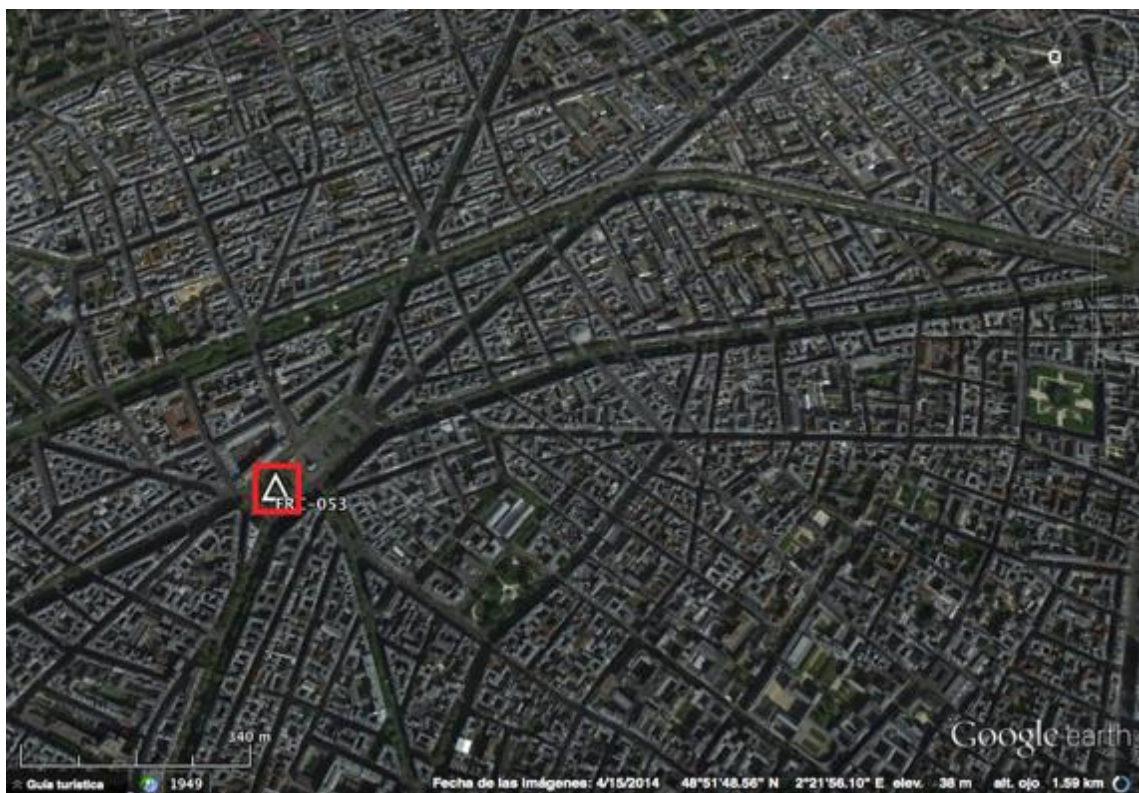


Figura 65 Panorámica de eNodeB FRC-053

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-054	Micro Cell	48°52'16.92"N	2°22'15.81"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 60 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-054



Figura 66 Panorámica de eNodeB FRC-054

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-055	Micro Cell	48°52'15.28"N	2°22'56.58"E	• Alta densidad de edificios. • Alta densidad de población • eNodeB ubicada en poste. • Alta vegetación.

Tabla 61 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-055



Figura 67 Panorámica de eNodeB FRC-055

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-056	Micro Cell	48°52'2.21"N	2°22'34.91"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Baja vegetación.

Tabla 62 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-056



Figura 68 Panorámica de eNodeB FRC-056

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-057	Micro Cell	48°52'8.35"N	2°23'28.50"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 63 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-057



Figura 69 Panorámica de eNodeB FRC-057

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-058	Micro Cell	48°51'45.71"N	2°22'55.53"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 64 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-058



Figura 70 Panorámica de eNodeB FRC-058

eNodeB	Tipo	Latitud	Longitud	Características del Terreno
FRC-059	Micro Cell	48°51'35.18"N	2°22'33.05"E	- Alta densidad de edificios. - Alta densidad de población - eNodeB ubicada en poste. - Alta vegetación.

Tabla 65 Ubicación y características del terreno para eNodeB FRC-059



Figura 71 Panorámica de eNodeB FRC-059

4. Parametrización de eNodeB

Por medio de la utilización del ICS Designer, se realiza la parametrización de todos los eNodeB a implementar en la herramienta, a continuación se detallará paso por paso de la inclusión de una estación haciendo uso de la herramienta.

En la Figura 72 se identifica el procedimiento a seguir para agregar una radio estación TX/RX LTE, esta elección desplegará el recuadro de parámetros para la antena Tx/Rx a implementar. Es en este recuadro (Ver Figura 73), en el cual se utilizan los parámetros identificados en 0 Especificación de las variables.

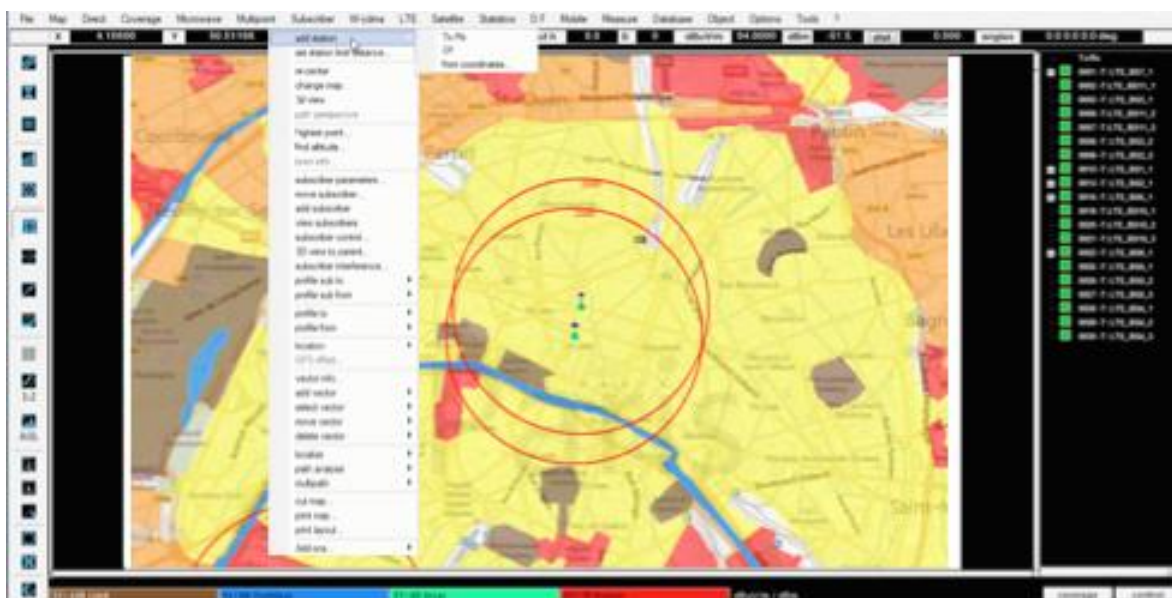


Figura 72 Agregar estación Rx/Tx en ICS Designer.

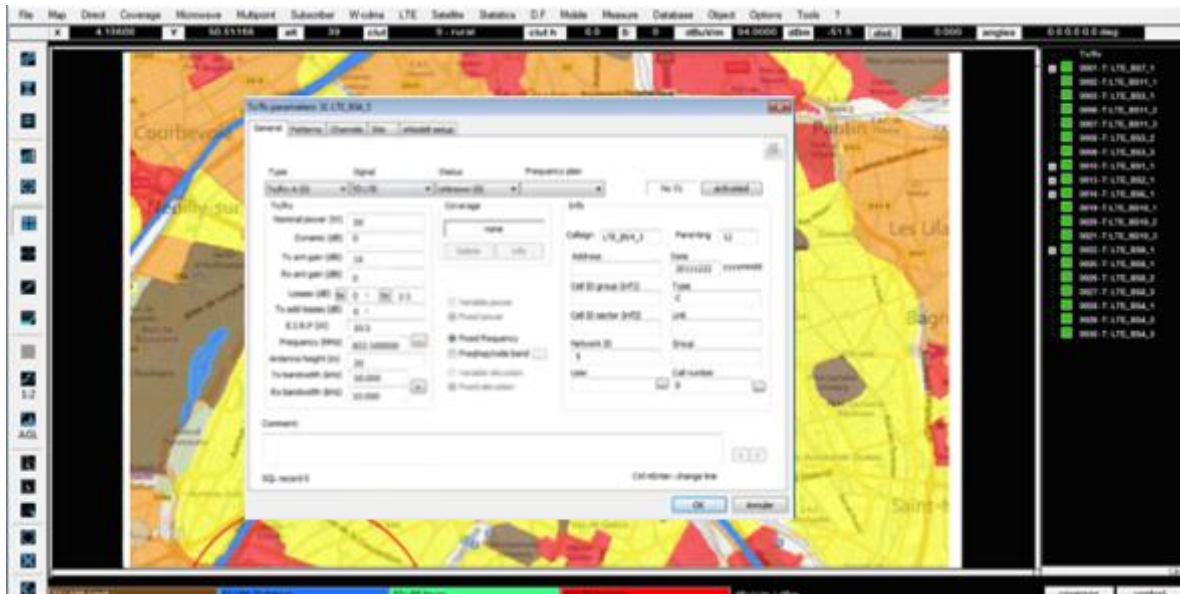


Figura 73 Parametrización de una estación Rx/Tx LTE en ICS Designer

Se evidencia entonces que parámetros fundamentales como: la frecuencia, pérdidas, ganancias de la antena Tx, entre otras son indispensables para obtener la simulación de la cobertura por estación.

ICS Designer, permite simular, dependiendo de las características del módulo RF a utilizar, los diferentes patrones de radiación, según la necesidad de la estación a implementar, en la Figura 75 se evidencia algunos de los diferentes patrones de radiación presentes en la herramienta, y en la Figura 74 se evidencian las características propias del módulo (Ganancia, MIMO, Patrón de radiación, etc.) Y de su ubicación (Diámetro, tilt, Azimut, etc.)

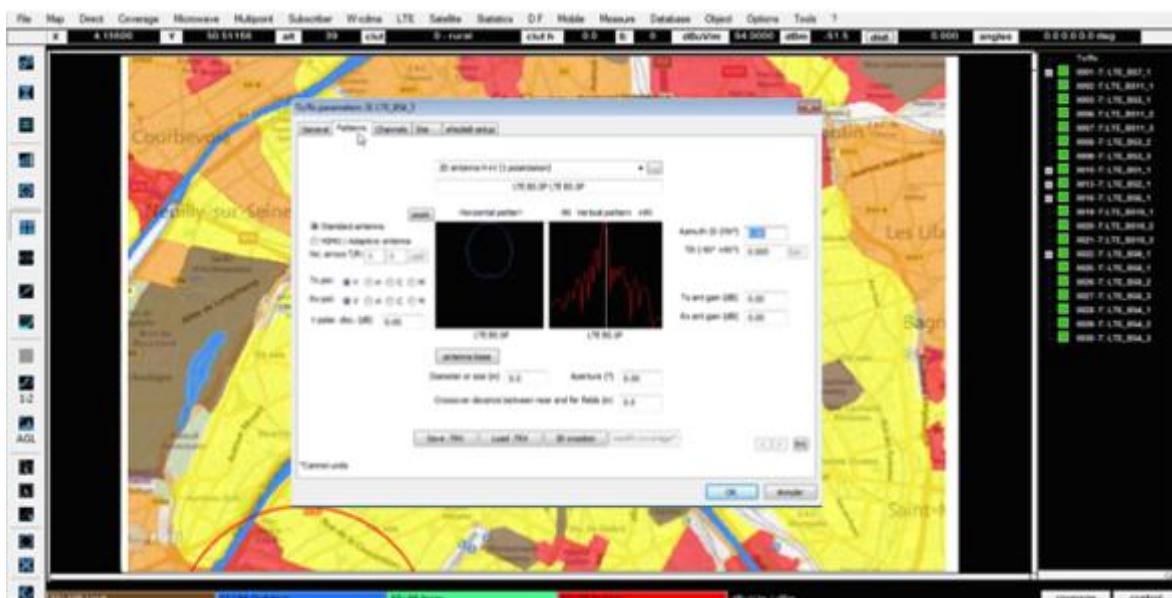


Figura 74 Características del módulo RF en ICS Designer

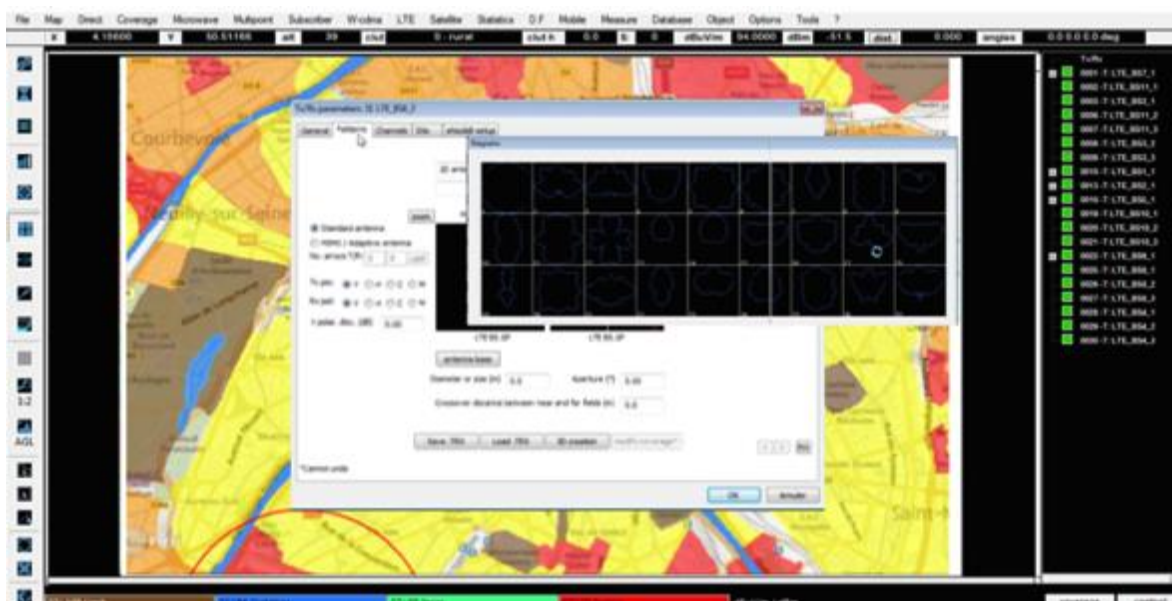


Figura 75 Características del patrón de Radiación en ICS Designer

Adicionalmente, el software permite diseñar un plan de frecuencias, si la necesidad lo amerita, en este caso no se realizará, ya que por las condiciones del proyecto de ATDI, se exige una frecuencia fija de operación. Finalmente, en la Figura 76 se evidencia las configuraciones propias del eNodeB, en donde parámetros como la modulación (para este caso se toma la mejor modulación, teniendo presente que los equipos Nokia que comprenderán el eNodeB soportan modulación de 64QAM) puede ser modificada por el diseñador, mientras que parámetros dependientes de la topología del terreno tales como el ruido térmico generado será puestos por default por el programa.

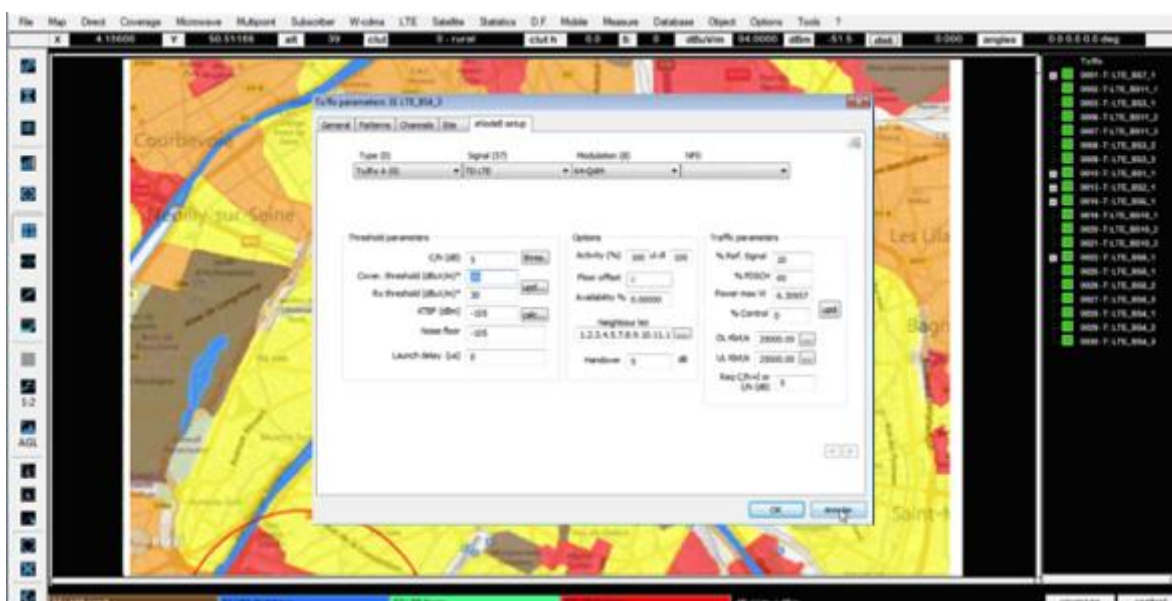


Figura 76 Configuraciones del eNodeB en ICS Designer.

5. eNodeB NSN (Nokia Solutions Networks)

Como se ha mencionado a lo largo del documento, los equipos que conforman los 59 eNodeB a implementar, serán equipos NSN, a continuación se mencionarán los módulos principales para las Macro estaciones y Micro estaciones.

5.1 Macro Estaciones NSN

Estas estaciones se conforman por 4 módulos Principales.

- **Módulos FOC:** Modulo en el cual se encuentra el equipo demarcador del Carrier que presta la Tx a la estación. En la Figura 77 se evidencia el modulo en mención.



Figura 77 Modulo FOC NSN.

- **System Module:** Modulo Principal del eNodeB, en el cual se presentan e identifican las diferentes alarmas generadas por las fallas ocurridas en la estación, adicionalmente, es el encargado de procesar los datos recibidos por el modulo RF y enviarlos al equipo demarcador y viceversa. En la se evidencia el System Module



Figura 78 System Module NSN

- **Modulo RF:** Este es el modulo que permite la conexión del System Module con las antenas Flexi Multiradio Active Antenna System, se encuentra ubicado sobre el mismo gabinete del System Module.
- **Módulo de Respaldo de energía:** Es el modulo encargado de dar soporte de energía, siempre que la fuente de AC que alimenta a la estación falle. Este módulo cuenta con 4 baterías.

5.2 Micro Estaciones NSN

Las Micro celdas que está implementando NSN, cuentan con los siguientes módulos:

- **Modulo Demarcador:** Modulo que contiene el equipo de Tx suministrado por el Carrier, este se encuentra directamente conectado al System Module del Small Cell.

- **System Module:** Modulo principal del Small Cell, tiene las mismas características que el de la macro estación a diferencia del tamaño. En la Figura 79 se identifica el System Module de Small Cell y la conexión con la antena Flexi Multiradio Active Antenna System.



Figura 79 Small Cell NSN

6. Propuesta de RED RAN

Se muestra a continuación el resultado final de la simulación obtenida para la propuesta de diseño elaborado a lo largo del presente trabajo haciendo uso del Software de Diseño ICS Designer.

La región de estudio en la que se realiza la pre factibilidad para las 59 estaciones a implementar se observa en la Figura 80, para esta es importante tener presente las zonas críticas, es decir en la que mayor cantidad de usuarios se presenta, esta información se obtiene de una base de datos cargada directamente en la herramienta en donde por medio de metadatos de tarificación de usuarios HSDPA, (ATDI aclara en la información del concurso, que serían estos mismos usuarios los que entrarían a utilizar la red a implementar)



Figura 80 Región de aplicación de la red a Diseñar.

Conociendo así las zonas críticas y el resultado del LinkBudget, se procede a realizar la implementación de cada uno de los 59 eNodeB, sobre la región de aplicación, siguiendo los pasos presentes en la sección Parametrización de eNodeB; una vez que se parametrizan los eNodeB, se procede a realizar la respectiva simulación de cobertura total. Se evidencia entonces a continuación los resultados obtenidos, en donde se representa la cobertura con 59 estaciones sin inconvenientes de solapamientos, teniendo presente que se realizó la activación del feature ICIC para la totalidad de las estaciones.

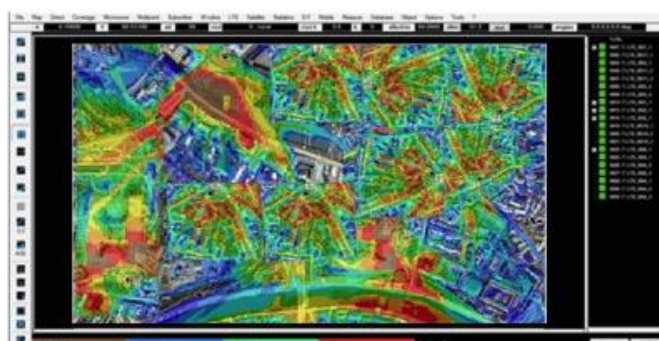


Figura 81 Simulación 59 eNodeB, cobertura aproximada 96%.

Finalmente se evidencia en la ubicación final de cada uno de los eNodeB implementado en el diseño red.



Figura 82 Propuesta de RED RAN.

7. CONCLUSIONES

Debido al constante crecimiento de abonados a la telefonía móvil Celular y la gran importancia que este tipo de redes tienen sobre la población mundial, es muy importante contar con redes capaces de brindar correctamente el servicio ofrecido por los diferentes operadores. Por lo tanto, es indispensable de un adecuado estudio de la necesidad de la población en los diferentes lugares en los que se brindará cobertura, sin dejar de tener presente aquellos parámetros que por condiciones físicas o reglamentarias no puede ser modificado por el diseñador de la red, cabe resaltar que tras la constante evolución que ha presentado la red de TMC, ha permitido que los operadores generen brechas cada vez menores entre las diferentes tecnologías, gracias a la reutilización de recursos de red tal y como sucedió entre la migración de 3G - 3.5G, y sucederá entre 4G LTE - LTE Advance.

Para la realización del diseño RAN presentado en este trabajo es indispensable tener presente que parámetros tales como banda de frecuencia, ancho de banda, perfil del terreno y la ubicación de los diferentes eNodeB, a pesar de parecer parámetros variables, se encuentran limitados por diferentes aspectos que van desde lo regulatorio (banda de frecuencia y ancho de banda), lo morfológico (perfil del terreno) y permisos de terceros (ubicación de los diferentes eNodeB); sin embargo, existen otros parámetros esenciales para el diseño de red que se pueden considerar como variables o no, dependiendo de la situación en la que se encuentre la red, para el caso presentado en este proyecto de grado, los parámetros variables se encuentran delimitados por la necesidad planteada por ATDI en el concurso "Mejor Planeación de Radio LTE".

Teniendo presente lo anteriormente mencionado, el diseño de la red de acceso para la tecnología LTE, permite al diseñador variar diferentes parámetros que le permitan según el caso obtener un resultado específico, en donde la cantidad de usuarios y la demanda del servicio juegan el papel primordial en la modificación de dichos parámetros.

La utilización de las herramientas usadas en la elaboración del presente proyecto permite en el caso del archivo Macro de Excel, tener una aproximación del comportamiento de las ondas electromagnéticas, que se presentaran en las diferentes estaciones implementadas en la región de estudio. En el caso del ICS Designer, permite tener una aproximación casi real del comportamiento de la cobertura proporcionada por los eNodeB, teniendo presente las diferentes características naturales y artificiales presentes en la cartografía, que gracias a la resolución de la misma permite que las simulaciones sean muy precisas y confiables.

A diferencia de las redes convencionales LTE que se encuentran en los diferentes países que ya adaptaron esta tecnología, esta, está diseñada en un 60% con Small Cells disminuyendo costos de inversión por parte del operador, tanto en equipos, como en infraestructura o arriendo de torre. Además, la utilización de estas, evita inconvenientes de ubicación, ya que pueden ser implementadas en postes, paraderos de buses, ambientes indoor, etc. Generando así una propuesta viable que da solución a la problemática propuesta por ATDI, en donde se busca subsanar un inconveniente real de comunicación en un ambiente cartográficamente complicado, como sucede en la ciudad de Paris, implementando una red en donde predomina el uso de micro cells.

Es importante resaltar que en este momento ningún operador a nivel mundial cuenta con una red en el que predomine las micro cells, ya que este concepto se tiene principalmente para coberturas indoor, pero aún se está trabajando y optimizando por los diferentes fabricantes, para así generar una optimización en los costos de operación, producción y mantenimiento. Por lo anterior, Paris no es la excepción, y con el fin de dar solución a los problemas de cobertura esta implementación es de gran ayuda por las características del terreno natural y construido evidenciado en el presente proyecto.

De igual forma, resulta de suma importancia para la realización de la propuesta de diseño final, el hardware a utilizar en los diferentes eNodeB, ya que en el momento de la implementación de la propuesta, se debe tener presente que se cuente con

los elementos dentro del mercado, capaces de dar solución a la problemática planteada.

Este tipo de concurso es muy importante a nivel educativo, ya que permite al estudiante afianzar y profundizar los conocimientos, además de plantear soluciones viables y factibles a una problemática presente en el área de las comunicaciones móviles, determinando adecuadamente y dependiendo según de la necesidad las mejores condiciones para la realización final del diseño de la red.

8. RECOMENDACIONES

La propuesta de diseño de red presentada a lo largo de este trabajo se ve altamente influenciado por el uso de Small Cells como solución a los diferentes inconvenientes que han tenido las macro estaciones. Por esta razón, y teniendo presente que en Francia se cuenta con redes LTE existentes, lo importante del presente trabajo es la implementación de estos nuevos elementos de red, capaces de brindar las necesidades presentadas por los abonados a la telefonía móvil celular.

El número de ventajas y desventajas son enormes, dependiendo del lado en el que se le quiera ver, pero desde el punto de vista para el diseñador, existen 2 parámetros muy importantes que en cierto modo se vuelven desventajas para las Small Cells, estas son:

- **Acometida y conexión a equipo de última milla:** En las Macro estaciones se cuenta generalmente con más de 2 operadores diferentes, lo que resulta de mayor facilidad para el Carrier generar una conexión hacia los diferentes demarcadores presentes, pero por otro lado, las Small Cells tienden a ser ubicadas en lugares específicos requeridos por cada operador, lo que requerirá un mayor número de conexiones por parte del carrier, por lo tanto existirán puntos en los cuales no será posible contar con la conexión del carrier.
- **Plan de contingencia para la solución de Mantenimientos Correctivos (MC):** Un mantenimiento correctivo es la solución a las diferentes fallas generadas en las Small cell, uno de los principales MC que se presentan es causada por la falta de energía, ya sea por una intermitencia o una falla masiva reportada por la electrificadora, por lo tanto se requiere de un respaldo de energía que supla a la estación cuando estas fallas imprevistas se presenten, la energía requerida por una Small Cell es lo suficientemente grande como ser necesario de 2 o 3 baterías para su sostenimiento, lo que

genera contar con un banco de baterías de 9 o 10 veces el tamaño de una Small Cell, por otro lado y por seguridad, estas deberán ser ubicadas lo suficientemente alto, lo que dificultaría el acceso a para la revisión.

Estos inconvenientes en ningún momento ponen en riesgo el futuro cercano que tienen las Small Cells en los diferente países del mundo que están adoptando esta tecnología, que paso de ser una idea para coberturas únicamente indoor, a coberturas outdoor.

BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA

- Ardéshir Guran, R. M. (1996). *Electromagnetic Wave Interactions*. World Scientific.
- ATDI. (s.f.). *ATDI*. Obtenido de Advanced Radio Telecommunication : www.atdi.es/ics-telecom/
- ATDI. (s.f.). *ICS Designer Getting Started*. Obtenido de Advanced Radio Telecommunications: <http://www.atdi.es>
- B. t. (03 de Marzo de 2013). *Sitio web oficial del Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicación de Colombia*. Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de MINTIC: www.gov.co
- B. t. (03 de Marzo de 2014). *Pagina web oficial del Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones de Colombia*. Recuperado el 13 de Febrero de 2014, de MINTIC: www.mintic.org.co
- Bates, R. (2001). *GPRS General Packet Radio Service*. McGraw-Hill Professional.
- Campos, H. (2009). *Redes Móviles celulares*. Bogotá: Editorial Universidad Santo Tomás.
- Caprile, S. R. (2009). *Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4*. Sergio R. Caprile.
- Eggers, P., & J. T. (1993). Antenna Systems for base Station diversity in urban small and micro cells. *Selected Areas in Communications IEEE*.
- Feruskar, A., Mazur, S., Muller, F., & Olofsson, H. (1999). EDGE: enhanced data rates for GSM and TDMA evolution. *IEEE Personal Communications*.
- Halonen, T., Romero, J., & Melero, J. (2004). *GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G UMTS*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Holma, H., & Toskala, A. (2005). *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- Holma, H., & Toskala, A. (2007). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- Lopez, D., Valcarce, A., & De la Roche, A. (2009). OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance. *Communications Magazine IEEE*.
- Marcombo, S. (2008). *Telecomunicaciones móviles*. Marcombo.

Michel, M., & Paulet, M.-B. (1992). *The GSM System for Mobile Communications*. Inglaterra: Telecom Publishing.

NgnGuru Solutions. (04 de Junio de 2009). *LTE MAPS*. Obtenido de Lte Deployment Map: <http://ltemaps.org/home/>

Qualcomm. (2009). *LTE Network Planning Student Guide* (Vol. I). Qualcomm Incorporated.

Roig, O. S., Valenzuela, J., & Auusti, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Univ. Politèc. de Catalunya.

Sandra, O. (29 de Abril de 2009). *Telefonia Celular movil, Funcionamiento y generaciones*. Recuperado el 15 de Febrero de 2014, de Curso LTE: <http://www.mailxmail.com/curso-telefonía-celular-movil-funcionamiento-generaciones/introduccion-telefonía-celular>

Villalobos, F., Ortega, S., & Andrade, R. (2010). Estudio de Factibilidad de la implementacion de una red UMTS en la ciudad de Guayaquil. *Revista Escuela Superior Politecnica del Litoral*.