

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE
COMUNICACIONES**



**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.
MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

TEMA:

“Estudio para mejorar el aumento de la velocidad de datos en una estación móvil con tecnología
LTE basado en Segunda Portadora y Carrier Aggregation”

Autor:

Guido Fernando Ibarra Pastas

Director:

PhD. Gustavo Chafra

Quito, 2020

Dedicatoria

A Dios, por ser quien me guía en cada uno de los pasos que he dado y decisiones que he tomado a largo de toda mi vida personal y profesional.

A mi esposa Vilma y mi hija Valentina, por ser el motor de vida y quienes me motivan a seguir superándome cada día.

A mi Padre Jose Laureano, por ser quien me formo con bases sólidas de responsabilidad y honestidad.

A mi inolvidable madre Maria Elena, quien desde el cielo me guía y acompaña en cada momento de mi vida.

Agradecimiento

A mi esposa Vilma y mi hija Valentina, por su amor, comprensión y apoyo incondicional brindado para continuar con mis estudios.

A mi padre, madre y hermanas, quienes con sus palabras de aliento me animaron a seguir adelante.

A la Pontificia Universidad del Ecuador, por acogerme en el programa de la maestría y brindarme sus conocimientos.

A mi director Ph.D. Gustavo Chafla, por su valiosa guía en el desarrollo de este proyecto de titulación.

A mis lectores, M.Sc. Damian Nicolalde y M.Sc. Juan Francisco Chafla, por sus valiosas observaciones que me ayudaron a finalizar esta disertación.

Índice de Contenido

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Índice de Contenido	IV
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	IX
Resumen	X
Abstract.....	XI
Problemática	XII
Justificación.....	XIII
Antecedentes	XIV
Objetivos	1
Objetivo General.....	1
Objetivos Específicos.....	1
Desarrollo.....	2
1.1 Configuraciones soportadas en estaciones móvil con tecnología LTE.....	2
1.1.1 Configuración Tipo A.....	5
1.1.2 Configuración Tipo H (Concentrada).....	6
1.1.3 Configuración Tipo G (Distribuida).....	7
1.2 Introducción a Carrier Aggregation.....	7
1.3 Tipos de Carrier Aggregation	9
1.3.1 CA Intra-band contiguo.....	9
1.3.2 CA Intra-band no contiguo.....	9
1.3.3 CA Inter-band no contiguo.....	10
1.4 Escenarios de despliegue con Carrier Aggregation.....	10
1.4.1 Escenario 1.....	10
1.4.2 Escenario 2.....	11
1.4.3 Escenario 3.....	11
1.4.4 Escenario 4.....	11
2. Capítulo II: Análisis de la Situación Actual de una Estación Móvil con tecnología LTE.....	12
2.1 Situación actual de la Estación Móvil de pruebas con tecnología LTE.....	13
2.2 Configuración actual de la Estación Móvil de pruebas con tecnología LTE.....	16
3. Capítulo III: Diseño de una solución basada en Segunda Portadora y Carrier Aggregation para aumentar las velocidades de datos.	20
3.1 Dimensionamiento de módulos de banda base	21

3.2	Dimensionamiento de módulos RF	23
3.3	Dimensionamiento de Antenas.....	26
3.4	Dimensionamiento del Ancho de Banda de la Transmisión	30
3.5	Dimensionamiento del Consumo de Energía.....	31
4.	Capítulo IV: Estudio de Implementación de un prototipo de una Estación Móvil de pruebas con Segunda Portadora y Carrier Aggregation.	32
4.1	Visita Técnica a la Estación Móvil de Pruebas para validar los requerimientos para la implementación de un prototipo.....	33
4.2	Transporte de módulos de banda base y módulos de RF al sitio de pruebas	39
4.3	Implementación del prototipo de pruebas.....	40
5.	Capítulo V: Evaluación de los valores alcanzados con la solución de Segunda Portadora y Carrier Aggregation.....	45
5.1	Análisis de los datos obtenidos en las pruebas, antes de implementar Segunda Portadora y Carrier Aggregation	46
5.2	Análisis de los datos obtenidos en las pruebas, después de implementar Segunda Portadora y Carrier Aggregation	48
5.2.1	Configuración Segunda Portadora de LTE.....	48
5.2.2	Configuración Carrier Aggregation	56
5.3	Evaluación de la solución implementada.....	62
5.3.1	Implementación y Configuración de la Segunda Portadora de LTE.....	63
5.3.2	Configuración y Activación de Carrier Aggregation.	64
	Conclusiones	67
	Recomendaciones.....	69
	Bibliografía	71
	Anexos.....	73
	Anexo A. Medidas del Sistema Radiante de la Segunda Portadora de LTE.	73
	Anexo B. Pantallas de Pruebas de Datos Iniciales.....	79
	Anexo C. Pantallas de Pruebas de Datos con la Implementación de la Segunda Portadora de LTE.	81

Índice de Figuras

Figura 1. Líneas de internet móvil para la tecnología de LTE. (ARCOTEL, 2019)	XIV
Figura 2. Arquitectura General de una red LTE. (Sánchez, 2016)	2
Figura 3. Arquitectura General de una Estación Móvil o eNB. (Ibarra, 2020)	3
Figura 4. Feederless Site - Torre. (Huawei, 2016)	4
Figura 5. Feederless Site – Terraza. (NSN, 2013)	4
Figura 6. Configuración Tipo A. (NSN, 2012).....	6
Figura 7. Configuración Tipo H o Concentrada. (NSN, 2012).....	6
Figura 8. Configuración Tipo G o Distribuida. (NSN, 2012).....	7
Figura 9. Carrier Aggregation con una PCell y una SCell. (Novoa Cristhoffer, 2016).....	8
Figura 10. Tipos de Carrier Aggregation: a) Intra-band contiguo; b) Intra-band no-contiguo; c) Inter-band non-contiguo. (Bassam et al., 2013)	9
Figura 11. Escenarios de despliegue con CA: a) Escenario 1; b) Escenario 2; c) Escenario 3; d) Escenario 4. (3GPP TS 36.300 como se citó en (Iwamura et al., 2010))	10
Figura 12. Estación Móvil de Pruebas. (Ibarra, 2020)	12
Figura 13. Velocidades de DL y UL del Sector 1.(Ibarra, 2020)	15
Figura 14. Velocidades de DL y UL del Sector 2. (Ibarra, 2020)	15
Figura 15. Velocidades de DL y UL del Sector 3. (Ibarra, 2020)	16
Figura 16. Configuración Física Actual del eNB. (Ibarra, 2020).....	17
Figura 17. Conexión Actual entre Antena y Módulo de RF para cada sector. (Ibarra, 2020)	18
Figura 18. Sectores Operativos de la Primera Portadora de LTE en el eNB. (Ibarra, 2020).....	18
Figura 19. Configuración Lógica Actual del eNB. (Ibarra, 2020)	19
Figura 20. Capacidad de los Módulos de Sistema. (NSN, 2012)	21
Figura 21. Módulos de Sistema requeridos. (Ibarra, 2020)	22
Figura 22. Capacidades del Módulo de RF de 1900MHz. (NSN, 2012)	23
Figura 23. Conexión de Módulos de Sistema y Módulos de RF. (Ibarra, 2020).....	25
Figura 24. Rangos de Frecuencia de las Antenas Huawei. (Huawei, 2017)	26
Figura 25. Lóbulos de Radiación de las Antenas. (Huawei, 2017)	27
Figura 26. Especificaciones Mecánicas de las Antenas. (Huawei, 2017)	28
Figura 27. Conexiones de Antena y Módulos de RF para cada sector. (Ibarra, 2020).....	29
Figura 28. Velocidades Teóricas de Transmisión Pico LTE para diferentes anchos de banda. (ZTE, 2011)	30
Figura 29. Fotomontaje de la ubicación del módulo de sistema de extensión y del módulo de energía. (Ibarra, 2020)	34
Figura 30. Fotomontaje de la ubicación de los módulos de RF. (Ibarra, 2020)	35
Figura 31. Fotomontaje de la ubicación de las nuevas antenas Huawei. (Ibarra, 2020)	35

Figura 32. Vista Frontal del Módulo de Sistema y del Módulo de Energía. (Ibarra, 2020).....	37
Figura 33. Vista Frontal de los Módulos de RF y Antenas S1 y S2 2P. (Ibarra, 2020).....	37
Figura 34. Vista Frontal de los Módulos de RF y Antenas S3 2P. (Ibarra, 2020)	38
Figura 35. Vista Superior de la distribución de Equipos y Antenas. (Ibarra, 2020).....	38
Figura 36. Instalación Módulo de Sistema de Extensión y Módulo de Energía. (Ibarra, 2020)	40
Figura 37. Instalación Módulo de RF del Sector 1 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	41
Figura 38. Instalación Módulo de RF del Sector 2 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	42
Figura 39. Instalación Módulo de RF del Sector 3 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	42
Figura 40. Instalación final de Antenas y Módulos de RF. (Ibarra, 2020)	43
Figura 41. Diagrama de conexiones Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	44
Figura 42. Pruebas de datos iniciales con la Primera Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	47
Figura 43. Diagrama de flujo para configurar la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)	49
Figura 44. Creación Módulo de Sistema Extensión. (Ibarra, 2020).....	49
Figura 45. Creación Módulos de RF. (Ibarra, 2020)	50
Figura 46. Creación de Sectores de la Segunda Portadora de LTE.(Ibarra, 2020)	51
Figura 47. Configurar capacidad de tráfico en los Sectores LTE 1P y 2P. (Ibarra, 2020).....	52
Figura 48. Configuración RET de los sectores de la Primera y Segunda Portadora. (Ibarra, 2020)	52
Figura 49. Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico. (Telcosys, 2013)	53
Figura 50. Configuración Lógica de la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)	54
Figura 51. Sectores Operativos Primera y Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	54
Figura 52. Pruebas de datos con la Primera y Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)	55
Figura 53. Carrier Aggregation Tipo Intra-Band no contigua. (Bassam et al., 2013).....	56
Figura 54. Escenario de Despliegue con Carrier Aggregation. (Iwamura et al., 2010).....	57
Figura 55. Diagrama de flujo para configurar Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020).....	57
Figura 56. Asignación de Sector_ID (Cell_ID) y Local_Cell_ID. (Ibarra, 2020).....	58
Figura 57. Funcionalidad de Carrier Aggregation con una PCell y una SCell. (Novoa Cristhoffer, 2016)	58
Figura 58. Creación de la Relación de PCell con SCell en los sectores de la Primera Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)	60
Figura 59. Creación de la Relación de PCell con SCell en los sectores de la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)	60
Figura 60. Activación Carrier Aggregation (Ibarra, 2020)	61
Figura 61. Velocidades Teóricas con Carrier Aggregation en el Prototipo de Pruebas. (Husikyan, 2015)	61
Figura 62. Pruebas de datos con la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)61	
Figura 63. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales y velocidades de datos con la Segunda Portadora operativa. (Ibarra, 2020)	64

Figura 64. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales y velocidades de datos esperados con Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)	65
Figura 65. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales, velocidades de datos con la Segunda Portadora operativa y velocidades de datos esperados con Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)	66

Índice de Tablas

Tabla 1	Tecnologías Existentes en la Estación Móvil de Pruebas	13
Tabla 2	Capacidad de la Transmisión IP de la PTN.....	14
Tabla 3	Configuración Actual del eNB.....	19
Tabla 4	Capacidad de los Módulos de Sistema para la Estación Móvil de Pruebas.....	22
Tabla 5	Capacidad del Módulo de RF para la Estación Móvil de Pruebas	24
Tabla 6	Tráfico en Mbps por cada Sector LTE	24
Tabla 7	Velocidades de Transmisión Pico	30
Tabla 8	Consumo de Energía.....	31
Tabla 9	Información de Radio LTE a Implementar	36
Tabla 10	Equipos y Materiales de Instalación.....	39
Tabla 11	Porcentajes de Tráfico en la Tecnología 3G	46
Tabla 12	Frecuencias LTE y 3G en la Banda 2 - 1900 MHz.....	46
Tabla 13	Velocidades de Datos Iniciales de los Sectores de la Primera Portadora de LTE	47
Tabla 14	Distribución LTE y 3G en la Banda 1900 MHz.....	48
Tabla 15	Velocidades de Datos de la Primera y Segunda Portadora de LTE.....	55
Tabla 16	Asignación de la Relación de la PCell con la SCell	59
Tabla 17	Velocidades de Datos Teóricos y Esperados al configurar Carrier Aggregation.....	62
Tabla 18	Incremento de Velocidad de Datos con la Configuración de la Segunda Portadora de LTE .	63
Tabla 19	Incremento Esperado de la Velocidad de Datos con la Configuración de la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation	65

Resumen

En el presente proyecto se realiza un estudio para mejorar el aumento de la velocidad de datos en una estación móvil con tecnología LTE basado en Segunda Portadora y Carrier Aggregation. Se inicia con una descripción de las configuraciones soportadas en estaciones móviles con tecnología LTE y con una descripción de la funcionalidad de Carrier Aggregation donde se detalla tanto sus tipos y escenarios de despliegue. Luego se realiza una revisión de una estación móvil con tecnología LTE existente, para determinar la distribución de la banda 2 de 1900 MHz y la configuración actual de los módulos de sistema, módulos de RF y antenas. En la etapa del diseño se contempla una solución mediante el dimensionamiento de módulos de banda base, módulos de RF, puertos de antena, consumo de energía y ancho de banda de transmisión requeridos para implementar un prototipo de pruebas, en la estación móvil con tecnología LTE donde se realizó la revisión. A continuación, se realiza una visita técnica a la estación móvil de pruebas para determinar la ubicación donde se instalarán los nuevos módulos y los materiales de instalación requeridos para completar la implementación del prototipo de pruebas. Finalmente se muestra los resultados de las pruebas que se realizaron con la implementación de la Segunda Portadora de LTE, así como los resultados predictivos al configurar la funcionalidad de Carrier Aggregation. En los anexos se incluye las medidas del sistema radiante implementado con la Segunda Portadora de LTE y las pantallas de las pruebas de datos realizadas con la Primera Portadora de LTE y con la Segunda Portadora de LTE.

Abstract

In this project, studying the increase in data rate in a mobile station with LTE technology based on Second Carrier and Carrier Aggregation is carried out. It begins with not only does the description of the configurations supported in mobile stations with LTE technology but also the description of the Carrier Aggregation functionalities, where both the types and deployment scenarios are detailed. After that a review of an existing LTE mobile station is performed in order to determine the distribution of 1900 MHz band 2 and the current configuration of system modules, RF modules, and antennas. Regarding design stage, a solution is considered by sizing baseband modules, RF modules, antenna ports, energy consumption and transmission bandwidth required for the purpose of implementing a test prototype in the mobile station with LTE technology where the review was performed. Then a technical visit to the test mobile station is performed in order to determine not only does the location where the new modules are installed but also the installation materials required to complete the test prototype implementation. Finally, the data rate tests result with the implementation of the LTE Second Carrier are shown, as well as, the data rate predictive results with the Carrier Aggregation functionalities. The annexes include the measurements of the radiant system implemented with the LTE Second Carrier and the screens of the data rate performed with the LTE First Carrier and with the LTE Second Carrier.

Problemática

La creciente demanda de ancho de banda, el incremento de usuarios de tecnología LTE y los nuevos requerimientos de las nuevas aplicaciones tecnológicas, ha ocasionado que los usuarios de esta tecnología demanden mayor velocidad de datos a las Operadoras Móviles.

Algunas estaciones móviles con tecnología LTE, cuentan con un hardware mínimo, lo que ocasiona que no se pueda habilitar nuevas funcionalidades para aumentar la capacidad de ancho de banda y por ende la velocidad de datos.

Las estaciones móviles con tecnología LTE, se han implementado con una portadora ya que cuentan con una capacidad mínima de módulos de RF y módulos de banda base, lo que ocasiona que se tenga un ancho de banda y velocidades de datos limitados.

Las nuevas funcionalidades de LTE como Carrier Aggregation, Segunda Portadora, MIMO 4x4, entre otras, no se están aplicando a la red móvil LTE, lo que ocasionan que las velocidades de datos se mantengan en los mismos niveles pico y promedio de cuando se implementaron por primera vez.

Con el avance de la tecnología a pasos agigantados, los usuarios de datos móviles tienen malas experiencias, al percibir que las velocidades de datos no son suficientes para las nuevas aplicaciones.

Justificación

Mediante la aplicación de nuevas funcionalidades de la red LTE como lo es el caso de Segunda Portadora y Carrier Aggregation, se va a incrementar las velocidades de datos con facilidad.

Con un adecuado análisis de la capacidad actual del hardware de una estación móvil, se logrará optimizar el uso de este o se validará si se requiere de nuevo hardware para implementar las nuevas funcionalidades de LTE.

Mediante un diseño adecuado de los módulos de RF y módulos de banda base, para implementar Segunda Portadora y Carrier Aggregation, se puede aumentar el ancho de banda y por ende la velocidad de datos.

Por medio de la utilización de la Segunda Portadora, se puede aplicar las funcionalidades de Carrier Aggregation, para resolver así algunas limitaciones en la capacidad, desempeño y velocidades de datos.

Con una apropiada implementación y evaluación de las funcionalidades de Segunda Portadora y Carrier Aggregation, se tendrá una mejor experiencia de usuario, al brindarle mayores velocidades de descarga de datos.

Antecedentes

Las Operadoras Móviles en base al espectro de frecuencia asignado, cuentan con un despliegue de red LTE con una sola portadora, lo cual limita los picos y promedios de las velocidades de datos. Actualmente se tiene una tendencia creciente de líneas de Internet móvil con tecnología LTE como se muestra en la figura 1, y con la creciente demanda de mayor ancho de banda por parte de los usuarios para tener mejores velocidades de datos, se ha visto la necesidad de investigar nuevas funcionalidades como Segunda Portadora y Carrier Aggregation para aumentar las velocidades de datos.

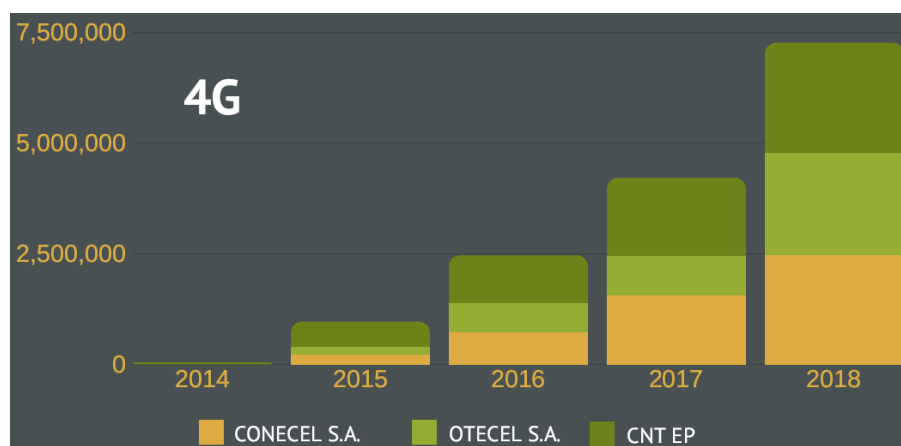


Figura 1. Líneas de internet móvil para la tecnología de LTE. (ARCOTEL, 2019)

El estudio realizado por (Novoa, 2016) para el caso de éxito de la implementación de Segunda Portadora y Carrier Aggregation en Viña del Mar – Chile, aporta a la investigación en temáticas como dimensionamiento de los módulos de banda base, módulos de RF y antenas a utilizar en la estación móvil; también aporta con la parametrización de la estación móvil de pruebas.

El estudio realizado por (Iwamura et al., 2010) sobre Carrier Aggregation Framework en 3GPP LTE-Advanced, contribuye en el desarrollo de la investigación con temas relacionados a los protocolos utilizados en Carrier Aggregation.

En el trabajo de Titulación de (Yupanki, 2016), en donde se realiza un estudio técnico comparativo de LTE y LTE Advanced, aportará en el proceso del análisis de la investigación, ya que se revisará nuevas funcionalidades que se podría utilizar para optimizar los valores picos y promedios de la velocidad de datos del usuario.

En el estudio realizado por (Iskandar & Galih, 2016), en donde se realiza una evaluación de throughput en LTE con Carrier Aggregation aportará en la parte de la evaluación de la investigación.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un estudio para el aumento de la velocidad de datos en una estación móvil utilizando tecnología LTE basado en Segunda Portadora y Carrier Aggregation.

Objetivos Específicos

- Analizar la capacidad de una estación móvil con tecnología LTE haciendo una revisión del hardware disponible para la optimización de su uso o su posible expansión.
- Diseñar una solución en base a Segunda Portadora y Carrier Aggregation haciendo un dimensionamiento de un prototipo, con nuevo HW requerido para el mejoramiento en capacidad de la estación móvil.
- Estudiar la implementación de una estación móvil con Segunda Portadora y Carrier Aggregation haciendo una visita técnica (TSS) a un sitio de pruebas, para la validación del espacio físico para los nuevos módulos de RF y de banda base.
- Evaluar las velocidades de datos obtenidos, haciendo pruebas del antes y después de la implementación de Segunda Portadora y Carrier Aggregation para la validación del mejoramiento de las velocidades de datos.

Desarrollo

1. Capítulo I: Fundamentos Teóricos

1.1 Configuraciones soportadas en estaciones móvil con tecnología LTE

LTE es el estándar utilizado para comunicaciones móviles de transmisión de datos de alta velocidad. En Ecuador, se tiene actualmente 3 Operadoras Móviles que brindan este servicio, los cuales han implementado la red LTE con proveedores de equipos de telecomunicaciones como lo son Nokia, Huawei, ZTE, Alcatel, Siemens y Ericsson.

Las Operadoras Móviles tienen una arquitectura general de red LTE como se muestra en la figura 2, la cual incluye la Estación Móvil o eNB por sus siglas en inglés enhanced Node B y la Red de Core o EPC por sus siglas en inglés Evolved Packet Core. El EPC incluye el MME (Mobility Management Entity) que desempeña funciones de un servidor de señalización y otras funcionalidades; el S-GW (Serving Gateway) y P-GW (Packet Data Network Gateway) que cumplen la función de intercambio de tráfico de usuario con la red de core IP y con redes externas.

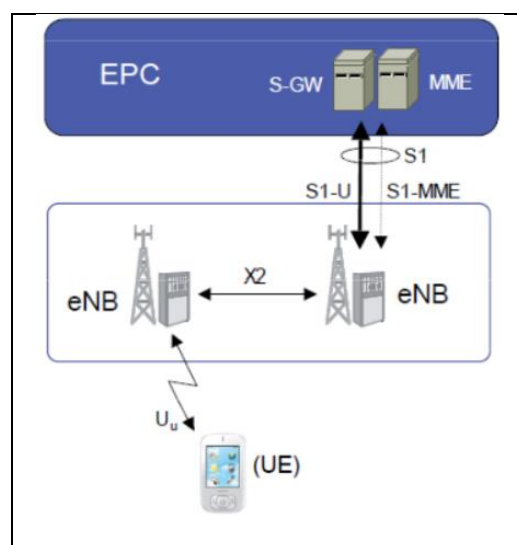


Figura 2. Arquitectura General de una red LTE. (Sánchez, 2016)

Este estudio se va a enfocar en la Estación Móvil o eNB, la cual tiene una arquitectura como se muestra en la figura 3.

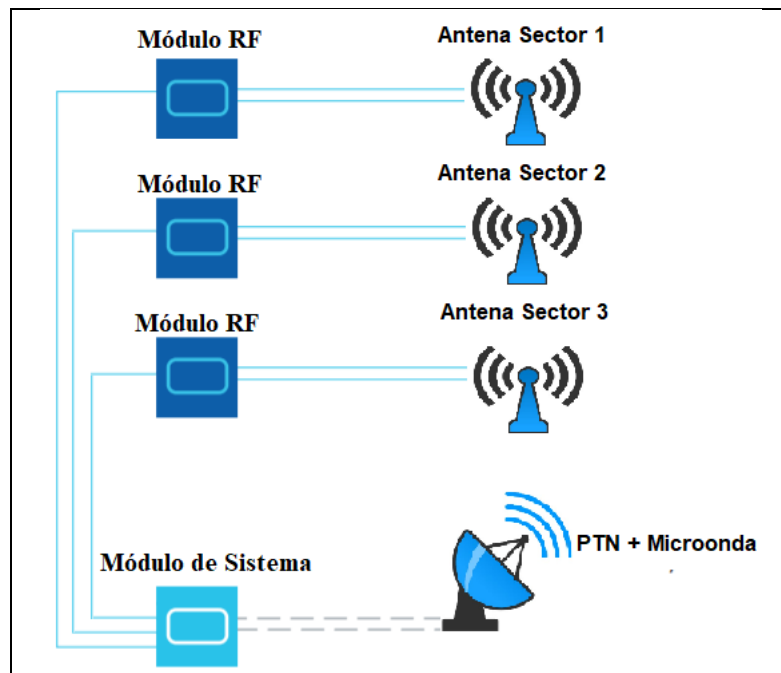


Figura 3. Arquitectura General de una Estación Móvil o eNB. (Ibarra, 2020)

En general, una estación móvil o eNB está conformada por los siguientes elementos:

- **Módulo de Sistema.** Se encarga del control de las telecomunicaciones mediante el archivo de configuración, el almacenamiento y operación del software del sistema, así como de las funciones de banda base, transmisión y distribución de energía.
- **Módulo de RF.** El módulo de radio frecuencia es encargado de transmitir y recibir señales de múltiples tecnologías de radio simultáneamente.
- **Sistema Radiante.** Se encarga de transmitir y recibir ondas radioeléctricas que están en el aire, permitiendo a los teléfonos celulares acceder a la red LTE y está conformado por las antenas celulares y la guía de onda.
- **Sistema de Transmisión.** Conformado por la PTN (Packet Transport Network) y una Microonda IP, encargados de la comunicación entre el eNB y el EPC.

Se procedió a revisar la red LTE de la Operadora Móvil 1 de la Zona Norte, la cual tiene sus eNB implementados con tres sectores y son Feederless Site, es decir, los Módulos de RF están instalados cerca de las antenas, tanto para sitios tipo torre como se muestra en la figura 4, como para sitios tipo terraza, lo cual se muestra en la figura 5.

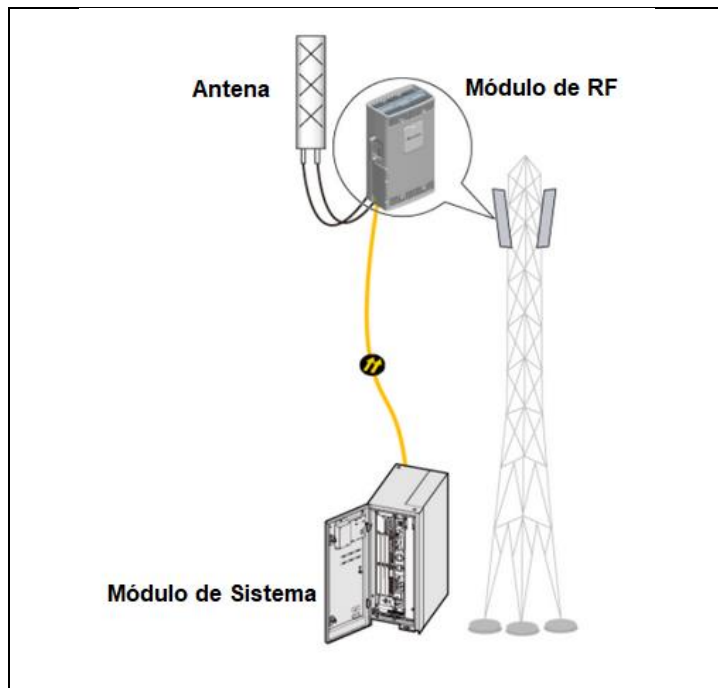


Figura 4. Feederless Site - Torre. (Huawei, 2016)

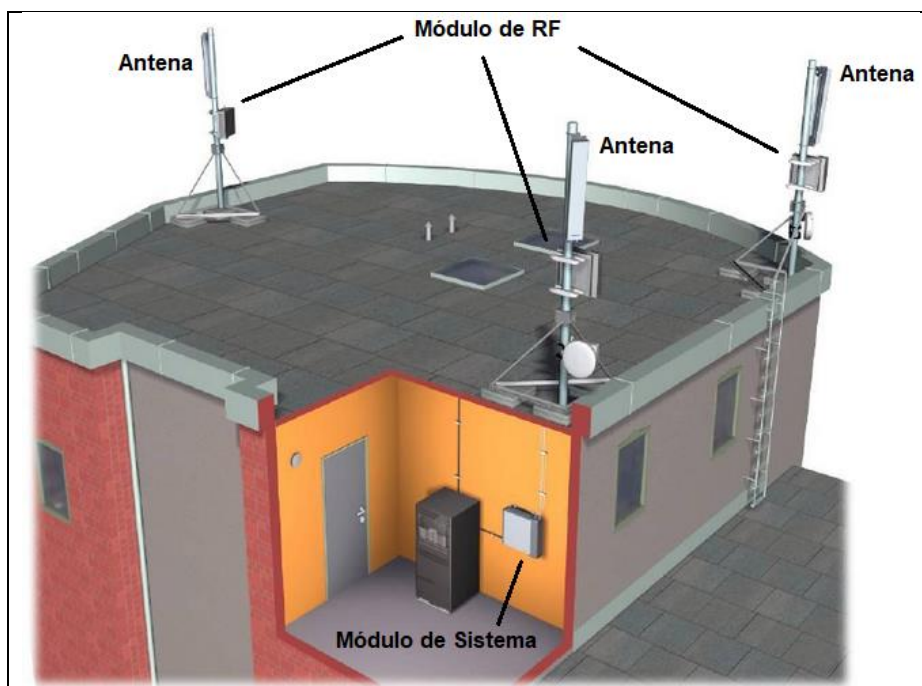


Figura 5. Feederless Site – Terraza. (NSN, 2013)

La implementación de la solución Feederless Site, se la realiza con la finalidad de conseguir los siguientes beneficios:

- Mejor desempeño a nivel de RF, ya que no presenta feeder loss.
- Facilita la instalación ya que reduce la cantidad de guía de onda.
- Elimina la necesidad de ciertos elementos del sistema radiante como lo son los amplificadores de señal de RF.
- Reducción de la carga y peso sobre la infraestructura.
- Reducción del consumo de energía.

La mayor parte de los eNB implementados con la Operadora Móvil 1 soportan los siguientes tipos de configuraciones, las cuales están basadas en la manera de cómo se conectan los Módulos de RF con las Antenas de cada sector.

1.1.1 Configuración Tipo A. Esta configuración fue utilizada en los primeros sitios de despliegue de la red LTE, en los cuales utilizaban 1 Módulo de RF para conectar 3 Sectores, tal como se muestra en la Figura 6, en donde cada sector soporta una configuración 1x2 SIMO (single input, multiple output), es decir, una configuración con 1TX + 2 RX, debido a que el módulo de RF implementado tiene 6 puertos de antena, de los cuales, 3 puertos son TX/RX y 3 puertos son RX y cada sector se conecta a 1 puerto TX/RX y a 1 puerto RX. Actualmente este tipo de configuración se utiliza en soluciones tipo poste, la cual es implementada para dar cobertura a carreteras.

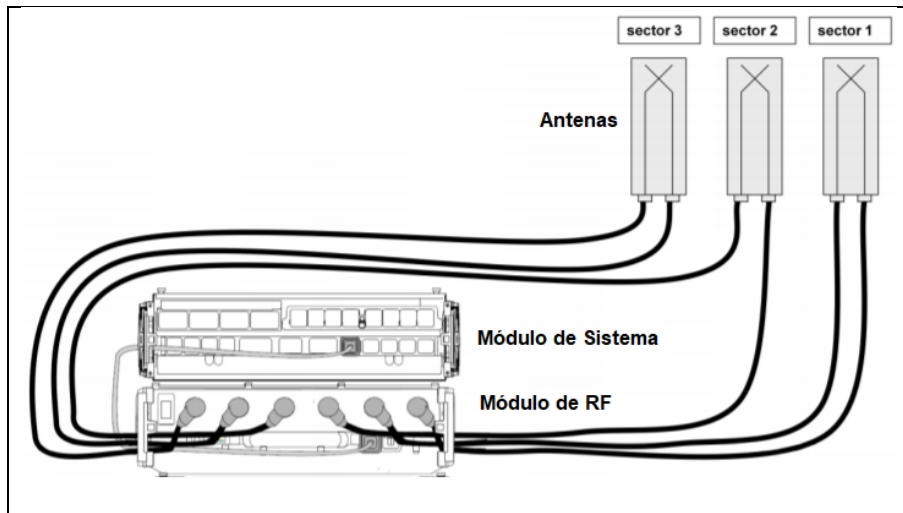


Figura 6. Configuración Tipo A. (NSN, 2012)

1.1.2 **Configuración Tipo H (Concentrada).** Esta es una de las configuraciones que actualmente se utiliza en sitios de despliegue de la red LTE, en los cuales se utiliza 2 Módulos de RF para conectar 3 Sectores, tal como se muestra en la figura 7, en donde cada sector soporta una configuración 2x2 MIMO (multiple input, multiple output), es decir, una configuración con 2TX + 2 RX, debido a que cada sector se conecta a 1 puerto TX/RX de cada Módulo de RF. Este tipo de configuración se implementa en sitios que cuentan con Torre o Monopolo como infraestructura, con la finalidad de aprovechar la distancia equidistante entre los Módulos de RF y las antenas.

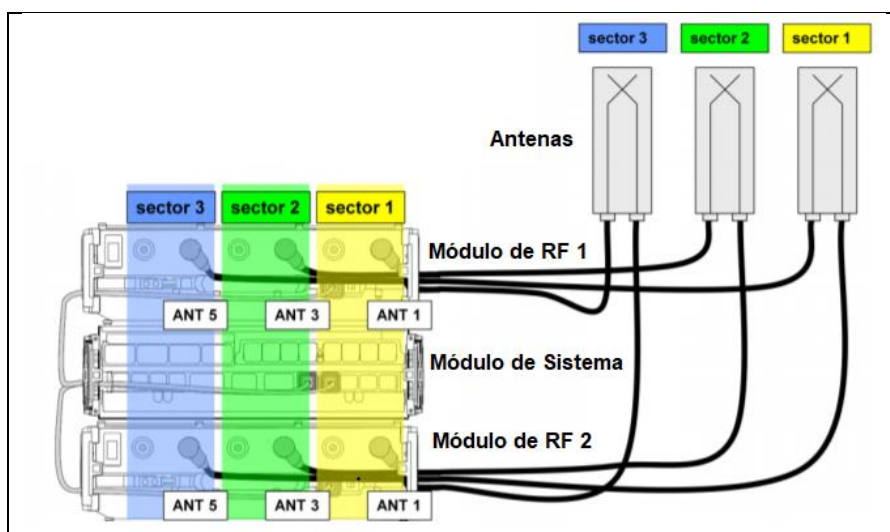


Figura 7. Configuración Tipo H o Concentrada. (NSN, 2012)

1.1.3 **Configuración Tipo G (Distribuida).** Esta es una de las configuraciones que también se utiliza hoy en día en sitios de despliegue de la red LTE, en los cuales se utiliza 3 Módulos de RF para conectar 3 Sectores, como se muestra en la figura 8, en donde cada sector soporta una configuración 2x2 MIMO (multiple input, multiple output), es decir, una configuración con 2TX + 2 RX, debido a que cada sector se conecta a 2 puertos TX/RX del mismo Módulo de RF. Este tipo de configuración se implementa en sitios que cuentan con terraza y mástiles como infraestructura, con la finalidad de implementar los módulos de RF de manera distribuida, es decir, lo más cerca de cada antena.

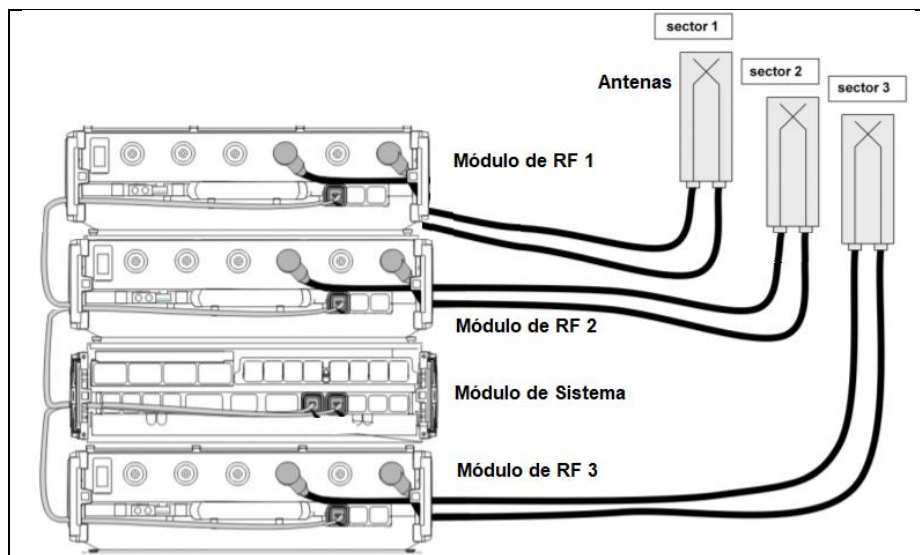


Figura 8. Configuración Tipo G o Distribuida. (NSN, 2012)

1.2 Introducción a Carrier Aggregation

Carrier Aggregation (CA) se utiliza en LTE para aumentar el ancho de banda, aumentando así la tasa de bits; cada portadora se denomina Component Carrier (CC); en FDD el número de portadoras puede ser diferente en DL y UL; sin embargo, el número de CC de UL debe ser siempre igual o menor que el número de CC de DL. (Wannstrom, 2013)

El objetivo principal de aplicar la funcionalidad de Carrier Aggregation a través de dos o más portadoras o Component Carrier (CC), es el de aumentar el rendimiento promedio y máximo a nivel de User Throughput.

Para hacer posible Carrier Aggregation, se debe configurar una celda normal con otra celda lógica en el mismo sector como se muestra en la figura 9, en donde cada una de las celdas puede tomar el rol de Celda Primaria (PCell) o Celda Secundaria (SCell). PCell y SCell deben estar colocadas. (Novoa, 2016)

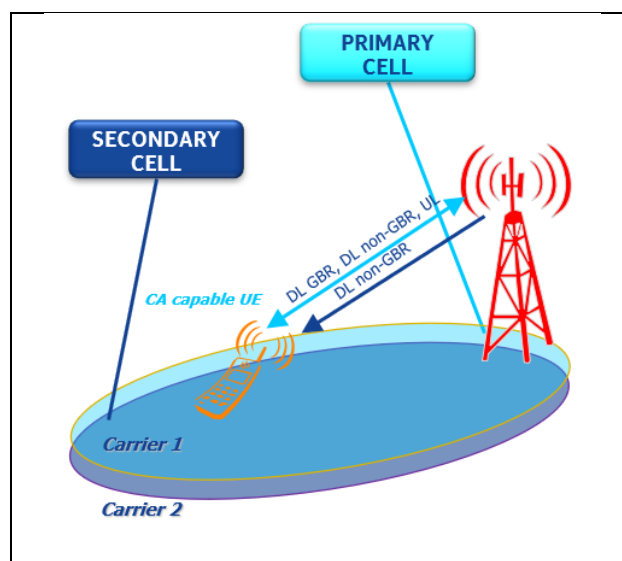


Figura 9. Carrier Aggregation con una PCell y una SCell. (Novoa Cristhoffer, 2016)

PCell, es la celda en la cual un equipo de usuario (UE) establece la conexión, esta maneja los dos tipos de datos de usuario GBR y non-GBR, así como la señalización de UL y DL. SCell, es la celda adicional configurada para la funcionalidad de CA, utilizada para manejar datos de usuario non-GBR y señalización. (Novoa, 2016)

La funcionalidad de Carrier Aggregation se puede habilitar en estaciones móvil (eNB) con diferentes configuraciones de antena como lo es 1Tx+2Rx (SIMO), 2Tx+2Rx (2x2 MIMO), 2Tx+4Rx (2x4 MIMO) y 4Tx+4Rx (4x4 MIMO).

Las CC pueden tener un ancho de banda de 1.4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz y se puede agregar un máximo de 5CC, por lo tanto, el ancho de banda agregado máximo es de 100

MHz. Los CC individuales también pueden tener diferentes anchos de banda. Para TDD, el número de CC, así como los anchos de banda de cada CC serán los mismos tanto para DL como para UL. (Wannstrom, 2013)

1.3 Tipos de Carrier Aggregation

En general, se tiene tres escenarios para Carrier Aggregation que se detallan en la figura 10 y de los cuales se comentan a continuación.

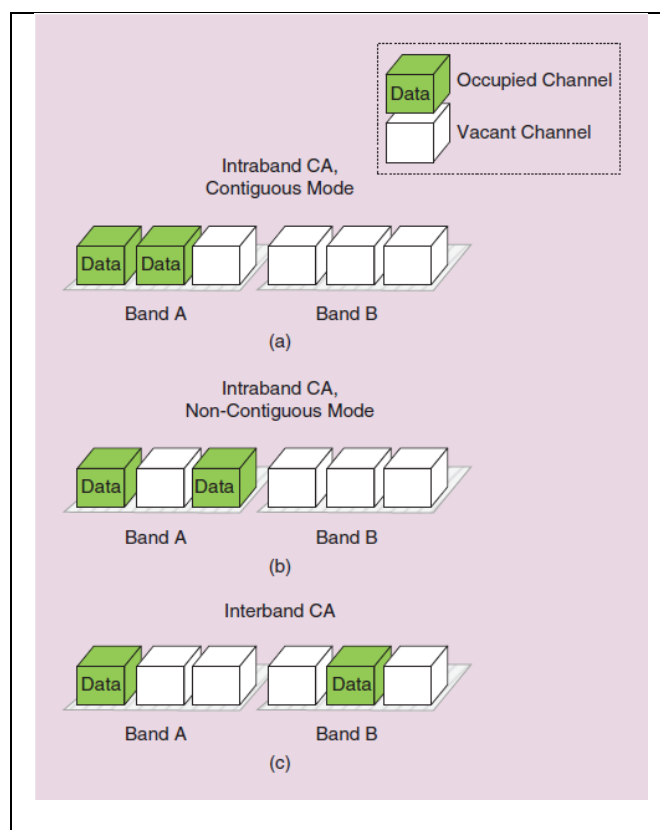


Figura 10. Tipos de Carrier Aggregation: a) Intra-band contiguo; b) Intra-band no-contiguo; c) Inter-band non-contiguo. (Bassam et al., 2013)

1.3.1 CA Intra-band contiguo. Es cuando se utiliza una sola banda. Es la forma más simple de implementar CA en LTE. En este escenario las portadoras son contiguas. El canal agregado puede considerarse por el terminal como un único canal ampliado desde el punto de vista de RF. (Al-Shibly et al., 2012)

1.3.2 CA Intra-band no contiguo. En este escenario las portadoras no pueden ser tratadas como una sola señal, por lo tanto, se requiere dos transeptores. Esto

agrega una complejidad significativa, especialmente en los UE donde el espacio, la potencia y el costo son factores importantes. (Al-Shibly et al., 2012)

1.3.3 CA Inter-band no contiguo. Este tipo de CA utiliza diferentes bandas. Es útil porque da la posibilidad de combinar anchos de banda fragmentados, formados por varias bandas. Esto requiere que el UE necesite el uso de múltiples transceptores, lo que impactará al costo, rendimiento y potencia. (Al-Shibly et al., 2012)

1.4 Escenarios de despliegue con Carrier Aggregation

Con CA, son posibles varios despliegues de red, como se muestran en la Figura 11, donde se toman en cuenta solo 2 CC denominados CC 1 y CC 2. En la práctica, se puede considerar un mayor número de CC, así como escenarios de despliegue mixto.

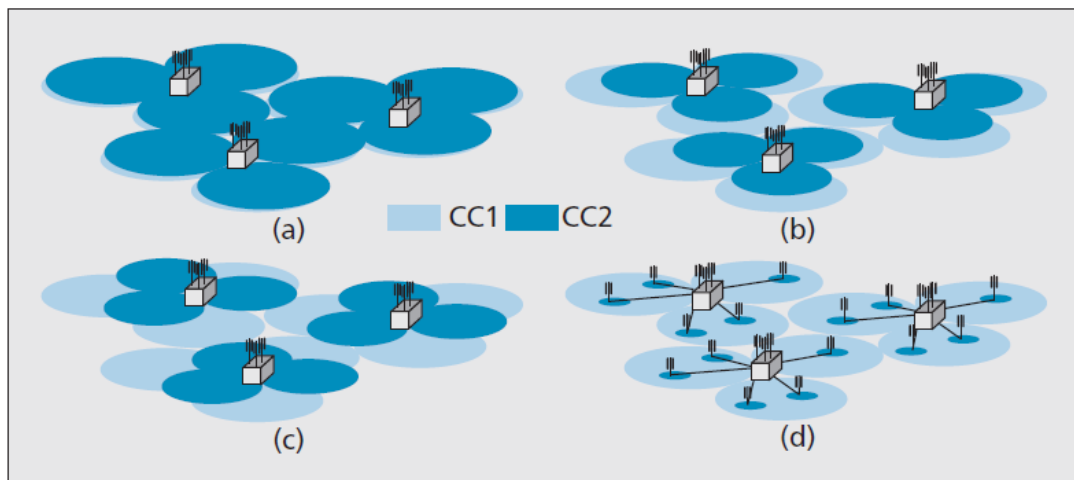


Figura 11. Escenarios de despliegue con CA: a) Escenario 1; b) Escenario 2; c) Escenario 3; d) Escenario 4. (3GPP TS 36.300 como se citó en (Iwamura et al., 2010))

1.4.1 Escenario 1. Es uno de los escenarios más típicos, donde las antenas del eNB están colocadas de tal manera que tengan el mismo azimut y patrones de haz

para los CC, proporcionando así la misma cobertura en todos los CC. (Iwamura et al., 2010)

- 1.4.2 **Escenario 2.** En la práctica, la asignación de espectro para una operadora móvil se dispersa en diferentes bandas, con lo cual se tiene una gran separación de frecuencia. En esos casos la cobertura para un CC (de una frecuencia más alta) puede ser más pequeño que el de otro CC. Incluso en la misma banda, los CC pueden desplegarse con diferentes niveles de potencia de transmisión, proporcionando así diferentes huellas de cobertura con el fin de controlar la interferencia inter-celdas. (Iwamura et al., 2010)
- 1.4.3 **Escenario 3.** En algunos despliegues, las antenas del eNB para diferentes CC pueden tener diferentes azimut y patrones de haz, esto puede deberse a un esquema de sectorización diferente o en una configuración donde los azimuts de la antena son intencionalmente cambiados a través de los operadores para mejorar las zonas de cobertura. (Iwamura et al., 2010)
- 1.4.4 **Escenario 4.** El CC1 de un eNB proporciona una cobertura de macro-celdas, mientras que los remote radio head (RRH) de CC2 se utilizan para mejorar el rendimiento en los puntos críticos de tráfico. Las celdas RRH están conectadas a través de fibras ópticas al eNB, por lo tanto, permite la agregación de CC entre la macro-celda y la celda RRH. Tal despliegue le permite a la operadora móvil mejorar el rendimiento del sistema, mediante el uso de equipos RRH de bajo costo. (Al-Shibly et al., 2012)

2. Capítulo II: Análisis de la Situación Actual de una Estación Móvil con tecnología LTE.

Para el análisis y revisión de la configuración de una Estación Móvil o eNB se procedió a seleccionar un sitio de la Operadora Móvil 1, el cual se encuentra ubicado en la Zona Norte del país, específicamente en la ciudad de Quito. Este sitio será utilizado como la estación móvil de pruebas donde se implementará la Segunda Portadora de LTE y se realizará el estudio de los parámetros a configurar para habilitar la funcionalidad de Carrier Aggregation.

El sitio seleccionado es un sitio tipo Federless – Terraza, con 3 sectores, como se muestra en la figura 12, sitio que fue seleccionado por la facilidad de accesos, por su factibilidad de transportar e instalar los nuevos equipos requeridos, por su infraestructura, la cual no requiere de adecuaciones mayores, así como por la mimetización existente del sitio, la misma que cubrirá toda la terraza y por ende a los nuevos equipos a instalar.



Figura 12. Estación Móvil de Pruebas. (Ibarra, 2020)

2.1 Situación actual de la Estación Móvil de pruebas con tecnología LTE.

En la Estación Móvil de pruebas seleccionada, se tiene las tecnologías 2G, 3G y 4G implementadas en equipos independientes, tal como se detalla en la tabla 1, de la cual se puede verificar que la tecnología 2G esta implementada en la banda de 850 MHz, la tecnología 3G se encuentra implementada tanto en la banda de 850 MHz como en la banda de 1900 MHz y la tecnología 4G se encuentra implementada en la banda de 1900 MHz.

Tabla 1
Tecnologías Existentes en la Estación Móvil de Pruebas

Tipo de Equipo	Tecnología Existente	Numero Sector	Banda (MHz)	Portadora 850	Portadora 1900
BTS_2G	GSM	0	850	2	0
BTS_2G	GSM	1	850	2	0
BTS_2G	GSM	2	850	2	0
NB_3G	UMTS	0	850	2	0
NB_3G	UMTS	1	850	2	0
NB_3G	UMTS	2	850	2	0
NB_3G	UMTS	4	1900	0	2
NB_3G	UMTS	5	1900	0	2
NB_3G	UMTS	6	1900	0	2
eNB_4G	LTE	0	1900	0	1
eNB_4G	LTE	1	1900	0	1
eNB_4G	LTE	2	1900	0	1

Nota. Información conseguida desde los GUI (Graphical User Interface) de cada equipo. (Ibarra, 2020)

En base a la información de la tabla 1, se puede confirmar que la puesta en servicio comercial de la Segunda Portadora de LTE y la funcionalidad de Carrier Aggregation, van a requerir que se apague la portadora de la tecnología 3G en la banda de 1900 MHz, con la finalidad de liberar espectro en esta banda para que sea utilizado por la tecnología 4G; para realizar esta actividad la Operadora Móvil 1, debe realizar un estudio de cobertura y capacidad de las portadoras de la tecnología 2G, 3G y 4G existentes, con el propósito de validar que el tráfico existente en la portadora de la tecnología 3G en la banda de 1900 MHz, sea cubierto.

La estación móvil de pruebas está integrada al EPC mediante una transmisión IP con fibra óptica a través de una PTN (Packet Transport Network), que actualmente tiene las características detalladas en la tabla 2, en la cual se puede validar que la capacidad del puerto de transmisión de la PTN donde se conecta el eNB, es de 100 Mbps y tiene una proyección de incremento de hasta 150 Mbps.

Tabla 2
Capacidad de la Transmisión IP de la PTN

Equipo	Configurado (Mbps)	Tipo Tx actual	Capacidad Tx (Mbps)
PTN	100	FO	150

Nota. Información proporcionada por la Operadora Móvil 1. (Ibarra, 2020)

El eNB almacena información estadística relacionada con su rendimiento mediante el Performance Management, el cual facilita algunos BTS Counters para revisar esta información. Para la revisión, se van a utilizar los siguientes BTS Counters:

- Throughput-DL (MC183), el cual permite revisar los valores de Downlink alcanzados por el usuario.
- Throughput-UL (MC185), el cual permite revisar los valores de Uplink alcanzados por el usuario.

En base a los BTS Counters mencionados, se procedió a obtener la siguiente información de Throughput de DL y UL de cada sector del eNB.

- Sector 1 o LNCEL-0, presenta velocidades de Downlink menores a 35 Mbps, tal como se muestra en la figura 13.

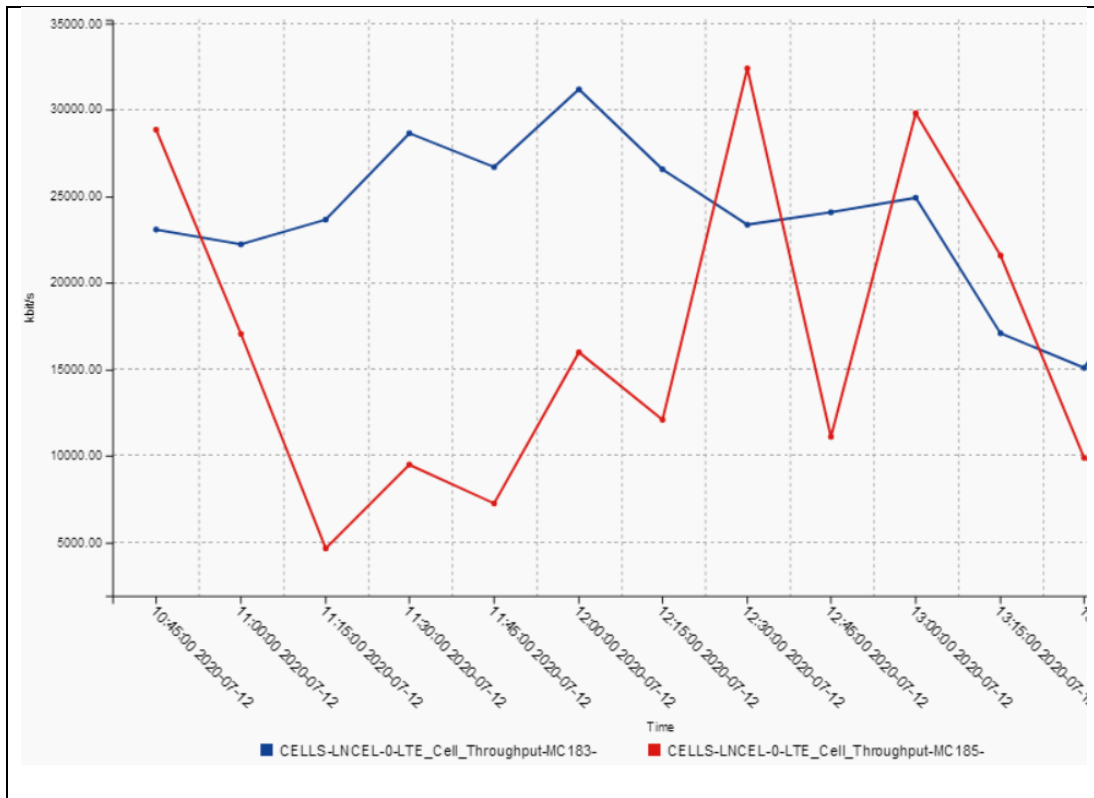


Figura 13. Velocidades de DL y UL del Sector 1.(Ibarra, 2020)

- Sector 2 o LNCEL-1, presenta velocidades de Downlink menores a 16 Mbps, tal como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Velocidades de DL y UL del Sector 2. (Ibarra, 2020)

- Sector 3 o LNCEL-2, presenta velocidades de Downlink menores a 20 Mbps, tal como se muestra en la figura 15.

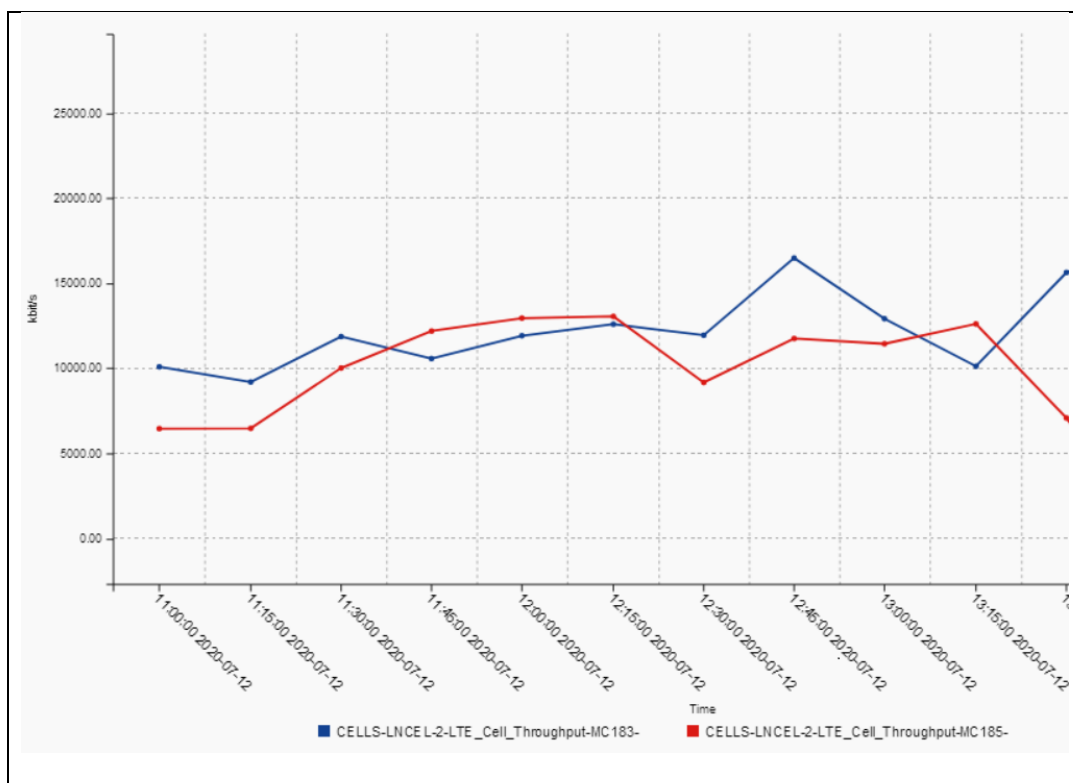


Figura 15. Velocidades de DL y UL del Sector 3. (Ibarra, 2020)

2.2 Configuración actual de la Estación Móvil de pruebas con tecnología LTE

La Estación Móvil de pruebas seleccionada, es un sitio Outdoor, es decir sus equipos están instalados y distribuidos en mástiles que se encuentran sobre la terraza con una configuración del Tipo G o distribuida.

En la figura 16 se detallan los módulos de RF de la Primera Portadora de LTE, los módulos de sistema y las conexiones entre los módulos de RF de cada sector con los módulos de sistema existentes.

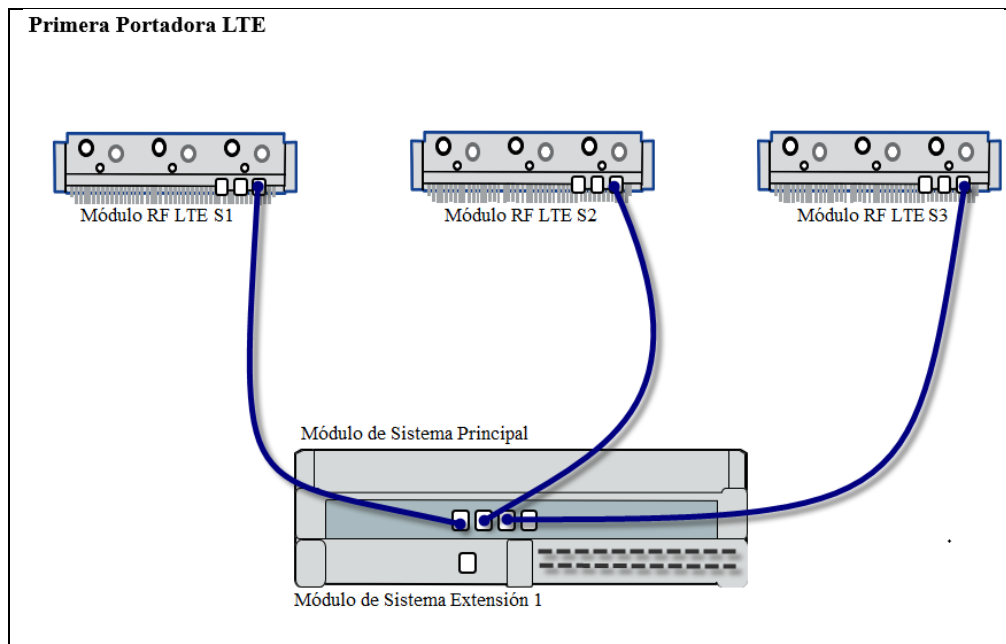


Figura 16. Configuración Física Actual del eNB. (Ibarra, 2020)

El eNB está instalado e integrado a la red de LTE con los siguientes equipos de telecomunicaciones:

- **Módulos de Sistema.** El hardware seleccionado para realizar las funciones de un módulo de sistema principal es 1 SMOD (System Module – Type F), y el hardware utilizado para realizar las funciones de un módulo de sistema de extensión es 1 BBMOD (BaseBand Module Capacity Extension – Type C). Esta configuración brinda la capacidad necesaria para implementar el eNB con 3 Sectores, dejando capacidad de reserva para sectores adicionales.
- **Módulos de RF.** El hardware seleccionado en el sitio para realizar las funciones de los módulos de RF en la banda de 1900 MHz, son los RMOD (Radio Frequency Module – Type C). Para lo cual se implementó 1 módulo de RF por cada sector.

En la figura 17 se muestran las conexiones existentes entre cada módulo de RF con su respectiva Antena, con una configuración MIMO 2x4 (2TX + 4RX). Las Antenas existentes son del tipo Quad-Band, es decir tiene 2 bandas en 1900 MHz y 2 bandas en 850 MHz.

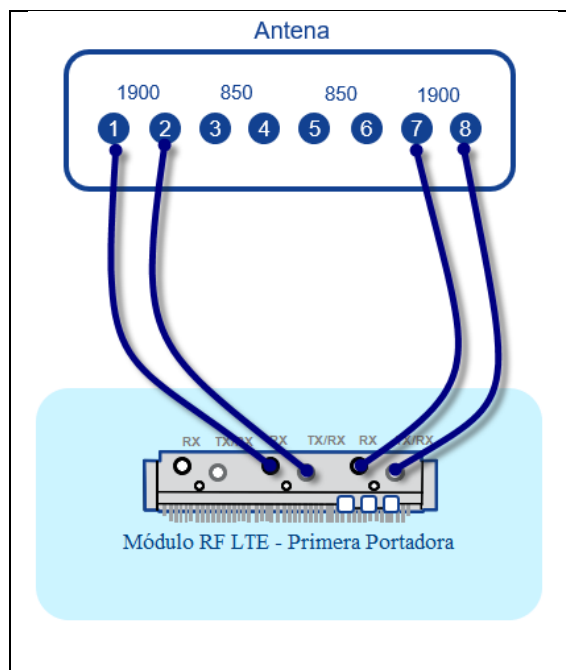


Figura 17. Conexión Actual entre Antena y Módulo de RF para cada sector. (Ibarra, 2020)

La revisión de la configuración lógica actual del eNB de pruebas, se la realizó mediante la utilización del respectivo GUI (Graphical User Interface), con el cual se puede validar los 3 sectores de Primera Portadora de LTE operativos, cada uno de ellos configurados con un ancho de banda de 20 MHz, como se muestra en la figura 18.

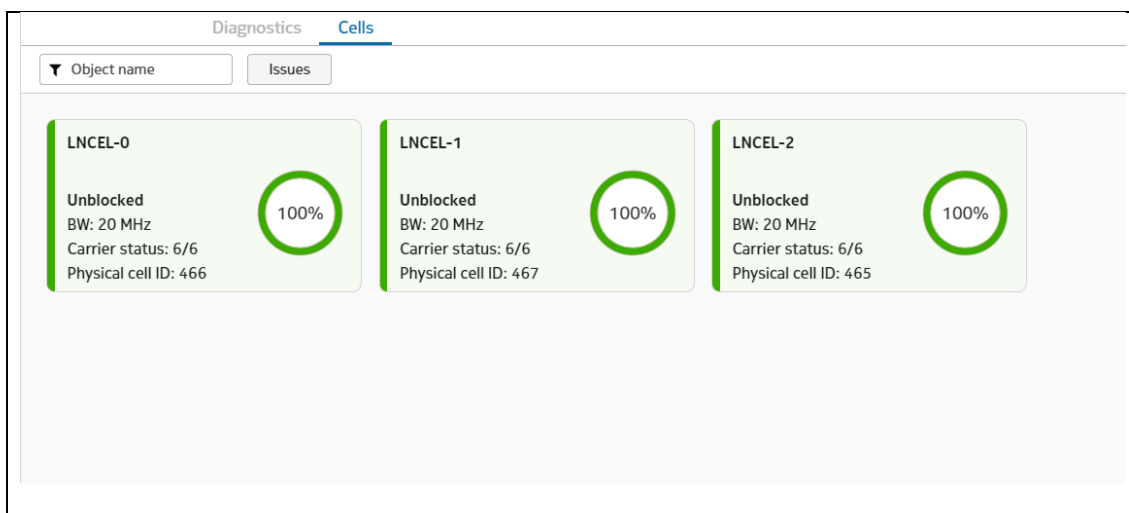


Figura 18. Sectores Operativos de la Primera Portadora de LTE en el eNB. (Ibarra, 2020)

En la figura 19 se muestra la configuración lógica del sitio, en donde se puede visualizar que se tiene un eNB con una configuración Tipo G o distribuido, con 3 módulos de RF

(RMOD), 1 módulo de sistema principal (SMOD) y 1 módulo de sistema de extensión (BBMOD).

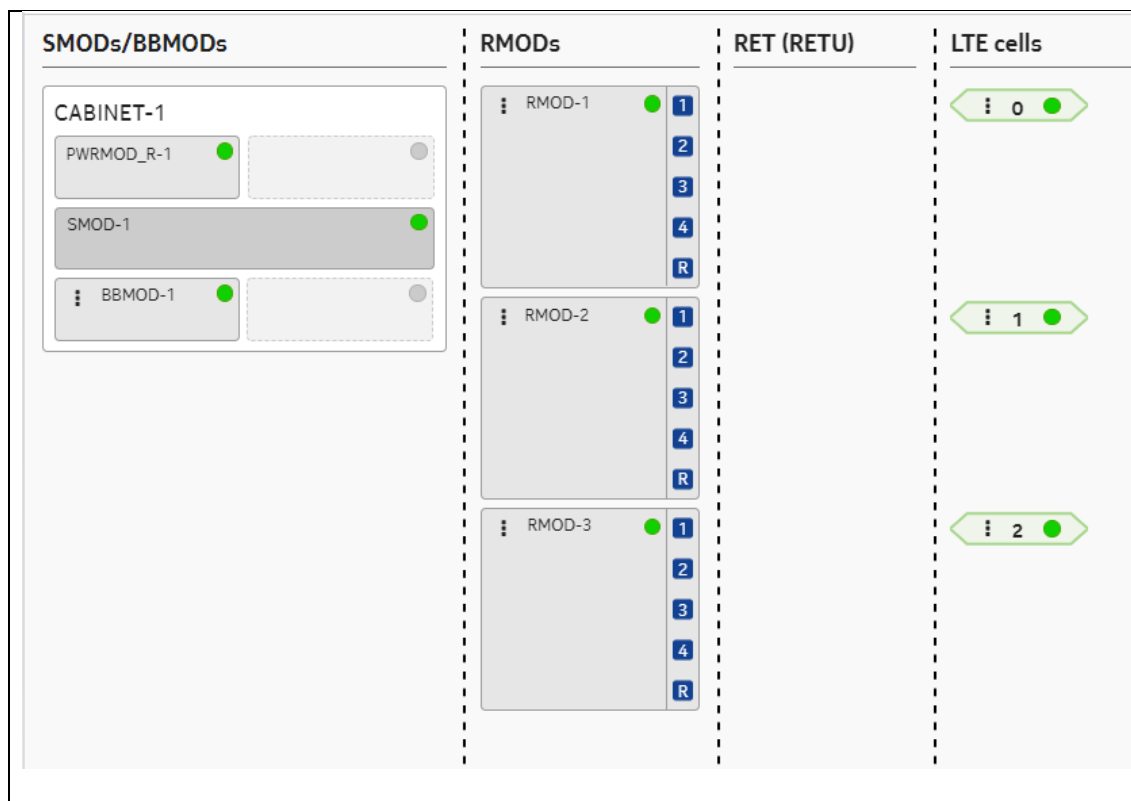


Figura 19. Configuración Lógica Actual del eNB. (Ibarra, 2020)

En la tabla 3, se presenta un resumen de la configuración actual del sitio de pruebas.

Tabla 3
Configuración Actual del eNB

Ítem	Observaciones
Tecnología	LTE
Número Total Sectores o LNCEL	3
Primera Portadora	3 sectores
Segunda Portadora	0 sectores
Módulos de Sistema	1 SMOD + 1 BBMOD
Módulos de RF	3 RMOD
Configuración	G distribuida
MIMO	2x4
Potencia por sector	40 W
Ancho de Banda por sector	20 MHz

Nota. Resumen de la revisión del sitio de pruebas. (Ibarra, 2020)

3. Capítulo III: Diseño de una solución basada en Segunda Portadora y Carrier Aggregation para aumentar las velocidades de datos.

La Estación Móvil de pruebas esta implementada con los siguientes equipos y antenas de telecomunicaciones:

- Los Módulos de Sistema, los Módulos de Sistema de Expansión y los Módulos de RF.
- Las Antenas Quad-Band, las cuales cuentan con 2 bandas en 1900 MHz y 2 bandas en 850 MHz.

Para el diseño y dimensionamiento de una solución basada en Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation se lo realizará tomando en cuenta los siguientes requerimientos:

- Se implementará la Segunda Portadora de LTE con 3 sectores, es decir, con la misma cantidad de sectores de la Primera Portadora de LTE.
- La configuración de los Módulos de RF de la Segunda Portadora LTE, tendrán una configuración Tipo G o distribuida.
- Los sectores de la Segunda Portadora tendrán una configuración MIMO 2x2 (2 TX + 2 RX), por tratarse de sectores de prueba.
- Cada sector de la Segunda Portadora de LTE tendrá un ancho de banda de 5MHz, el cual fue asignado por la Operadora Móvil 1, con la finalidad de reutilizar el ancho de banda de la tecnología 3G en la banda de 1900 MHz, y realizar de esta forma las respectivas pruebas.

- Cada sector de la Segunda Portadora de LTE tendrá una potencia de 20 W, con la finalidad de reducir la cobertura de cada sector, para fines de controlar la interferencia inter-celdas.

3.1 Dimensionamiento de módulos de banda base

En base a las capacidades de los Módulos de Sistema que se detallan en la Figura 20, se puede especificar tanto las capacidades totales de los Módulos de Sistema existentes, así como las capacidades requeridas para la estación móvil de pruebas.

SMOD / BBMOD		
	Core	BB ext.
Capacity	SMOD	BBMOD
BW/cell	20	20
LTE cells	3	3
RF links	4	1




Figura 20. Capacidad de los Módulos de Sistema. (NSN, 2012)

Para implementar 3 sectores de la Segunda Portadora de LTE con una configuración Tipo G o distribuida, los Módulos de Sistema deben soportar las siguientes especificaciones:

- Ancho de banda de 20 MHz (Primera Portadora) + 5 MHz (Segunda Portadora) por cada sector.
- Número mínimo de 6 sectores LTE; 3 Sectores de la Primera Portadora y 3 sectores de la Segunda Portadora.
- Número mínimo de 6 RF links, esto con la finalidad de conectar directamente los Módulos de RF con los Módulos de Sistema, evitando así utilizar funcionalidades de RF Sharing o RF Chaining, lo cual afectarían en el estudio por la afectación directa en las velocidades de datos.

En la tabla 4 se detalla la capacidad total requerida, la capacidad de los Módulos de Sistema existentes y la capacidad de los Módulos de Sistema a implementar.

Tabla 4

Capacidad de los Módulos de Sistema para la Estación Móvil de Pruebas

	Capacidad Requerida	Capacidad SMOD + 1 BBMOD	Validación	Capacidad SMOD + 2 BBMOD	Validación
BW/cell	20 MHz + 5 MHz	20MHz + 20MHz	<input checked="" type="checkbox"/>	20 MHz + 40 MHz	<input checked="" type="checkbox"/>
LTE cells	6	6	<input checked="" type="checkbox"/>	9	<input checked="" type="checkbox"/>
RF links	6	5	<input checked="" type="checkbox"/>	6	<input checked="" type="checkbox"/>

Nota. Información que detalla los Módulos de Sistema requeridos para implementar los 3 sectores de la Segunda Portadora. (Ibarra, 2020)

En resumen, para implementar la Segunda Portadora de LTE, se requiere de 1 Módulo de Sistema de Extensión, el cual se implementará como se muestra en la figura 21.

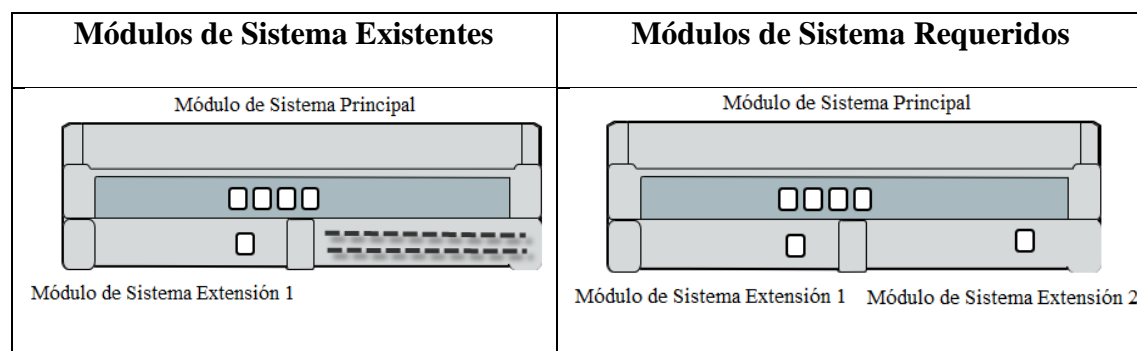


Figura 21. Módulos de Sistema requeridos. (Ibarra, 2020)

3.2 Dimensionamiento de módulos RF

En base a las capacidades de los Módulos de RF que se detallan en la Figura 22, se puede especificar tanto las capacidades de los Módulos de RF de la Primera Portadora de LTE, así como las capacidades requeridas para los Módulos de RF de la Segunda Portadora LTE de la estación móvil de pruebas.

Property	Value
Output power	3x80 W
TX frequency range	1930-1990 MHz
RX frequency range	1850-1910 MHz
DL instantaneous bandwidth	35 MHz

RMOD




Figura 22. Capacidades del Módulo de RF de 1900MHz. (NSN, 2012)

Para implementar 3 sectores para la Segunda Portadora LTE con una configuración Tipo G o distribuida, los Módulos de RF deben soportar las siguientes especificaciones:

- Ancho de banda por sector de 5 MHz.
- Potencia mínima por sector de 20 W.
- Configuración mínima de 1 Sector LTE por cada módulo de RF.
- Configuración MIMO 2x2 (2TX + 2RX).
- Banda de Frecuencia de 1900 MHz.

En la tabla 5 se detalla la capacidad total requerida y la capacidad de los Módulos de RF a implementar.

Tabla 5
Capacidad del Módulo de RF para la Estación Móvil de Pruebas

	Capacidad Requerida	Módulo RF	Validación
BW/cell	5 MHz	35 MHz	<input checked="" type="checkbox"/>
Potencia/cell	20 W	80 W	<input checked="" type="checkbox"/>
MIMO 2x2	SI	SI	<input checked="" type="checkbox"/>
Banda de Frecuencia	1900 MHz	1900 MHz	<input checked="" type="checkbox"/>

Nota. Información que detalla la capacidad del Módulo de RF por sector. (Ibarra, 2020)

En la tabla 6, se detalla el tráfico en Mbps por cada sector, en base al ancho de banda asignado y a la configuración MIMO implementada; con esta información se puede determinar los módulos ópticos SFP (Small Form-factor Pluggable transceptor) que se requiere para conectar cada módulo de RF con los módulos de sistema. De esta forma se valida que con SFP de 6 Gbps se estará dimensionando el tráfico de cada sector de la Segunda Portadora de LTE y también quedará dimensionado para una futura ampliación del sector LTE a 20 MHz con MIMO 4x4.

Tabla 6
Tráfico en Mbps por cada Sector LTE

LTE BW	2TX2RX (Mbps)	2TX4RX (Mbps)	4TX4RX (Mbps)
20 MHz	2457.6	4915.2	5898
5 MHz	614.4	1228.8	1475

Nota. Información sobre el tráfico de usuario por cada sector LTE. (NSN, 2013)

En la estación móvil de pruebas, al ser un sitio Tipo Terraza, los Módulos de RF estarán a menos de 100 m de distancia con respecto a los Módulos de Sistema, razón por lo cual se utilizará fibras ópticas Multimodo para interconectarlos. En la figura 23, se detalla las conexiones entre los módulos de RF con los módulos de sistema existentes, así como las conexiones entre los módulos de RF con los módulos de sistema requeridos para implementar la Segunda Portadora de LTE.

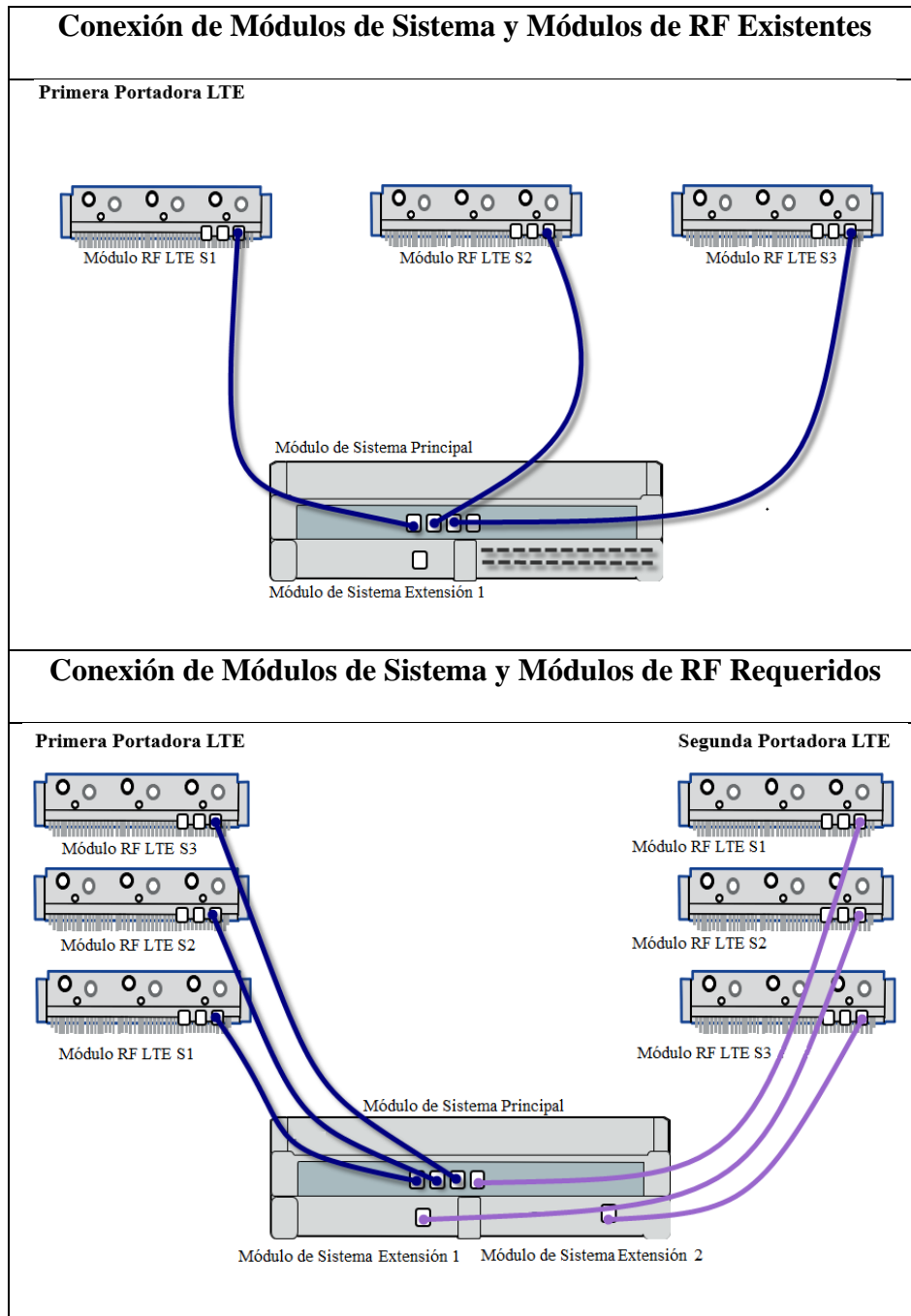


Figura 23. Conexión de Módulos de Sistema y Módulos de RF. (Ibarra, 2020)

En resumen, para implementar la Segunda Portadora de LTE, se requiere de los siguientes módulos de RF, Fibras Ópticas y módulos ópticos SFP:

- 3 módulos de RF de 1900 MHz, 1 módulo de RF por cada sector LTE.
- 3 fibras Ópticas Multimodo, 1 fibra óptica por cada módulo de RF.

- 6 módulos ópticos SFP de 6 Gbps, 2 módulos ópticos por cada módulo de RF. Un SFP se conecta a lado del módulo de RF y el otro SFP se conecta a lado del módulo de sistema.

3.3 Dimensionamiento de Antenas

Las antenas existentes son Huawei modelo AQU4518R24v06, las cuales tienen disponible 2 banda de 850 MHz y 2 bandas de 1900 MHz. Las bandas de 1900 MHz se encuentran ocupadas por los sectores de la Primera Portadora de LTE, razón por la cual, se requiere de una antena que soporte mínimo 3 bandas de 1900 MHz para implementar la Segunda Portadora LTE. Para la estación móvil de pruebas se determinó trabajar con la antena Huawei modelo AQU4518R11v06, la cual tiene disponible 1 banda de 850 MHz y 3 bandas de 1900 MHz como se muestra en la figura 24.

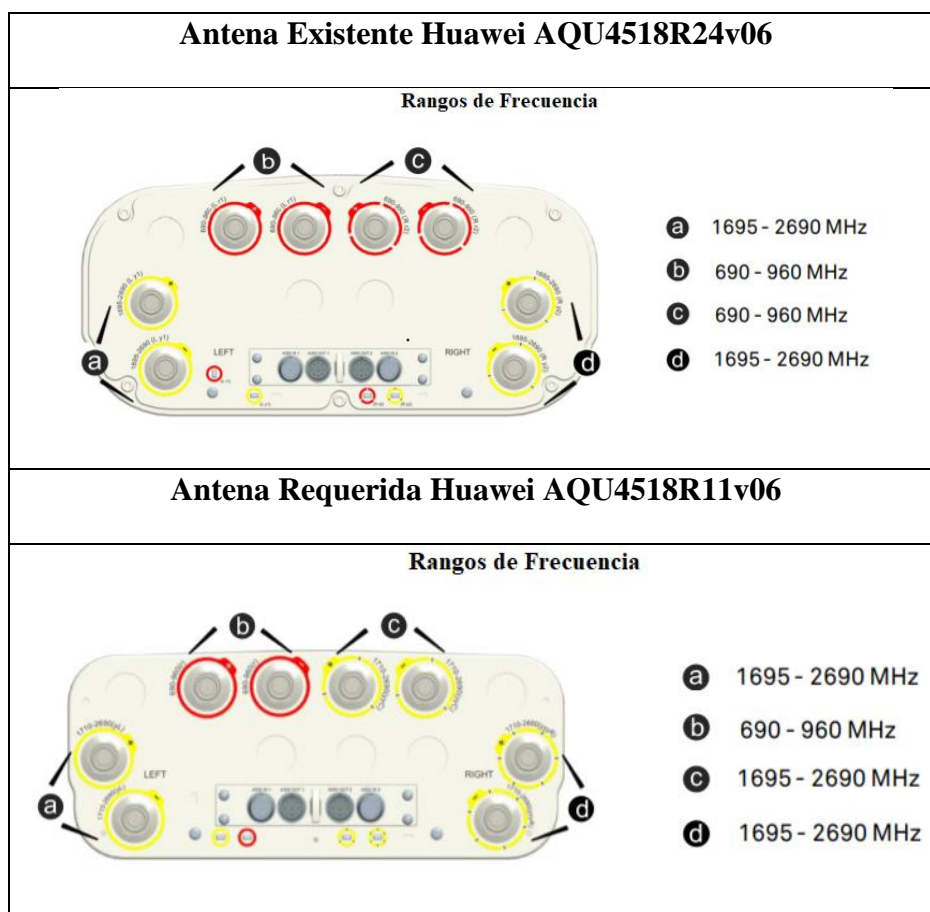


Figura 24. Rangos de Frecuencia de las Antenas Huawei. (Huawei, 2017)

La antena Huawei AQU4518R11v06 seleccionada para implementar la Segunda Portadora de LTE, tiene el lóbulo de radiación principal, similar al lóbulo de radiación principal de la antena existente Huawei AQU4518R24v06, tal como se muestra en la figura 25, por lo que no se requiere realizar una optimización del sitio luego de que se realice el cambio de antenas en la estación móvil de pruebas. Adicionalmente se procederá a instalar los cables AISG para habilitar y configurar los RET (Remote Electrical Tilt) de los sectores de la Primera y Segunda Portadora de LTE, con la finalidad de poder realizar ajustes de la cobertura de las antenas de manera remota, si fuera el caso.

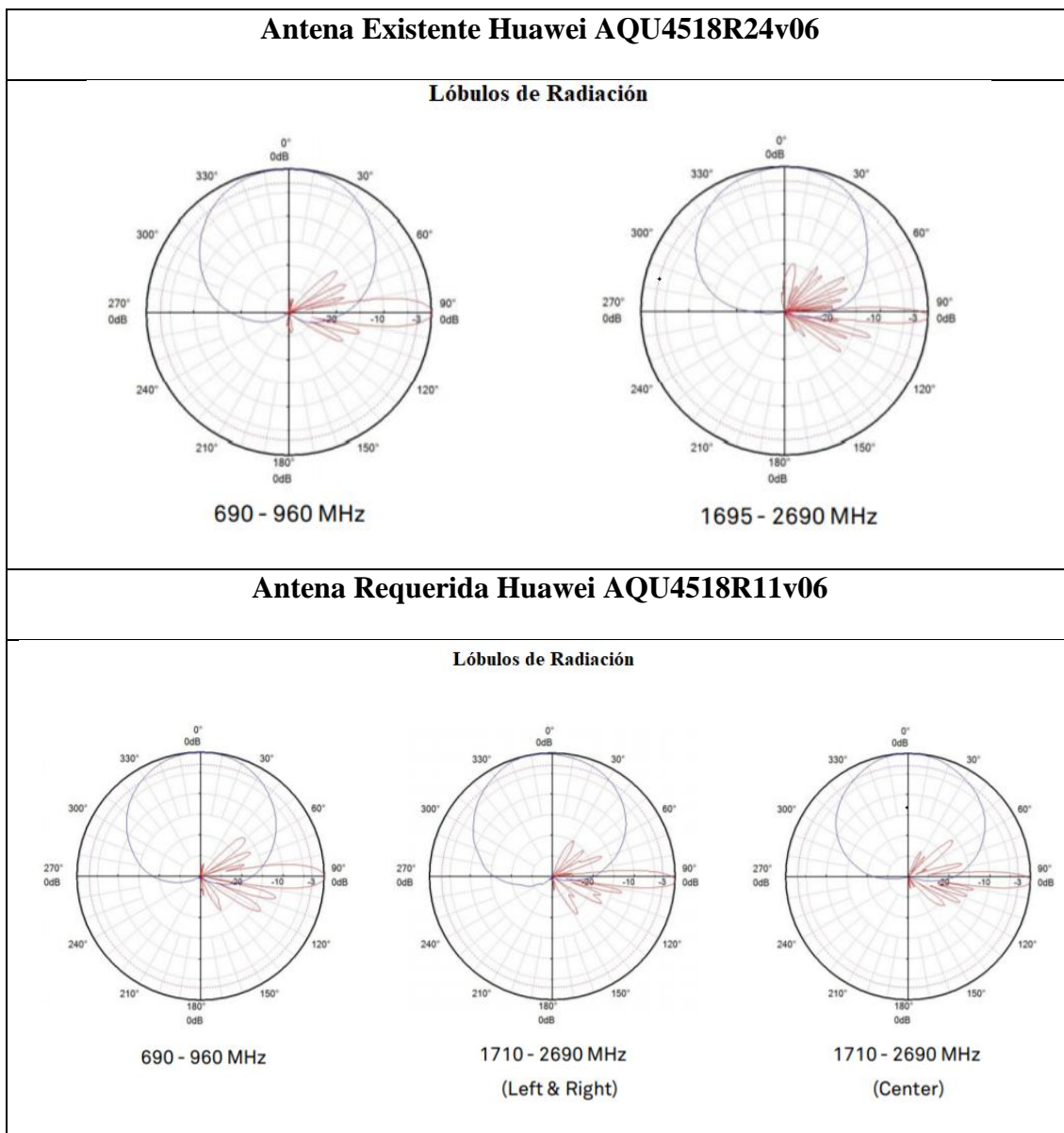


Figura 25. Lóbulos de Radiación de las Antenas. (Huawei, 2017)

Adicionalmente la antena seleccionada Huawei AQU4518R11v06 tiene la misma dimensión en altura, pero tiene menor dimensión en ancho y profundidad, que la antena existente Huawei AQU4518R24v06 como se muestra en la figura 26, por lo que se podrá reutilizar los soportes de antenas existentes. Las nuevas antenas por instalar, al ser de similares dimensiones que las antenas existentes, no requerirán adecuaciones relacionadas con la mimetización del sitio.

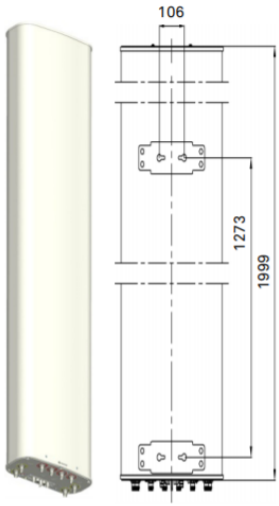
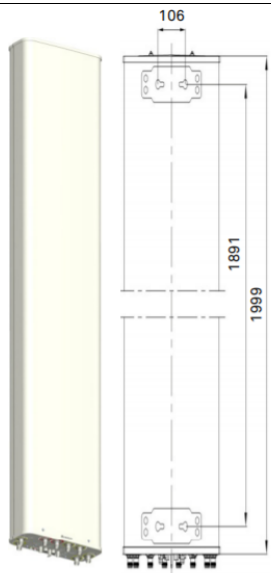
Antena Existente Huawei AQU4518R24v06	
Mechanical Properties	
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1999 x 429 x 196
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	2195 x 530 x 270
Antenna weight (kg)	32.2
Clamps weight (kg)	3.6 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	45.9 (Included clamps)
Mast diameter supported (mm)	50 - 115
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-40 .. +65
Wind load (N)	Frontal: 910 (at 150 km/h) Lateral: 265 (at 150 km/h) Rear side: 910 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	200
Survival wind speed (km/h)	250
Connector	8 x 4.3-10 Female
Connector position	Bottom
	
Antena Requerida Huawei AQU4518R11v06	
Mechanical Properties	
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1999 x 369 x 149
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	2265 x 435 x 240
Antenna net weight (kg)	28.2
Clamps weight (kg)	3.6 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	43.0 (Included clamps)
Mast diameter supported (mm)	50 - 115
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-40 .. +65
Wind load (N)	Frontal: 985 (at 150 km/h) Lateral: 195 (at 150 km/h) Rear side: 980 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	200
Survival wind speed (km/h)	250
Connector	8 x 4.3-10 Female
Connector position	Bottom
	

Figura 26. Especificaciones Mecánicas de las Antenas. (Huawei, 2017)

En resumen, para implementar la Segunda Portadora de LTE, se requiere de las siguientes antenas, jumpers de antena y cables AISG:

- 3 antenas Huawei AQU4518R11v06.
- 6 jumper de antena, 2 jumper de antena por cada sector de LTE, para conectar los módulos de RF con la Antena, y tener así una configuración MIMO 2x2 (2TX + 2RX).
- 3 cables AISG, 1 por cada antena, para conectar el puerto RET de la antena con el puerto RET del módulo de RF, con la finalidad de habilitar y configurar los RET de cada sector LTE.

En la figura 27, se detalla tanto las conexiones entre el módulo de RF y la antena de cada sector existente, así como las conexiones entre el módulo de RF y la antena de cada sector requerido para implementar la Segunda Portadora de LTE.

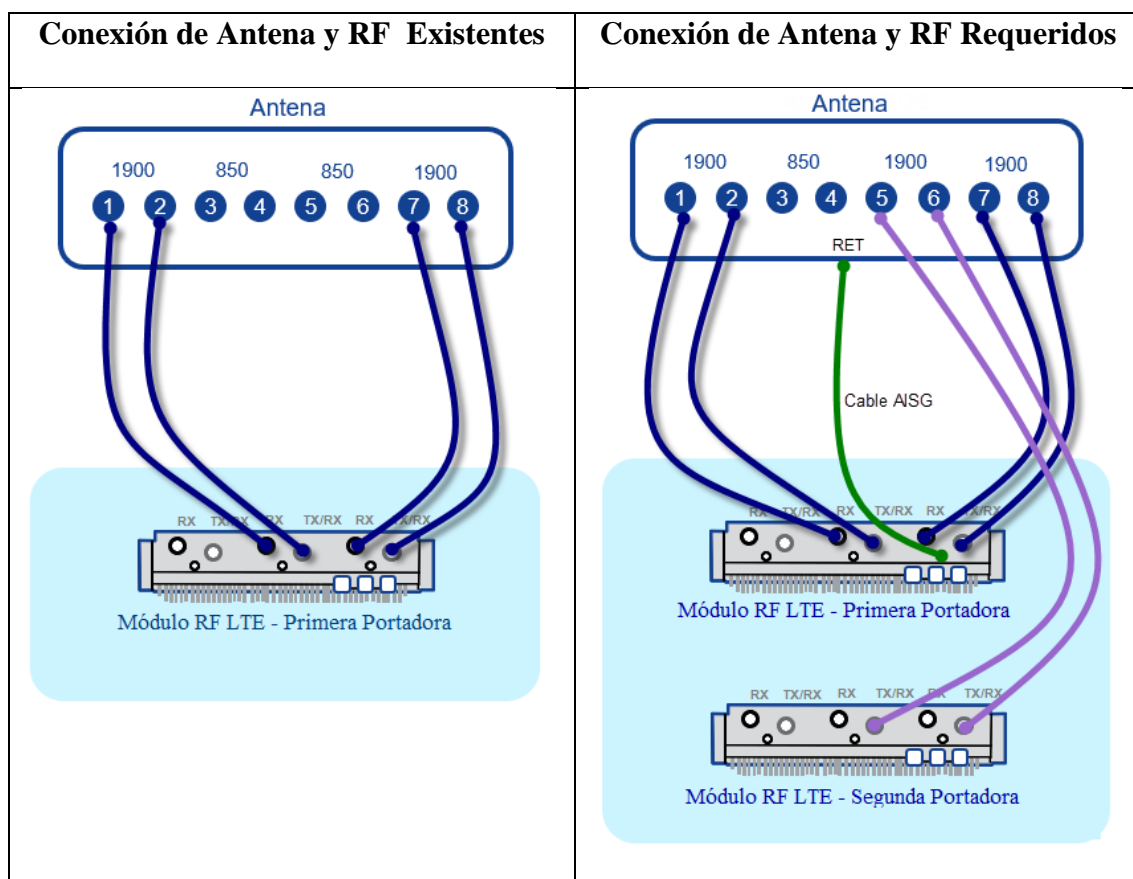


Figura 27. Conexiones de Antena y Módulos de RF para cada sector. (Ibarra, 2020)

3.4 Dimensionamiento del Ancho de Banda de la Transmisión

Para el dimensionamiento del ancho de banda de la transmisión, requerida para la implementación de la Segunda Portadora de LTE, se va a revisar la figura 28, en la cual se puede validar que la velocidad teórica de transmisión pico a la que se llegará con los sectores de la Primera Portadora con un ancho de banda de 20 MHz y MIMO 2x4 es de 150.752 Mbps, mientras que los sectores de la Segunda Portadora con un ancho de banda de 5 MHz y con MIMO 2x2, sería de 36.672 Mbps.

	1.4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
DL (SISO)	4.392 Mbps	11.064 Mbps	18.336 Mbps	36.696 Mbps	55.056 Mbps	75.376 Mbps
DL (MIMO 2x2-2x4)	8.784 Mbps	22.128 Mbps	36.672 Mbps	73.392 Mbps	110.112 Mbps	150.752 Mbps
DL (MIMO 4x4)	17.52 Mbps	44.304 Mbps	73.392 Mbps	150.752 Mbps	220.272 Mbps	299.552 Mbps

Figura 28. Velocidades Teóricas de Transmisión Pico LTE para diferentes anchos de banda. (ZTE, 2011)

En la tabla 7 se presenta un resumen de las velocidades teóricas pico, que se alcanzaría con los sectores de la Primera Portadora de LTE, con los sectores de la Segunda Portadora de LTE y cuando se habilite las funcionalidades de Carrier Aggregation, lo cual sería la suma de velocidades de la Primera y Segunda Portadora de LTE.

Tabla 7
Velocidades de Transmisión Pico

	Ancho de Banda (MHz)	MIMO	Velocidades de Transmisión Pico (Mbps)
Primera Portadora	20	2x4	150,752
Segunda Portadora	5	2x2	36,672
Carrier Aggregation			187,424

Nota. Velocidades de transmisión teóricas pico con la Primera Portadora, Segunda Portadora y Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

En resumen, para implementar la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation, se requiere un ancho de banda de transmisión de 190 Mbps, para velocidades de

transmisión pico. Esta configuración lo validará directamente la Operadora Móvil 1 en la PTN del sitio.

3.5 Dimensionamiento del Consumo de Energía.

En base a los Módulos de Sistema y Módulos de RF que se requieren para implementar la Segunda Portadora, se dimensionará el consumo de energía adicional para la estación móvil de pruebas, tomando en cuenta que se implementará 1 Modulo de Energía para alimentar a los 3 módulos de RF de la Segunda Portadora. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que los equipos de la Estación Móvil de Pruebas trabajan con un sistema de voltaje DC de -48V.

En la tabla 8 se detalla el consumo de energía adicional para implementar la Segunda Portadora de LTE, para lo cual se requiere que la Planta de Energía de la Estación Móvil soporte una carga adicional de 2008W/42A. La revisión de este requerimiento de consumo de energía lo validará directamente la Operadora Móvil 1.

Tabla 8
Consumo de Energía

Equipo	Tipo	Cantidad	Consumo (W)	Consumo Total (W)
Módulo de Sistema	BBMOD	1	147	147
Módulo de RF	RMOD	3	587	1761
Módulo de Energía	EMOD	1	100	100
Consumo Nueva Solución (W)				2008
Consumo Nueva Solución (A)				41.83

Nota. Consumo de energía de los Módulos de Sistema, Módulos de RF y Módulos de Energía requeridos para la implementación de la Segunda Portadora. (Ibarra, 2020)

4. Capítulo IV: Estudio de Implementación de un prototipo de una Estación Móvil de pruebas con Segunda Portadora y Carrier Aggregation.

Para la implementación de la Segunda Portadora y la posterior configuración de Carrier Aggregation se procede a realizar una revisión y estudio de la Estación Móvil de Pruebas, para instalar los siguientes equipos principales:

- Módulos de Sistema.
 - 1 módulo de sistema de extensión
- Módulos de RF.
 - 3 módulos de RF de 1900MHz
- Módulos Ópticos.
 - 6 SFP de 6 Gbps
- Fibras Ópticas.
 - 3 fibras Ópticas Multimodo
- Módulos de Energía.
 - 1 módulo de energía DC
- Antenas.
 - 3 antenas Huawei AQU4518R11v06
- Jumper de Antena.
 - 6 jumper de antena
- Cables de RET.
 - 3 cables AISG

4.1 Visita Técnica a la Estación Móvil de Pruebas para validar los requerimientos para la implementación de un prototipo

Con el dimensionamiento de equipos para la implementación de la Segunda Portadora que se realizó en el Capítulo III, se procede con la visita técnica a la Estación Móvil de Pruebas. Para seleccionar la ubicación de cada equipo, se tomó en cuenta los siguientes lineamientos:

- El Módulo de Sistema de Extensión se instalará en el Módulo de Sistema Principal existente.
- Los Módulos de RF de la Segunda Portadora de LTE se instalarán con una configuración Tipo G o Distribuido, para lo cual se buscará una ubicación lo más cercana a los Módulos de RF existentes de la Primera Portadora de LTE, con la finalidad de instalar jumper de antena de igual longitud y así tener unas pérdidas de cable similares en cada sector de la Primera y Segunda Portadora de LTE.
- El Módulo de Energía se instalará en una ubicación equidistante de los Módulos de RF de la Segunda Portadora de LTE, por lo que al ser un sitio Tipo G o Distribuido, se buscará una ubicación lo más cercana posible al Módulo de Sistema existente.
- Las nuevas antenas se instalarán en los mismos soportes de antena existentes, esto es posible ya que tanto las antenas nuevas como las antenas existentes, tienen dimensiones similares.

En base a los lineamientos que se mencionaron, en la visita técnica se procede a buscar las mejores ubicaciones para instalar cada equipo, para lo cual se tomaron fotografías de cada ubicación seleccionada para cada uno de los módulos dimensionados, de esta forma se realizaron los siguientes fotomontajes:

- En la figura 29 se muestra la ubicación del módulo de sistema de expansión y del módulo de energía. El Módulo de Sistema de Extensión se instalará en el espacio libre del Módulo de Sistema Principal existente, para lo cual no se requiere de ningún elemento adicional de instalación, mientras que el Módulo de Energía se instalará en el mismo soporte donde se encuentran los Módulos de Sistema, a lado derecho visto de frente, para esto se requiere solicitar los elementos de instalación adicionales para una instalación en soporte.

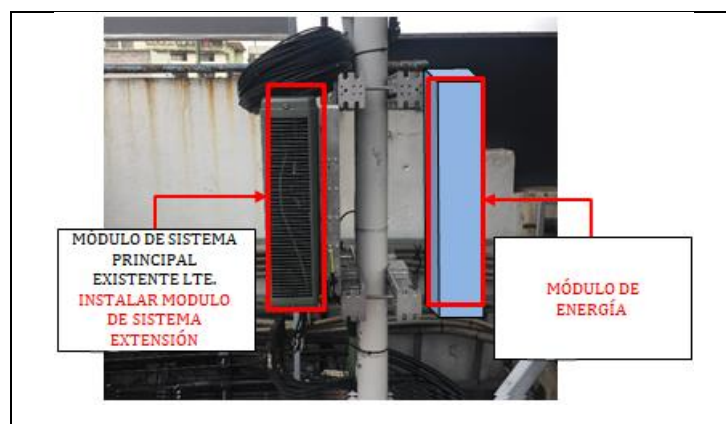


Figura 29. Fotomontaje de la ubicación del módulo de sistema de extensión y del módulo de energía. (Ibarra, 2020)

- En la figura 30 se muestra la ubicación de los Módulos de RF de la Segunda Portadora de LTE. Para el Sector 2 y Sector 3 los módulos de RF de la Segunda Portadora de LTE se instalarán a lado de los Módulos de RF existentes de la Primera Portadora de LTE, mientras que para el Módulo de RF del Sector 1 de la Segunda Portadora de LTE se instalará en un nuevo soporte de RF de 1,2 m de alto x 3” de diámetro, ubicado cerca del Módulo de RF del Sector 1 de la Primera Portadora de LTE, ya que el módulo de RF existente del Sector 1 se encuentra instalado a lado de un Módulo de Sistema de la tecnología 3G, y por estándar de instalación, solo pueden estar como máximo dos módulos instalados a cada lado de un soporte de equipos.

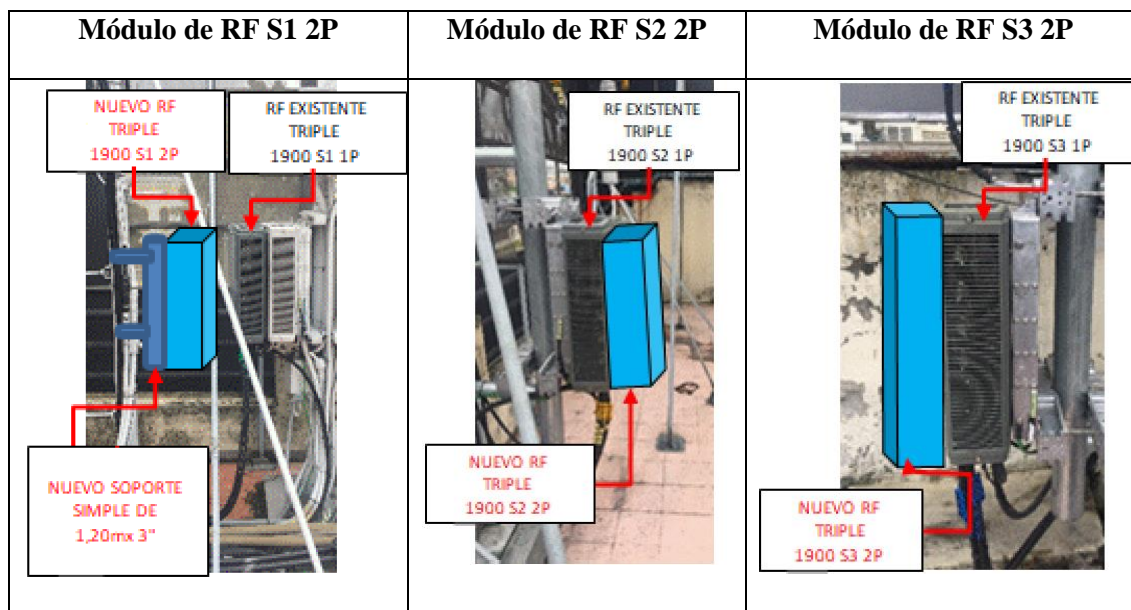


Figura 30. Fotomontaje de la ubicación de los módulos de RF. (Ibarra, 2020)

- Se realizará el cambio de las 3 Antenas Huawei AQU4518R24v06 existentes por 3 nuevas Antenas Huawei AQU4518R11v06, las cuales, al tener dimensiones similares, ocuparan los mismos soportes de las antenas existentes como se muestra en la figura 31. Para esta actividad se solicitará a la Operadora Movil 1 la aprobación de una ventana de mantenimiento por la afectación que se tendrá en la Primera Portadora de LTE, cuando se realice el cambio de antena, para lo cual se estima tener una afectación de servicio de 1 hora por cada sector de LTE.

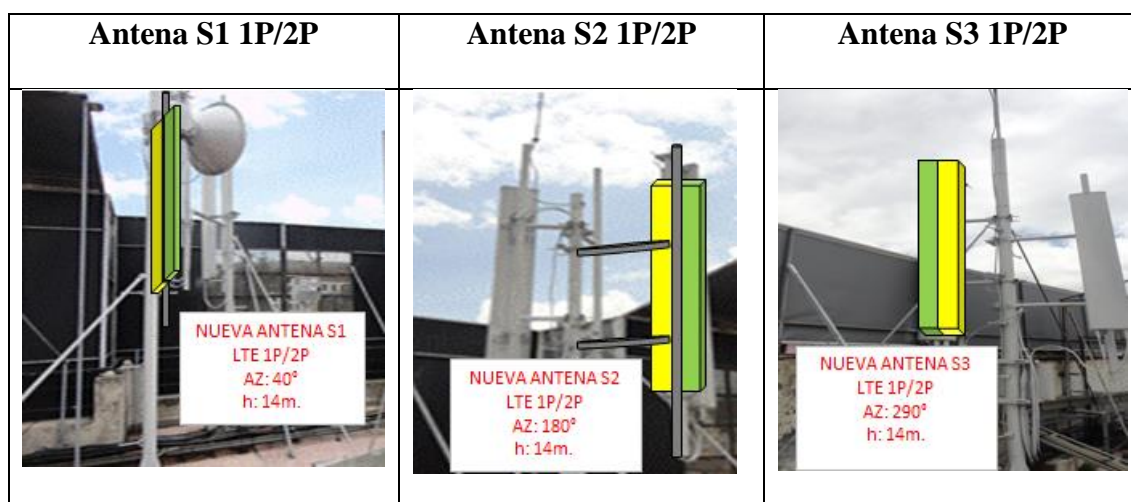


Figura 31. Fotomontaje de la ubicación de las nuevas antenas Huawei. (Ibarra, 2020)

Para realizar el cambio de antenas requerido y proceder con la implementación de la Segunda Portadora de LTE, se realizó la tabla 9, en la cual se detalla información de radio de la Primera Portadora de LTE existente y la información de radio con la que se implementará la Segunda Portadora de LTE, las cuales deben tener los mismos valores de Azimut, Tilt Eléctrico y Tilt Mecánico, esto con la finalidad de tener los correspondientes sectores con las mismas zonas de cobertura.

Tabla 9
Información de Radio LTE a Implementar

INFORMACIÓN DE RADIO A IMPLEMENTAR LTE			
Información por Sector			
Sector:	1 (1P)	2 (1P)	3 (1P)
Número de Antenas	1	1	1
Azimut	40	180	290
Tilt Eléctrico (ver observación)	6	6	6
Tilt Mecánico (ver observación)	1	0	-1
Altura (h) parte media de antena	14	14	14
Proveedor Antena	Huawei	Huawei	Huawei
Modelo Antena	AQU4518R11v06	AQU4518R11v06	AQU4518R11v06
Configuración LTE MIMO Existente	2 x 4	2 x 4	2 x 4
Modulo RFM LTE	S1 1P	S2 1P	S3 1P
Sector:	1 (2P)	2 (2P)	3 (2P)
Número de Antenas	1	1	1
Azimut	40	180	290
Tilt Eléctrico (ver observación)	6	6	6
Tilt Mecánico (ver observación)	1	0	-1
Altura (h) parte media de antena	14	14	14
Proveedor Antena	Huawei	Huawei	Huawei
Modelo Antena	AQU4518R11v06	AQU4518R11v06	AQU4518R11v06
Configuración LTE MIMO Requerida	2 x 2	2 x 2	2 x 2
Modulo RFM	S1 2P	S2 2P	S3 2P

Nota. Información de Radio de la Primera y Segunda Portadora de LTE a implementar. (Ibarra, 2020)

En la visita técnica se tomaron ciertas medidas del sitio para proceder a realizar los esquemas de la vista frontal y vista superior de la distribución de los módulos y antenas a implementar, esto con la finalidad de confirmar la ubicación y espacio físico, en donde se instalarán cada uno de ellos.

La vista frontal de la ubicación del módulo de energía y del módulo de sistema en el cual se instalará el módulo de sistema de expansión se muestra en la figura 32.

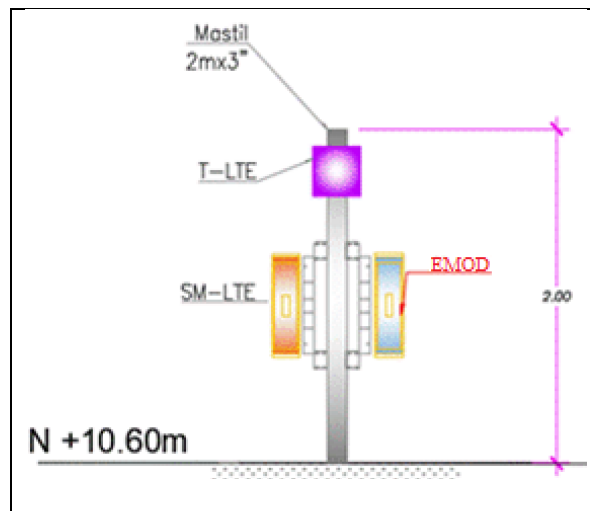


Figura 32. Vista Frontal del Módulo de Sistema y del Módulo de Energía. (Ibarra, 2020)

La vista frontal de la ubicación de los módulos de RF y de las antenas del Sector 1 y Sector 2 se muestra en la figura 33.

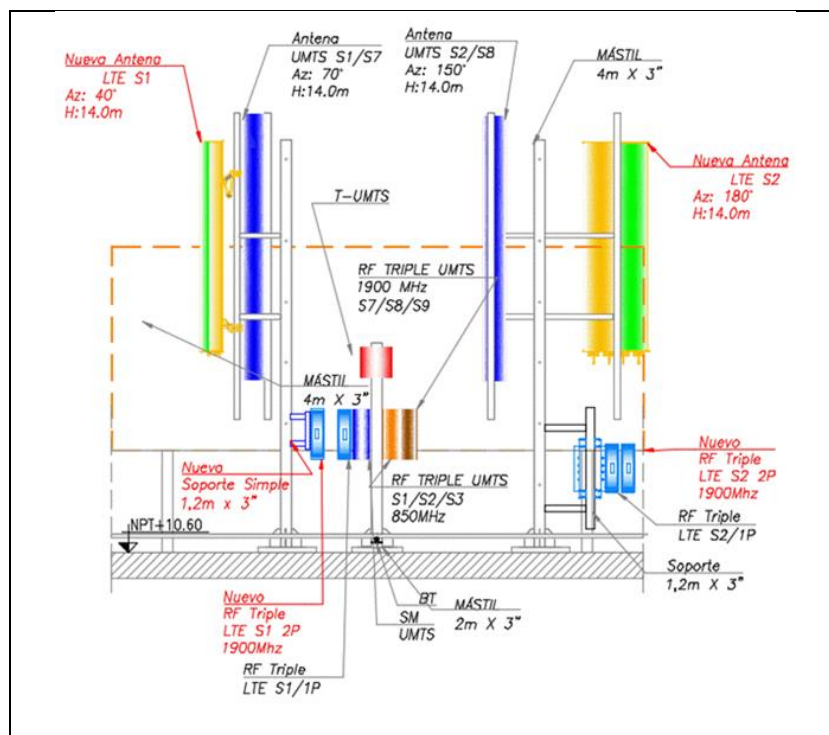


Figura 33. Vista Frontal de los Módulos de RF y Antenas S1 y S2 2P. (Ibarra, 2020)

La vista frontal de la ubicación del módulo de RF y de la antena del Sectores 3 se muestra en la figura 34.

4.2 Transporte de módulos de banda base y módulos de RF al sitio de pruebas

Con el dimensionamiento de los equipos a instalar y la ubicación de los mismos, se procede a realizar una lista de equipos y materiales de instalación que se necesitarán para la implementación de la Segunda Portadora de LTE, lo cual se detalla en la tabla 10.

Tabla 10
Equipos y Materiales de Instalación

Descripción	Cantidad
LTE Módulos de Sistema	
BBMOD Módulo de Sistema Extensión	1
LTE Módulos de RF	
RMOD Módulo RF Triple 1900	3
LTE HW Instalación	
Kit de instalación de RF para soporte de RF	2
Case de los módulos de RF	4
Protección de Sobrevoltaje de los módulos RF	6
Módulos Ópticos SFP 850nm 6Gbps 300m MM	6
Fibra Óptica Multimodo con Conectores LC-LC dual 50m	3
Módulos de Energía	
EMOD – Módulo de Energía	1
Antenas	
ANTENA HUAWEI AQU4518R11v06	3
Materiales de Instalación	
CABLE 5m AISG - Para RET Antenas (Male Connector to Female Connector)	3
JUMPER ANTENA DE 1/2" – 4m macho recto 4.3-10 – din macho acodado	6
WEATHER PROOFING KIT – Kit para protección de conexiones de los jumpers	4
SINGLE AMPHENOL – Cable DC recubierto de malla de cobre (2x16mm) (m)	43
CABLE VERDE O AMARILLO DE 16 MM ² – Cable de tierra (m)	12
CONECTOR DE OJO - Para cable 6 AWG, Ojo sencillo para cable de tierra	8
TORNILLO Y TUERCA DE 3/4 X 1" - Para cable de tierra	4
PAQUETE DE AMARRAS NEGRAS 30 CM (100 UNI)	3
PAQUETE DE AMARRAS NEGRAS 10 CM (100U)	1
CINTAS DE VINILO VERDE (SECTOR1)	1
CINTAS VINILO AMARILLAS (SECTOR2)	1
CINTAS DE VINILO AZUL (SECTOR3)	1
MARQUILLA 4G SEGUNDA PORTADORA - DISTRIBUIDA (KIT COMPLETO)	1
TERMOCONTRAIBLE 50cm	2
TERMOCONTRAIBLE PARA CABLE AMPHENOL 100cm	1
SOPORTE DE RF 1,2m x 3"	1

Nota. Lista de equipos y materiales de instalación, para implementar la Segunda Portadora en la Estación Móvil de Pruebas. (Ibarra, 2020)

Posteriormente se coordinó con el área de logística para el respectivo transporte de estos equipos y material de instalación a la Estación Móvil de Pruebas. Se solicitó que el transporte se lo realice en horas de la mañana, con la finalidad de realizar la recepción de equipos con buenas condiciones climáticas.

4.3 Implementación del prototipo de pruebas

Luego de la recepción de equipos y material de instalación, se procede con la instalación respectiva. En la figura 36 se muestra la instalación del Módulo de Sistema de Extensión y del Módulo de Energía. El módulo de sistema de extensión se instala en el slot libre del Módulo de Sistema Principal existente, esta actividad no afecta al servicio de la Primera Portadora de LTE, razón por la cual no fue necesario solicitar una ventana de mantenimiento. Adicionalmente se instalan 3 Módulos Ópticos de 6 Gbps en los Módulos de Sistema, uno por cada Módulo de Sistema Principal y de Extensión. El Módulo de Energía se instala a lado derecho del soporte del Módulo de Sistema, con la ayuda de su respectivo kit de instalación.

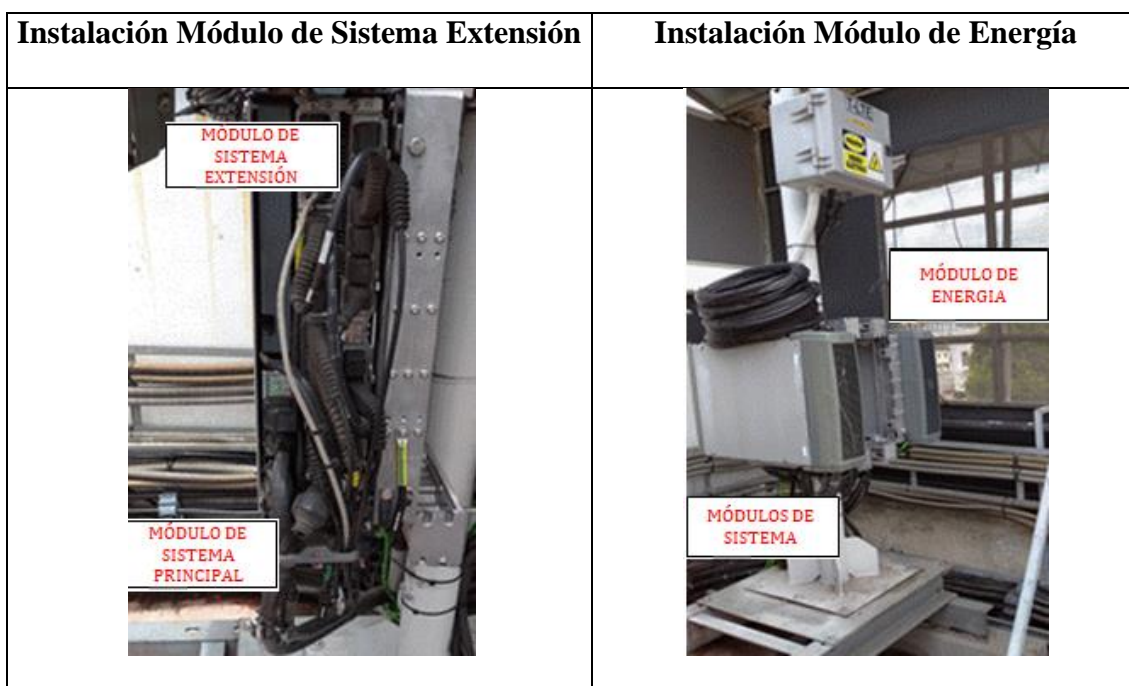


Figura 36. Instalación Módulo de Sistema de Extensión y Módulo de Energía. (Ibarra, 2020)

El soporte de RF de 1,2m x 3” se instala en la ubicación detallada en el esquema de distribución de equipos y antenas; en este soporte se instala el Módulo de RF del Sector 1 de la Segunda Portadora de LTE con la ayuda de su respectivo kit de instalación como se muestra en la figura 37. De este Módulo de RF se instalan 2 jumper de antena hacia la antena Huawei AQU4518R11v06 del S1. Se instala 1 cable AISG para RET desde el Módulo de RF de la Primera Portadora hacia la antena del S1. Adicionalmente se instala 1 Módulo Óptico de 6Gbps en el Módulo de RF y se lo conecta al Módulo de Sistema Principal con 1 Fibra Óptica Multimodo.

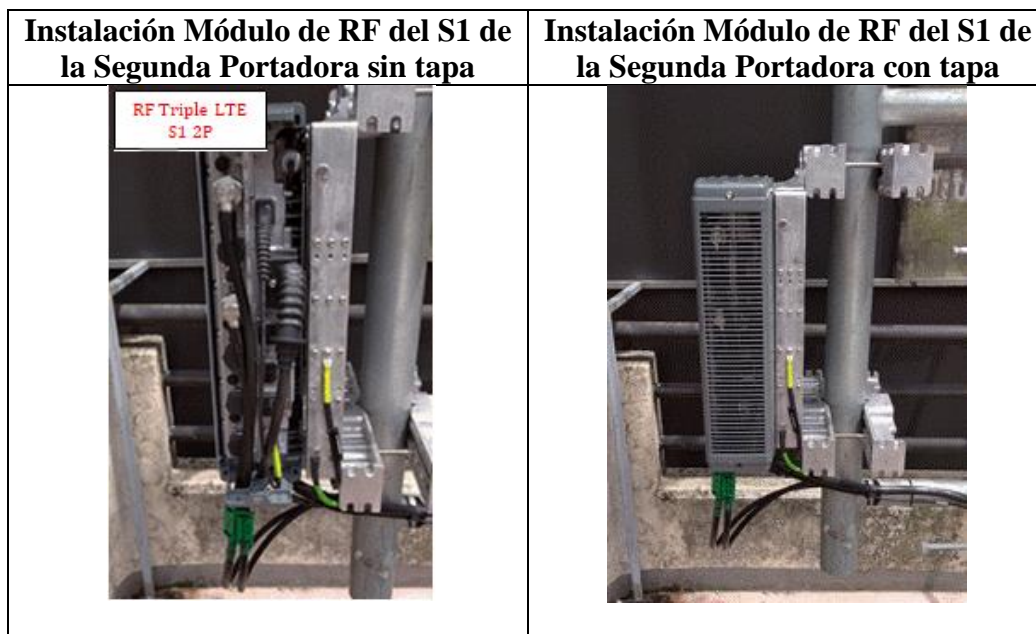


Figura 37. Instalación Módulo de RF del Sector 1 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

El Módulo de RF del Sector 2 de la Segunda Portadora se instala en la ubicación detallada en el esquema de distribución de equipos y antenas, con la ayuda de su respectivo kit de instalación como se muestra en la figura 38. De este Módulo de RF se instalan 2 jumper de antena hacia la antena Huawei AQU4518R11v06 del S2. Se instala 1 cable AISG para RET desde el Módulo de RF de la Primera Portadora hacia la antena del S2. Adicionalmente se instala 1 Módulo Óptico de 6Gbps en el Módulo de RF y se lo conecta al Módulo de Sistema de Extensión 1 con 1 Fibra Óptica Multimodo.

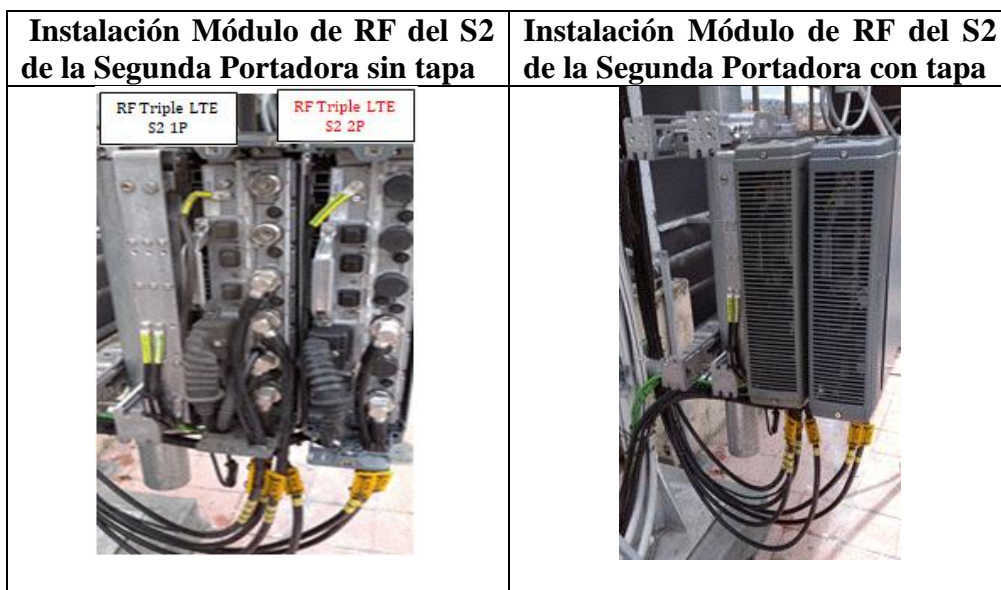


Figura 38. Instalación Módulo de RF del Sector 2 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

El Módulo de RF del Sector 3 de la Segunda Portadora se instala en la ubicación detallada en el esquema de distribución de equipos y antenas, con la ayuda de su respectivo kit de instalación como se muestra en la figura 39. De este Módulo de RF se instalan 2 jumper de antena hacia la antena Huawei AQU4518R11v06 del S3. Se instala 1 cable AISG para RET desde el Módulo de RF de la Primera Portadora hacia la antena del S3. Adicionalmente se instala 1 Módulo Óptico de 6Gbps en el Módulo de RF y se lo conecta al Módulo de Sistema de Extensión 2 con 1 Fibra Óptica Multimodo.

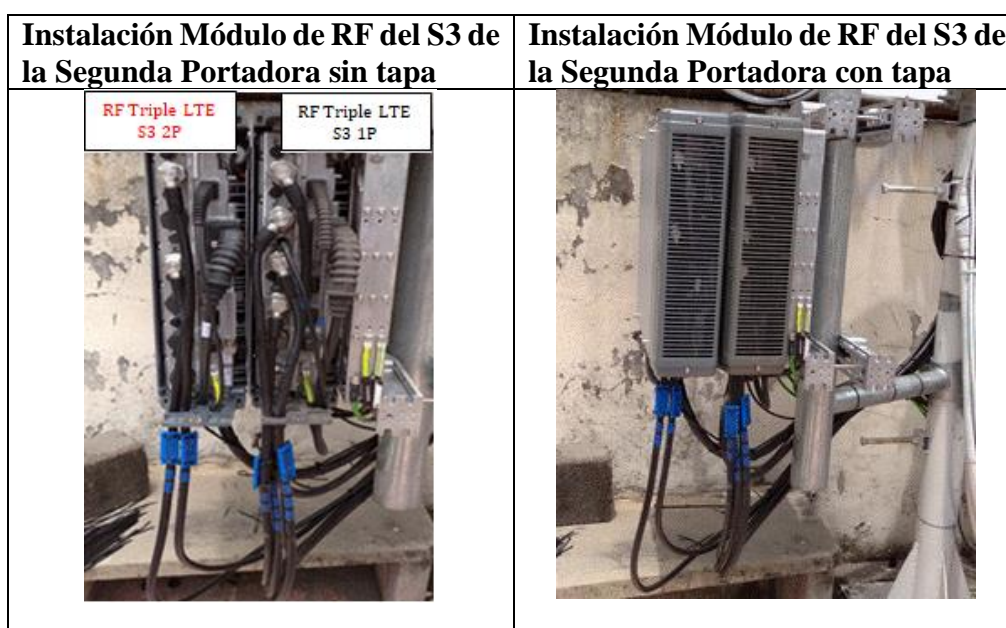


Figura 39. Instalación Módulo de RF del Sector 3 de la Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

Para realizar el cambio de las 3 Antenas Huawei AQU4518R24v06 existentes por las 3 nuevas Antenas Huawei AQU4518R11v06, se solicita a la Operadora Movil 1 la aprobación de una ventana de mantenimiento, para realizar esta actividad, con lo cual se tiene una afectación de servicio de la Primera Portadora de LTE por un intervalo de tiempo de 1 hora por cada sector. En la figura 40 se muestra el cambio de antenas finalizado con su respectivo módulo de RF.

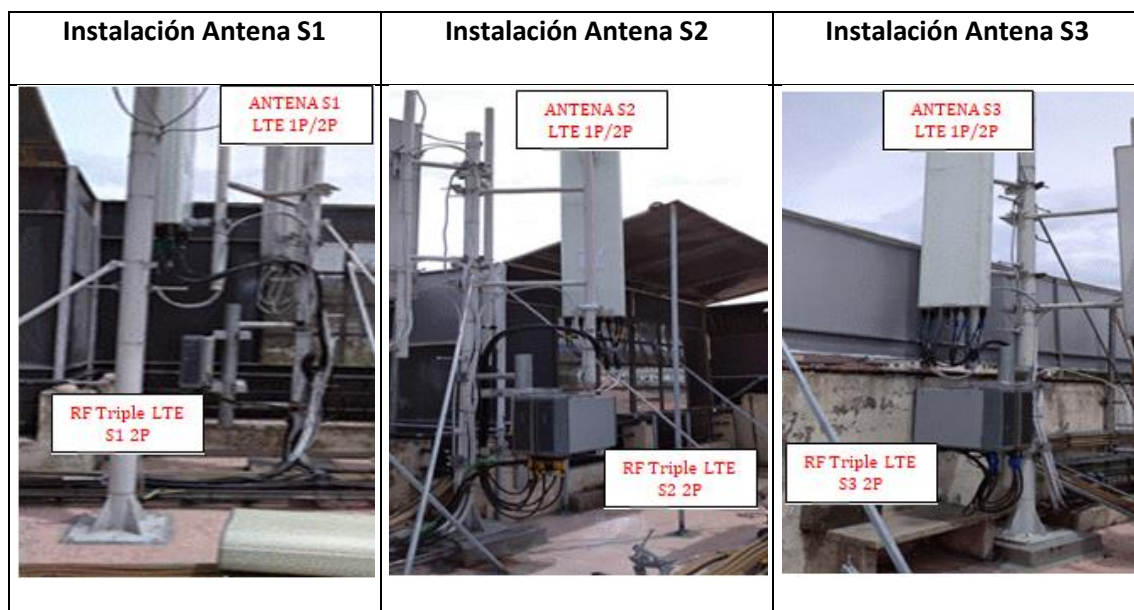


Figura 40. Instalación final de Antenas y Módulos de RF. (Ibarra, 2020)

En el Anexo A del presente documento se muestran las pantallas de las medidas del sistema radiante de la Segunda Portadora de LTE que se implementó.

En la figura 41 se detalla el diagrama de conexiones realizadas para completar la implementación de la Segunda Portadora LTE en el prototipo de pruebas.

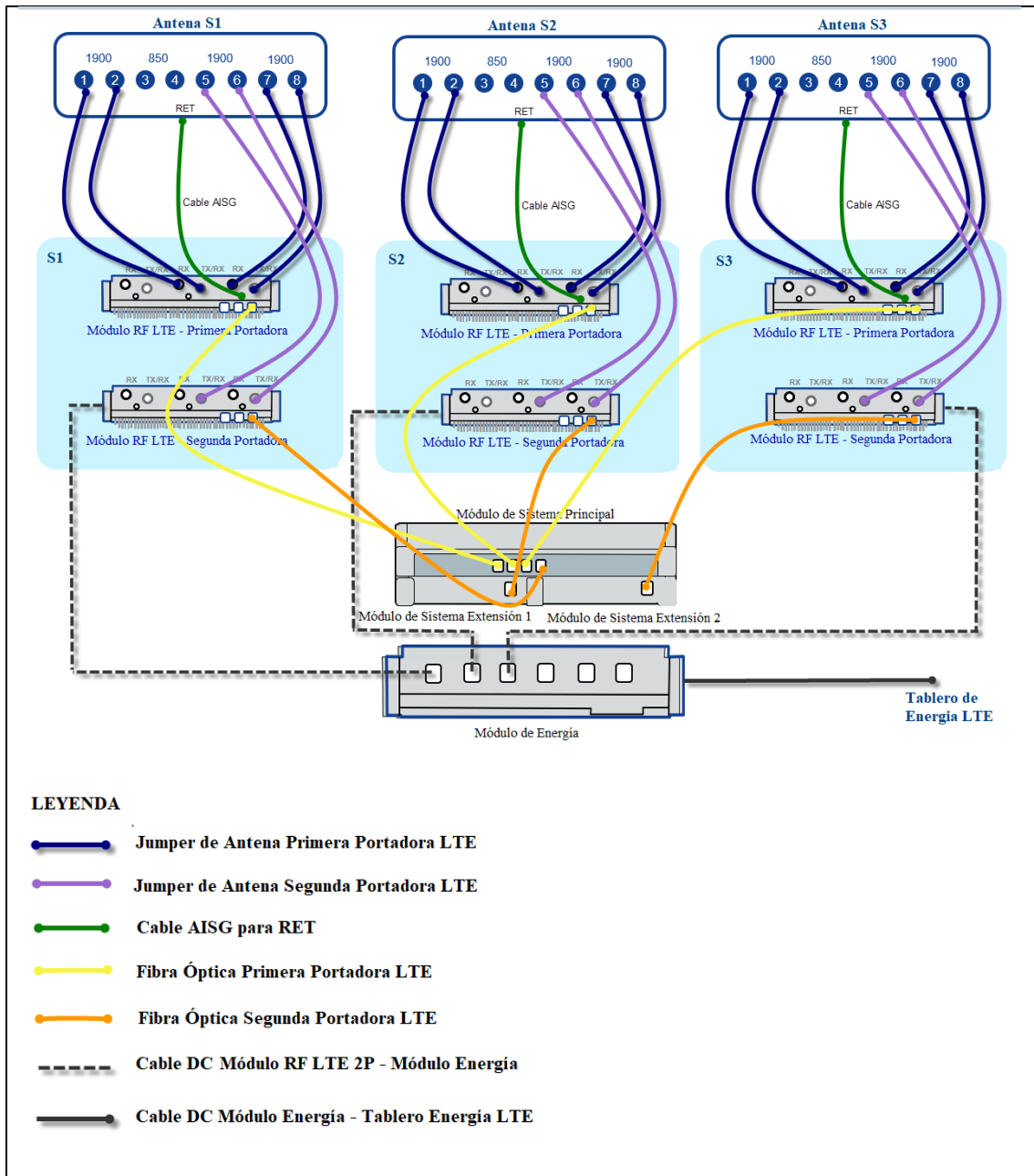


Figura 41. Diagrama de conexiones Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

5. Capítulo V: Evaluación de los valores alcanzados con la solución de Segunda Portadora y Carrier Aggregation.

Por temas de la Pandemia del COVID-19, la Operadora Móvil 1 cambió sus prioridades de continuar con los proyectos relacionados con el aumento de velocidad de datos LTE y se está enfocando en proyectos para aumentar la cobertura LTE en zonas que lo necesitan, con la finalidad de apoyar con los servicios de internet móvil para cubrir ciertas necesidades como el teletrabajo y la teleeducación. Consecuentemente las actividades de liberar espectro en la Banda 2 de 1900 MHz para asignarlo a la Segunda Portadora de LTE y habilitar las funcionalidades de Carrier Aggregation, quedaron para cuando se normalice las actividades diarias.

Por esta razón en este capítulo se procederá a realizar la configuración y pruebas de la Segunda Portadora de LTE de manera práctica en el prototipo ya implementado, para lo cual se solicitará una ventana de mantenimiento con un tiempo limitado para apagar temporalmente la Segunda Portadora de la tecnología 3G_1900 y encender la Segunda Portadora de LTE con la finalidad de utilizar la frecuencia y ancho de banda de la Segunda Portadora de 3G_1900 y realizar así las respectivas pruebas de datos; mientras que la configuración de las funcionalidades de Carrier Aggregation se las realizará de manera teórica y predictiva, porque no se tendrá el requerimiento principal de mantener la Segunda Portadora de LTE operativa.

La estación móvil de pruebas tiene los equipos de la tecnología 3G configurados en la banda de 850 MHz y 1900 MHz. En la tabla 11 se detalla los porcentajes de tráfico en las portadoras de la tecnología 3G, en donde se puede apreciar que la Segunda Portadora de 3G de la banda de 1900 MHz tiene una carga de tráfico del 4%, razón por la cual se utilizará la frecuencia y el ancho de banda de esta portadora para configurar la Segunda

Portadora de LTE, con la finalidad de minimizar el impacto en el servicio de la tecnología 3G, mientras se realiza las pruebas con la Segunda Portadora de LTE.

Tabla 11
Porcentajes de Tráfico en la Tecnología 3G

	Portadora 3G	UARFCN	Porcentaje Trafico (%)
Banda 1900 MHz	3G - 1P	512	23
	3G - 2P	537	4
Banda 850 MHz	3G - 1P	4412	36
	3G - 2P	4436	37
TOTAL			100

Nota. Información estadística obtenida de la Operadora Móvil 1. (Ibarra, 2020)

En la tabla 12 se detalla las frecuencias y anchos de banda de la Primera Portadora de LTE, la Primera Portadora de 3G_1900 y Segunda Portadora de 3G_1900 que se encuentran operativas en la Banda 2 de 1900 MHz. Para configurar la Segunda Portadora de LTE se utilizará el ancho de banda y frecuencia de la Segunda Portadora de 3G_1900.

Tabla 12
Frecuencias LTE y 3G en la Banda 2 - 1900 MHz

Banda 2 - 1900 MHz		
LTE - 1900 MHz	3G - 1900 MHz	
LTE_1P @ 20 MHz	3G_1P @ 5 MHz	3G_2P @ 5 MHz
EARFCN -700	UARFCN - 512	UARFCN - 537
DL 1940 MHz	DL 1952.5 MHz	DL 1957.5 MHz
UL 1860 MHz	UL 1872.5 MHz	UL 1877.5 MHz

Nota. Información obtenida desde los GUI de los equipos LTE y 3G. (Ibarra, 2020)

5.1 Análisis de los datos obtenidos en las pruebas, antes de implementar Segunda Portadora y Carrier Aggregation

Previo a la configuración de la Segunda Portadora de LTE, se realiza pruebas de datos de la Primera Portadora de LTE, sector por sector como se detalla en la figura 42, con la finalidad de validar los valores de velocidades de datos iniciales de downlink y uplink.

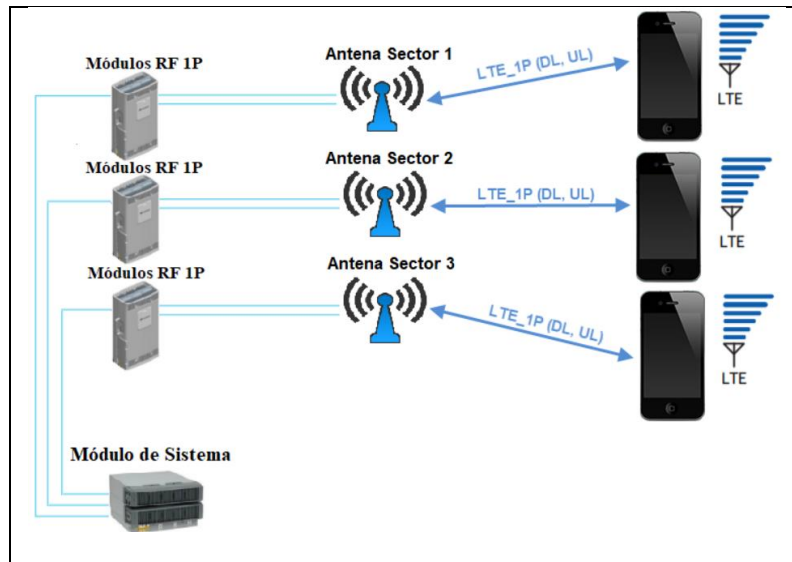


Figura 42. Pruebas de datos iniciales con la Primera Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

Para realizar las pruebas de datos se utiliza los siguientes equipos y aplicaciones:

- Teléfono Celular Samsung A30.
- G-NetTrack Lite, aplicación libre y disponible en Play Store. Esta aplicación es un Monitor de Red Móvil que ayudará a validar la conexión a la red LTE de la estación móvil de pruebas.
- Speedtest, aplicación libre y disponible en Play Store. Esta aplicación calcula la velocidad de la conexión a internet, lo cual ayudará a realizar las pruebas de velocidades de datos de downlink y uplink.

En la tabla 13 se detalla un resumen de las velocidades de datos iniciales que se obtuvieron de cada sector de la Primera Portadora de LTE, antes de realizar la configuración de la Segunda Portadora de LTE.

Tabla 13

Velocidades de Datos Iniciales de los Sectores de la Primera Portadora de LTE

	Sector 1		Sector 2		Sector 3	
	DL (Mbps)	UL (Mbps)	DL (Mbps)	UL (Mbps)	DL (Mbps)	UL (Mbps)
Primera Portadora	58.0	38.3	55.8	44.4	52.3	39.6

Nota. Velocidades de datos antes de configurar la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

En el Anexo B del presente documento se muestran las pantallas de las pruebas de datos iniciales de la Primera Portadora de LTE, que se realizaron.

5.2 Análisis de los datos obtenidos en las pruebas, después de implementar Segunda Portadora y Carrier Aggregation

El prototipo de pruebas fue implementado de tal manera que se pueda realizar las configuraciones de Segunda Portadora de LTE y de Carrier Aggregation con la finalidad de aumentar las velocidades de datos de usuario en downlink.

La Segunda Portadora de LTE utilizará la frecuencia y ancho de banda de la Segunda Portadora de 3G_1900, con lo cual se tendrá una asignación de ancho de banda de 5 MHz y se trabajará con la frecuencia de DL 1957.5 MHz (EARFCN = 875). En la tabla 14 se presenta la distribución de la Banda 2 de 1900 MHz, para la Primera Portadora de LTE, la Primera Portadora de 3G_1900 y la Segunda Portadora de LTE, con lo cual se configurará el prototipo de pruebas.

Tabla 14
Distribución LTE y 3G en la Banda 1900 MHz.

Banda 2 - 1900 MHz		
LTE - 1900 MHz	3G -1900 MHz	LTE - 1900 MHz
LTE_1P @ 20 MHz	3G_1P @ 5 MHz	LTE_2P @ 5 MHz
EARFCN -700	UARFCN - 512	EARFCN - 875
DL 1940	DL 1952.5	DL 1957.5
UL 1860	UL 1872.5	UL 1877.5

Nota. Distribución de la banda 2 de 1900 MHz para habilitar la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

5.2.1 Configuración Segunda Portadora de LTE

Para realizar la configuración de la Segunda Portadora LTE, se procede a seguir el diagrama de flujo detallado en la figura 43.

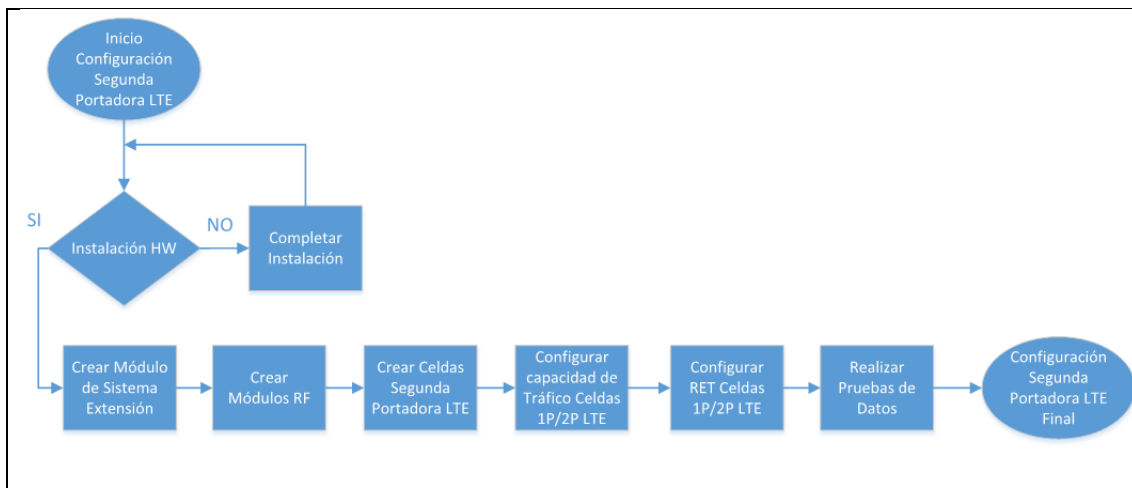


Figura 43. Diagrama de flujo para configurar la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

En la figura 44 se muestra la pantalla de configuración de los módulos de sistema, donde se realiza la creación del módulo de sistema de extensión 2 (BBMOD-2) y se activa la configuración de “Full BB capacity in use”, esto con la finalidad de dejar toda la capacidad disponible de este HW para futuras ampliaciones de sectores o portadoras de LTE.

Baseband module list					
	CABINET-1 SMOD_R-1				
●	BBMOD-1				
●	BBMOD-2				

Cabinet	BB module	Product code	BB pools used per BB card	Radio protocol search order	Full BB capacity in use
CABINET-1 SMOD-1	BBMOD-1				true
	BBMOD-2				true

Figura 44. Creación Módulo de Sistema Extensión. (Ibarra, 2020)

En la figura 45 se presenta la pantalla de configuración de los módulos de RF, donde se realiza la creación de los 3 módulos de RF de 1900 MHz (RMOD-4, RMOD-5 y RMOD-6), se los etiqueta como LTE_2P y se los configura con una velocidad de enlace de 6Gbps para la conexión con los Módulos de Sistema y Extensión, para lo cual se

instalaron módulos ópticos (SFP) de 6Gbps en la etapa de implementación descrito en el Capítulo IV.

Radio module list		
●	RMOD-1	🗑️
●	RMOD-2	🗑️
●	RMOD-3	🗑️
●	RMOD-4	🗑️
●	RMOD-5	🗑️
●	RMOD-6	🗑️

Add RMOD

Radio module	Product code	Module location	Climate control profile	Link speed	Abnormal memory threshold
RMOD-1		LTE_1P		6Gbps	
RMOD-2		LTE_1P		6Gbps	
RMOD-3		LTE_1P		6Gbps	
RMOD-4		LTE_2P		6Gbps	
RMOD-5		LTE_2P		6Gbps	
RMOD-6		LTE_2P		6Gbps	

Figura 45. Creación Módulos de RF. (Ibarra, 2020)

Se procede con la creación de los sectores de la Segunda Portadora de LTE (LNCEL-6, LNCEL-7 y LNCEL-8), en la figura 46 se muestra cada uno de estos sectores de la Segunda Portadora de LTE, los cuales son creados con las siguientes características:

- Ancho de Banda de 5Mhz.
- EARFCN de 875 (DL=1957.5 MHz y UL=1877.5 MHz).
- Potencia de Sector de 20 W (43 dBm).
- Conexiones de Antena en los puertos 1 y 3 de cada uno de los Módulo de RF de la Segunda Portadora de LTE con la finalidad de implementar una configuración MIMO 2x2 (2TX + 2 RX).

LTE FDD Carriers configuration ✕ ↶

▼ LNCCEL-0	20 MHz	700 / 18700	1940.0 MHz / 1860.0 MHz	46.0 dBm
▼ LNCCEL-1	20 MHz	700 / 18700	1940.0 MHz / 1860.0 MHz	46.0 dBm
▼ LNCCEL-2	20 MHz	700 / 18700	1940.0 MHz / 1860.0 MHz	46.0 dBm
▼ LNCCEL-6	5 MHz	875 / 18875	1957.5 MHz / 1877.5 MHz	43.0 dBm
▼ LNCCEL-7	5 MHz	875 / 18875	1957.5 MHz / 1877.5 MHz	43.0 dBm
▼ LNCCEL-8	5 MHz	875 / 18875	1957.5 MHz / 1877.5 MHz	43.0 dBm

Available Antennas	
ANT1	TX/RX ▼
ANT2	None ▼
ANT3	TX/RX ▼
ANT4	None ▼
ANT5	None ▼
ANT6	None ▼

Figura 46. Creación de Sectores de la Segunda Portadora de LTE.(Ibarra, 2020)

En la figura 47 se detalla la pantalla de configuración de tráfico, en la cual se configura de tal forma que un 80% del tráfico permanezca en los sectores de la Primera Portadora de LTE, por la razón que esta portadora tiene un ancho de banda de 20 MHz con una potencia de 40W (46 dBm) y es en la cual se va a evidenciar un aumento de velocidad de datos en downlink; mientras que el 20% del tráfico va a permanecer en los sectores de la Segunda Portadora de LTE ya que esta portadora tiene sus sectores con un ancho de banda de 5 MHz y configurados a 20W (43 dBm), esto con la finalidad de controlar la interferencia inter-celdas.

Parameter name	Planned Value
Filter	
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-0	80 %
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-1	80 %
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-2	80 %
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-6	20 %
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-7	20 %
capacity threshold MRBTS-2839 /LNCEL-8	20 %

Figura 47. Configurar capacidad de tráfico en los Sectores LTE 1P y 2P. (Ibarra, 2020)

Se continua con la configuración de los RET de cada sector de la Primera y Segunda Portadora de LTE implementados, con la información de radio LTE que se obtuvo en la visita técnica a la estación móvil de pruebas y los cuales se detallan en la tabla 9 del Capítulo IV. En la figura 48 se presenta la pantalla de configuración de los RET, en donde los valores de TE (Tilt Eléctrico / Angle) deben ser los mismos entre la Primera y Segunda Portadora de LTE de cada sector, esto con la finalidad de cubrir la misma zona geográfica.

Centralized RET Management								
ALD	RET Unit ID	Conf. file	Mechanical angle [°]	Min. angle [°]	Max. angle [°]	Angle [°]	Calibrate	Antennas and local cells
ALD_R-1	RETU_R-1	<input type="text"/>	1 / 1 / 1	0 / 0 / 0	10 / 10 / 10	4 / 4 / 4	<input type="checkbox"/>	
ALD_R-10	RETU_R-1	<input type="text"/>	-1 / -1 / -1	0 / 0 / 0	10 / 10 / 10	0 / 0 / 0	<input type="checkbox"/>	
ALD_R-11	RETU_R-1	<input type="text"/>	-1 / -1 / -1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-6 ANT-1 ANT-3, LNCEL-8
ALD_R-12	RETU_R-1	<input type="text"/>	-1 / -1 / -1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-3 ANT-1 ANT-3, LNCEL-2
ALD_R-2	RETU_R-1	<input type="text"/>	0 / 0 / 0	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-2 ANT-2 ANT-4, LNCEL-1
ALD_R-3	RETU_R-1	<input type="text"/>	1 / 1 / 1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-1 ANT-1 ANT-3, LNCEL-0
ALD_R-4	RETU_R-1	<input type="text"/>	1 / 1 / 1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-4 ANT-1 ANT-3, LNCEL-6
ALD_R-5	RETU_R-1	<input type="text"/>	1 / 1 / 1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-1 ANT-2 ANT-4, LNCEL-0
ALD_R-6	RETU_R-1	<input type="text"/>	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	10 / 10 / 10	5 / 5 / 5	<input type="checkbox"/>	
ALD_R-7	RETU_R-1	<input type="text"/>	0 / 0 / 0	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-2 ANT-1 ANT-3, LNCEL-1
ALD_R-8	RETU_R-1	<input type="text"/>	0 / 0 / 0	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-5 ANT-1 ANT-3, LNCEL-7
ALD_R-9	RETU_R-1	<input type="text"/>	-1 / -1 / -1	2 / 2 / 2	12 / 12 / 12	6 / 6 / 6	<input type="checkbox"/>	RMOD-3 ANT-2 ANT-4, LNCEL-2

Figura 48. Configuración RET de los sectores de la Primera y Segunda Portadora. (Ibarra, 2020)

Los sectores de la Primera Portadora de LTE (LNCEL-0, LNCEL-1 y LNCEL-2) tienen dos valores de TE a configurar, porque estos sectores están conectados a dos bandas de 1900 MHz de la antena; mientras que los sectores de la Segunda Portadora de LTE (LNCEL-6, LNCEL-7 y LNCEL-8) tienen un valor de TE a configurar, porque estos sectores están conectados a una banda de 1900 MHz de la antena, lo cual se describe en la etapa de implementación en el Capítulo IV. Adicionalmente se ingresan los valores de TM (Tilt Mecánico / Mechanical angle) que se configuraron. En la figura 49 se puede visualizar los comportamientos del lóbulo de radiación de un sector cuando se modifica un valor de TM (Tilt Mecánico) y cuando se modifica un valor de TE (Tilt Eléctrico), los cuales ayudarán a reducir o aumentar el área de cobertura de cada uno de los sectores de la Primera y Segunda Portadora de LTE.

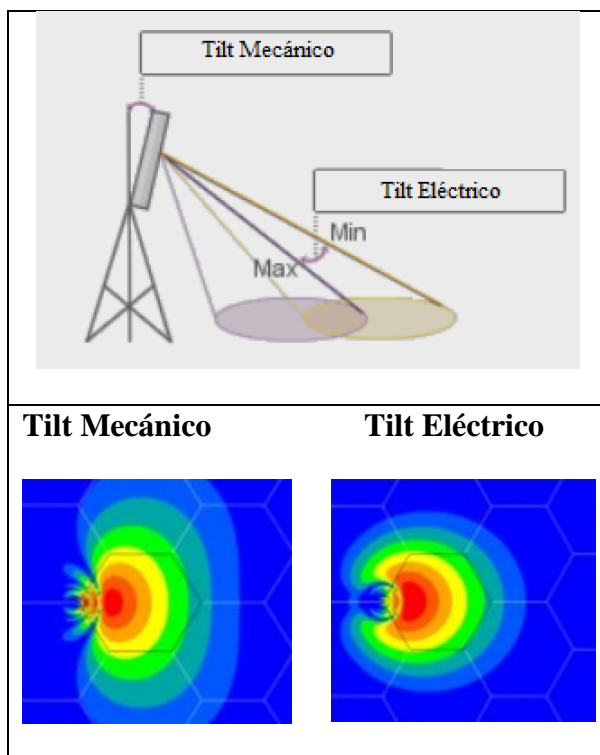


Figura 49. Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico. (Telcosys, 2013)

Finalmente se desbloquea los sectores de la Segunda Portadora de LTE (LNCEL-6, LNCEL-7 y LNCEL-8) y se verifica la configuración lógica, es decir que los módulos implementados se encuentren operativos, tal como se muestra en la figura 50.

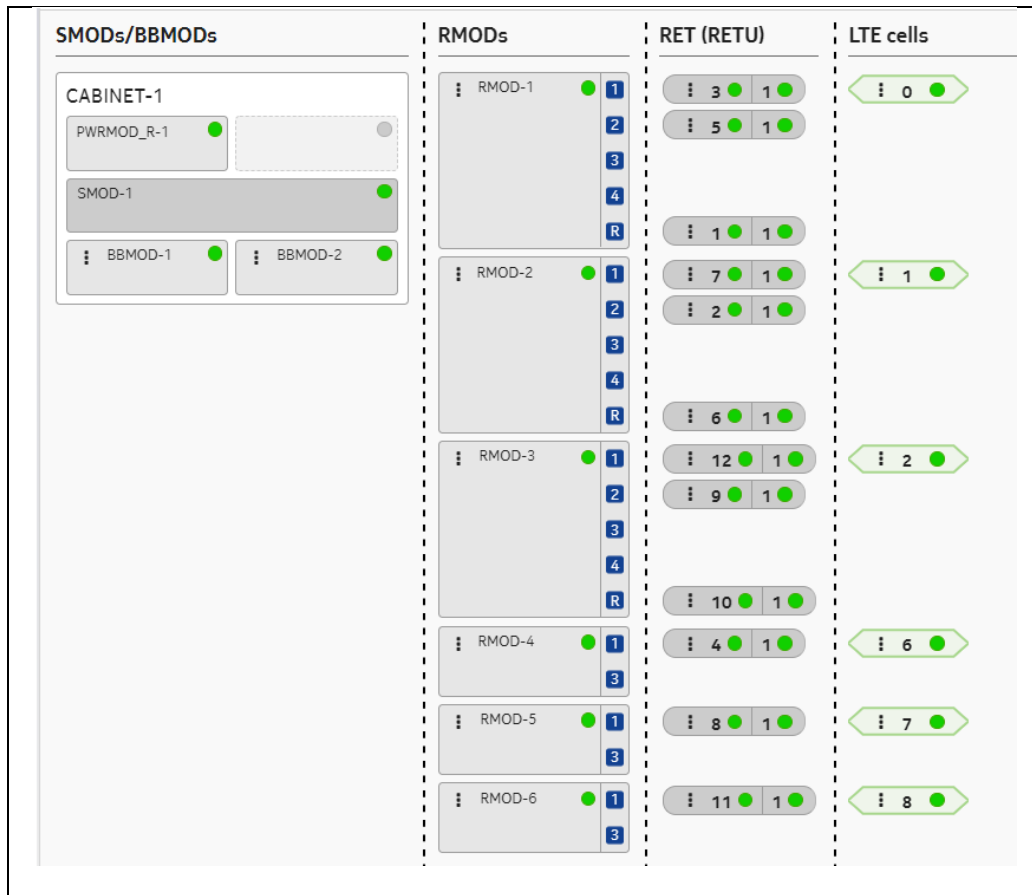


Figura 50. Configuración Lógica de la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

Adicionalmente se verifica que las celdas de la Segunda Portadora de LTE se encuentren en un estado operativo como se muestra en la figura 51.

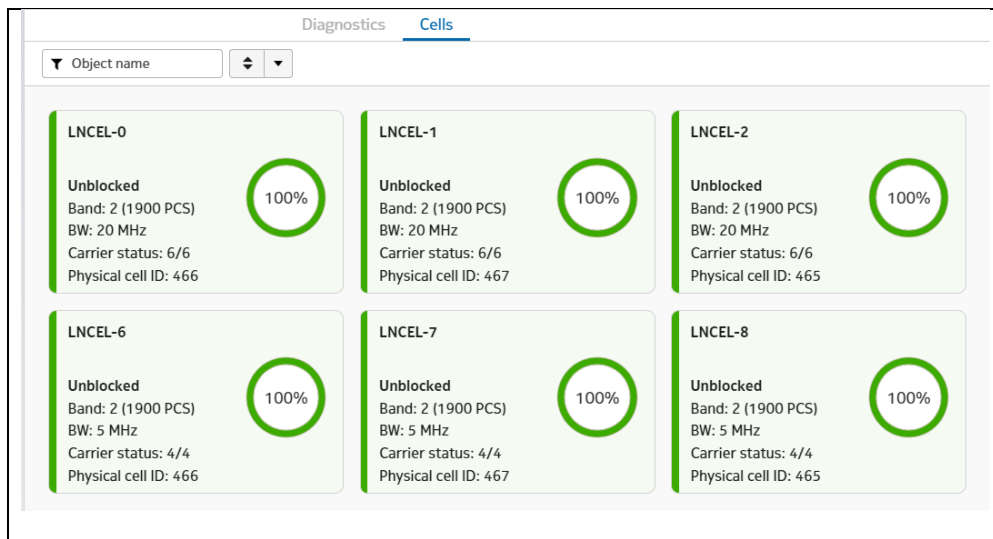


Figura 51. Sectores Operativos Primera y Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

Con los sectores de la Primera y Segunda Portadora de LTE operativos, se procede a realizar las pruebas de datos, sector por sector como se detalla en la figura 52.

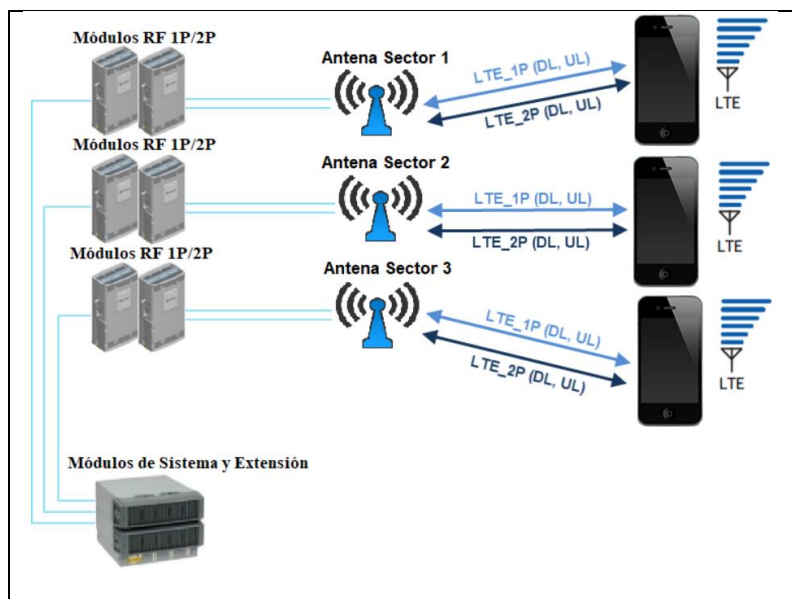


Figura 52. Pruebas de datos con la Primera y Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

En la tabla 15 se detalla un resumen de las velocidades de datos que se obtuvieron de cada sector de la Primera Portadora de LTE y de la Segunda Portadora de LTE, de las cuales se puede confirmar un aumento de velocidades de datos en la Primera Portadora de LTE con respecto a las velocidades iniciales que se detallan en la tabla 13 de este Capítulo, el porcentaje de incremento se lo revisará en detalle en el ítem de Evaluación de la Solución Implementada del Capítulo V. Las velocidades de datos de la Segunda Portadora de LTE son bajas, porque esta portadora tiene un ancho de banda de 5 MHz con lo cual llegarían a un valor pico teórico de 36.672 Mbps, lo cual se detalló en el Capítulo III.

Tabla 15

Velocidades de Datos de la Primera y Segunda Portadora de LTE

	Sector 1		Sector 2		Sector 3	
	DL (Mbps)	UL (Mbps)	DL (Mbps)	UL (Mbps)	DL (Mbps)	UL (Mbps)
Primera Portadora	71.6	38.2	67.9	42.7	66.5	39.2
Segunda Portadora	24.3	9.57	20.0	10.6	10.9	11.3

Nota. Velocidades de datos después de configurar la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

En el Anexo C del presente documento se muestran las pantallas de las pruebas de datos de los sectores de la Primera Portadora de LTE y de la Segunda Portadora de LTE, que se realizaron.

5.2.2 Configuración Carrier Aggregation

Para habilitar la funcionalidad de Carrier Aggregation se debe configurar una celda existente con otra celda lógica en el mismo sector (Novoa, 2016), para cual se va a considerar los siguientes puntos:

- En base a la frecuencia y ancho de banda asignado para el prototipo de pruebas, lo cual esta detallado en la tabla 14 de este Capítulo y donde se describe la distribución de la tecnología de LTE y de la tecnología de 3G en la Banda 2 de 1900 MHz, se implementará un Carrier Aggregation del tipo Intra-Band como se muestra en la figura 53.

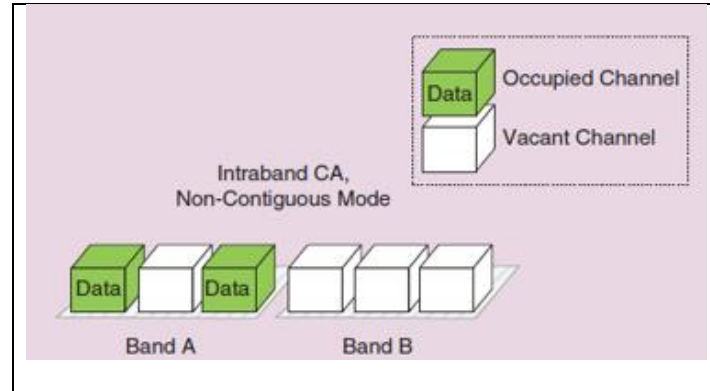


Figura 53. Carrier Aggregation Tipo Intra-Band no contigua. (Bassam et al., 2013)

- En base a la implementación de los sectores de la Segunda Portadora, en donde estos sectores fueron configurados con una potencia de sector de 20W, mientras que los sectores de la Primera Portadora están configurados con una potencia de sector de 40W, se tendrá diferentes huellas de cobertura. En la figura 54 se muestra el escenario de despliegue de Carrier Aggregation que se implementará en el prototipo de pruebas.

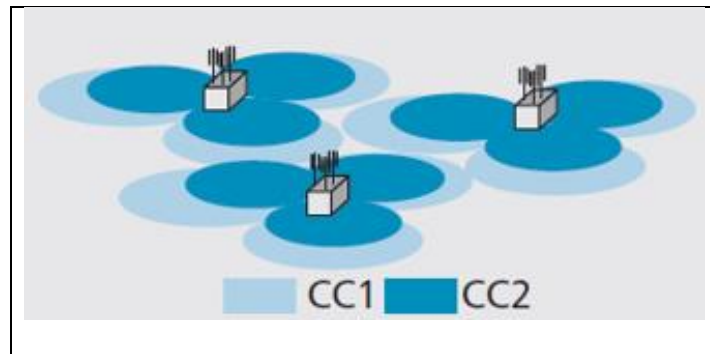


Figura 54. Escenario de Despliegue con Carrier Aggregation. (Iwamura et al., 2010)

Para realizar la configuración de Carrier Aggregation, se procede a seguir el diagrama de flujo detallado en la figura 55.

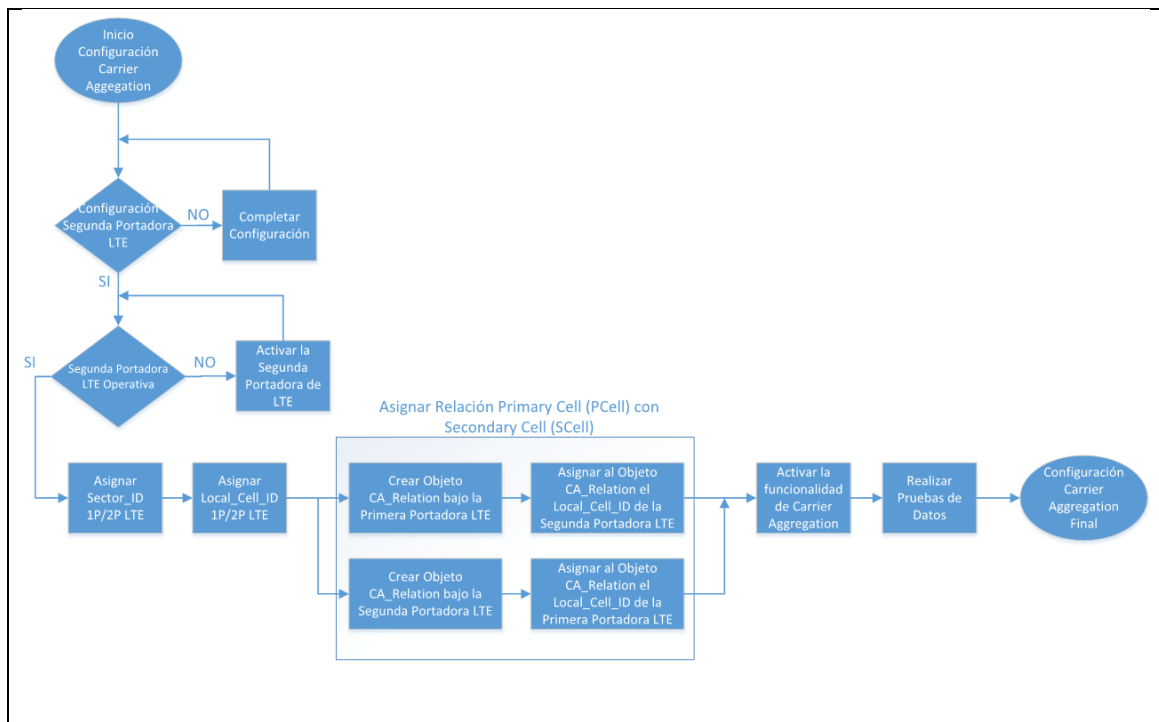


Figura 55. Diagrama de flujo para configurar Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

En la figura 56 se presentan las pantallas donde se realiza la asignación del Sector_ID (Cell_ID) de cada sector de la Primera y Segunda Portadora de LTE, los cuales se realizaron cuando se crearon los sectores de LTE, así como la asignación del Local_Cell_ID, de cada sector de la Primera y Segunda Portadora de LTE, el cual se va a configurar con el mismo valor que el Sector_ID (Cell_ID).

Cell ID: <input type="text" value="0"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="0"/>	Cell ID: <input type="text" value="1"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="1"/>
Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>
Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)
Cell ID: <input type="text" value="2"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="2"/>	Cell ID: <input type="text" value="6"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="6"/>
Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>
Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)
Cell ID: <input type="text" value="7"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="7"/>	Cell ID: <input type="text" value="8"/>	Local cell resource ID: <input type="text" value="8"/>
Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>	Cell name: <input type="text"/>
Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)	Technology: LTE FDD (LNCEL_FDD)

Figura 56. Asignación de Sector_ID (Cell_ID) y Local_Cell_ID. (Ibarra, 2020)

Se continua con la asignación de la relación de la Celda Primaria (PCell) con la Celda Secundaria (SCell), esta dependencia es bidireccional, es decir, cada una de las celdas de la Primera Portadora de LTE y de la Segunda Portadora de LTE puede tomar el rol de Celda Primaria o Celda Secundaria al mismo tiempo (Novoa, 2016), como se muestra en la figura 57.

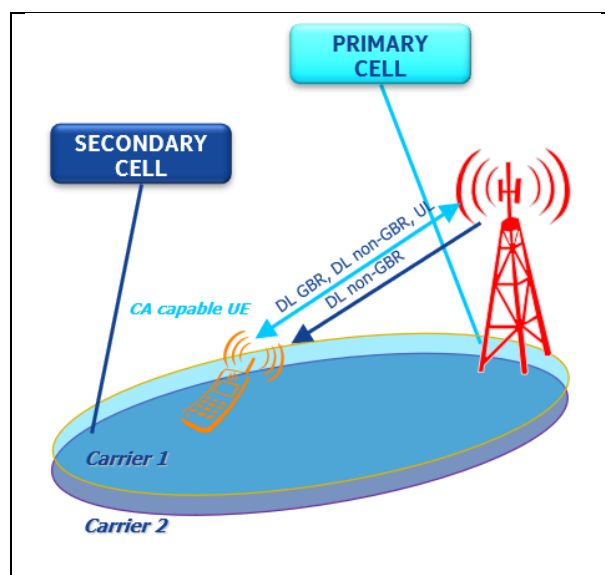


Figura 57. Funcionalidad de Carrier Aggregation con una PCell y una SCell. (Novoa Cristhoffer, 2016)

La Celda Primaria administra tanto el tráfico de datos de downlink del tipo GBR (Guaranteed Bit-Rate) como lo es VoIP, video llamada, streaming, juegos a tiempo real,

entre otros y non-GBR (NonGuaranteed Bit-Rate) como lo son las aplicaciones con TCP (Transmission Control Protocol), tales como emails, descarga de archivos, navegación en Internet; así como todo el tráfico de datos de uplink. La Celda Secundaria solo administra el tráfico de datos de downlink del tipo non-GBR y señalización, no administra tráfico de datos de uplink.

En la tabla 16 se detalla la asignación de la relación de la Celda Primaria (PCell) con la Celda Secundaria (SCell) de cada uno de los sectores de la Primera Portadora de LTE con cada uno de los sectores de la Segunda Portadora de LTE correspondientes, lo cual se procederá a configurar en el prototipo de pruebas.

Tabla 16
Asignación de la Relación de la PCell con la SCell

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Primera Portadora	PCell 0	PCell 1	PCell 2
	SCell 6	SCell 7	SCell 8
Segunda Portadora	PCell 6	PCell 7	PCell 8
	SCell 0	SCell 1	SCell 2

Nota. Asignación de la relación de la PCell con SCell entre la Primera y Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

En la figura 58 se presentan las pantallas de configuración de la asignación de la relación entre la Celda Primaria (PCell) con la Celda Secundaria (SCell) en cada uno de los sectores de la Primera Portadora de LTE del prototipo de pruebas. En la figura 59 se presentan las pantallas de configuración de la asignación de la relación entre la Celda Primaria (PCell) con la Celda Secundaria (SCell) en cada uno de los sectores de la Segunda Portadora de LTE del prototipo de pruebas.

Sector ID = 0 (Primera Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	6

Sector_ID = 1 (Primera Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	7

Sector_ID = 2 (Primera Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	8

Figura 58. Creación de la Relación de PCell con SCell en los sectores de la Primera Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

Sector_ID = 6 (Segunda Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	0

Sector_ID = 7 (Segunda Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	1

Sector_ID = 8 (Segunda Portadora LTE)	
Parameter name	Planned Value
Filter	
Carrier aggregation relation identifier	1
Local cell resource ID of cell to be aggregated	2

Figura 59. Creación de la Relación de PCell con SCell en los sectores de la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

Finalmente se procede a realizar la activación de Carrier Aggregation en downlink, lo cual se realiza en la pantalla de configuración que se muestra en la figura 60.

Parameter name	Planned Value
Filter	
Activation of downlink carrier aggregation	true

Figura 60. Activación Carrier Aggregation (Ibarra, 2020)

Luego de habilitar la funcionalidad de Carrier Aggregation, se aumentará el ancho de banda, aumentando así la velocidad de datos (Husikyan, 2015), las cuales, en base a la tabla 7 del Capítulo III, serían la suma de las velocidades de datos de las dos portadoras, las mismas que teóricamente serían como se detalla en la figura 61.

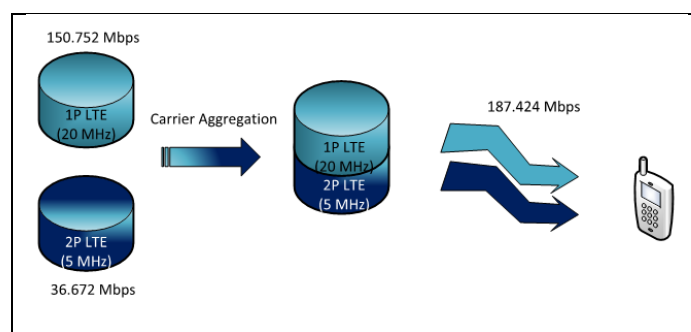


Figura 61. Velocidades Teóricas con Carrier Aggregation en el Prototipo de Pruebas. (Husikyan, 2015)

Con la funcionalidad de Carrier Aggregation activada, se procedería a realizar las pruebas de datos, sector por sector como se detalla en la figura 62.

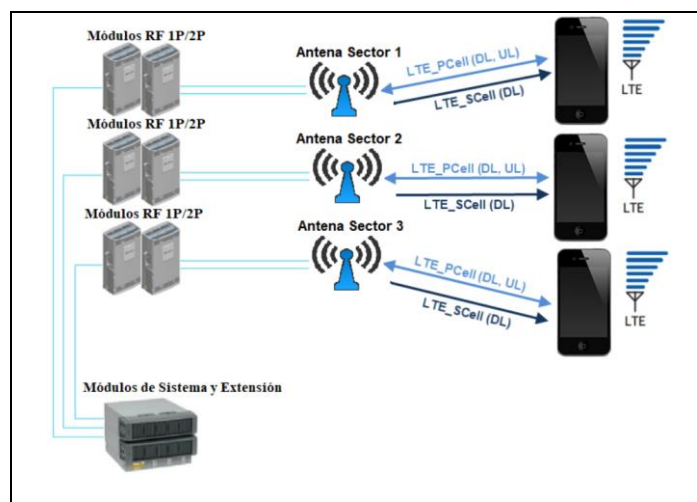


Figura 62. Pruebas de datos con la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

En la tabla 17 se detalla un resumen de las velocidades de datos pico teóricas y de las velocidades de datos esperadas en downlink. Las velocidades de datos teóricas fueron determinadas en base a la tabla 7 del Capítulo III, mientras que para las velocidades de datos esperadas fueron determinadas en base a las pruebas de datos realizadas con los sectores de la Primera y Segunda Portadora de LTE que se detallan en tabla 15 de este Capítulo; en base a esta información se puede confirmar el aumento de velocidades de datos con respecto a las velocidades iniciales que se detallan en la tabla 13 de este Capítulo; el porcentaje de incremento se lo revisará en detalle en el siguiente ítem de Evaluación de la Solución Implementada del Capítulo V.

Tabla 17
Velocidades de Datos Teóricos y Esperados al configurar Carrier Aggregation

	Valores Teóricos		Valores Esperados con Carrier Aggregation	
	Sector (1-2-3)	Sector 1	Sector 2	Sector 3
	DL (Mbps)	DL (Mbps)	DL (Mbps)	DL (Mbps)
Primera Portadora	150.752	71.6	67.9	66.5
Segunda Portadora	36.672	24.3	20.0	10.9
Carrier Aggregation	187.424	95.9	87.9	77.4

Nota. Velocidades de datos pico teóricos y esperados en base a la Tabla 7 y Tabla 15. (Ibarra, 2020)

5.3 Evaluación de la solución implementada

En esta parte del Capítulo V, se va a realizar una evaluación tanto con los resultados prácticos obtenidos al implementar y configurar la Segunda Portadora de LTE, así como con los resultados estimados o predictivos al configurar y activar la funcionalidad de Carrier Aggregation.

5.3.1 Implementación y Configuración de la Segunda Portadora de LTE

Con la implementación y configuración de la Segunda Portadora de LTE, se logró mantener un 20% del tráfico en esta portadora, ya que solo se cuenta con un ancho de banda de 5 MHz, con lo cual se llegaría a velocidades de datos de downlink teóricas de 36.672 Mbps; y se logró mantener un 80% del tráfico en la Primera Portadora de LTE, ya que esta portadora tiene un ancho de banda de 20 MHz y se podría llegar a velocidades de datos de downlink teóricas de 150.752 Mbps.

Al mantener un 80% del tráfico en la Primera Portadora de LTE, se logró aumentar las velocidades de datos de downlink en esta portadora en el Sector 1, Sector 2 y Sector 3 en un 23.4%, 21.7% y 27.2% respectivamente, como se puede revisar en la información detallada en la tabla 18, en donde se detallan las velocidades de datos iniciales, las velocidades de datos con la Segunda Portadora de LTE operativa y el porcentaje de incremento de las velocidades de datos.

Tabla 18

Incremento de Velocidad de Datos con la Configuración de la Segunda Portadora de LTE

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
	Primera Portadora	Primera Portadora	Primera Portadora
	DL (Mbps)	DL (Mbps)	DL (Mbps)
Segunda Portadora LTE (OFF)	58.0	55.8	52.3
Segunda Portadora LTE (ON)	71.6	67.9	66.5
Incremento de Velocidad (%)	23.4	21.7	27.2

Nota. Incremento de velocidad de datos con la implementación de la Segunda Portadora de LTE. (Ibarra, 2020)

En la figura 63 se presenta una gráfica comparativa, en la cual se puede apreciar el aumento de velocidad de datos en downlink, cuando se configuró los sectores de la Segunda Portadora de LTE.

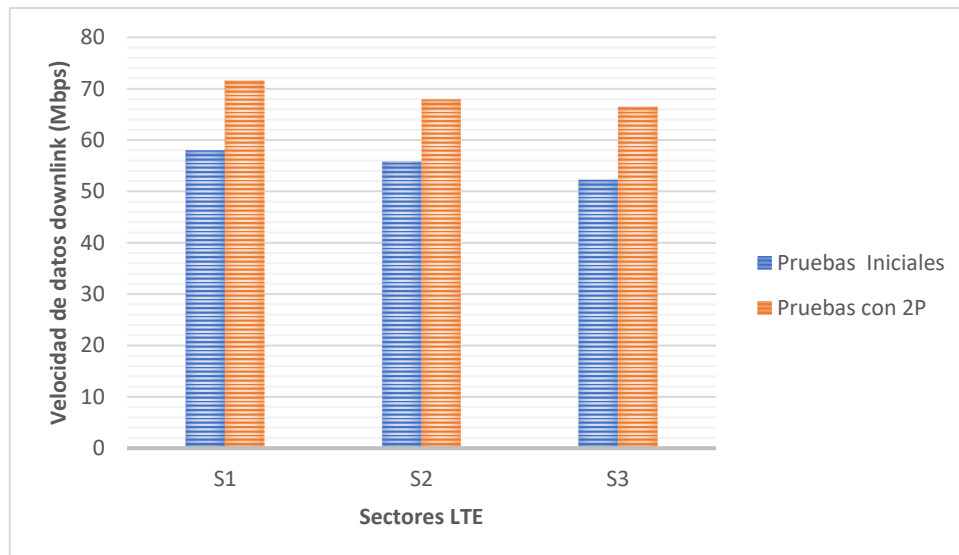


Figura 63. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales y velocidades de datos con la Segunda Portadora operativa. (Ibarra, 2020)

5.3.2 Configuración y Activación de Carrier Aggregation.

Con la configuración y activación de Carrier Aggregation, se logrará enviar los datos sobre las dos portadoras de LTE, es decir, se tendrá velocidades de datos de downlink que serían la suma de las velocidades de datos alcanzadas por cada portadora de LTE. De esta forma se puede predecir que en el prototipo de pruebas se llegaría a tener un aumento de velocidad de datos de downlink en LTE en el Sector 1, Sector 2 y Sector 3 en un 65.3%, 57.5% y 48.0% respectivamente, como se puede apreciar en la tabla 19, en donde se detallan las velocidades de datos iniciales, las velocidades de datos con la Segunda Portadora de LTE operativa y con la funcionalidad de Carrier Aggregation habilitado; y el porcentaje de incremento de las velocidades de datos esperados.

Tabla 19

Incremento Esperado de la Velocidad de Datos con la Configuración de la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation

	Sector 1 PCell / SCell	Sector 2 PCell / SCell	Sector 3 PCell / SCell
	DL (Mbps)	DL (Mbps)	DL (Mbps)
Segunda Portadora LTE (OFF)			
Carrier Aggregation (OFF)	58.0	55.8	52.3
Segunda Portadora LTE (ON)			
Carrier Aggregation (ON)	95.9	87.9	77.4
Incremento de Velocidad (%)	65.3	57.5	48

Nota. Incremento esperado de la velocidad de datos con la configuración de Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

En la figura 64 se presenta una gráfica comparativa esperada, en la cual se puede apreciar el aumento de velocidad de datos en downlink, cuando se habilite la funcionalidad de Carrier Aggregation.

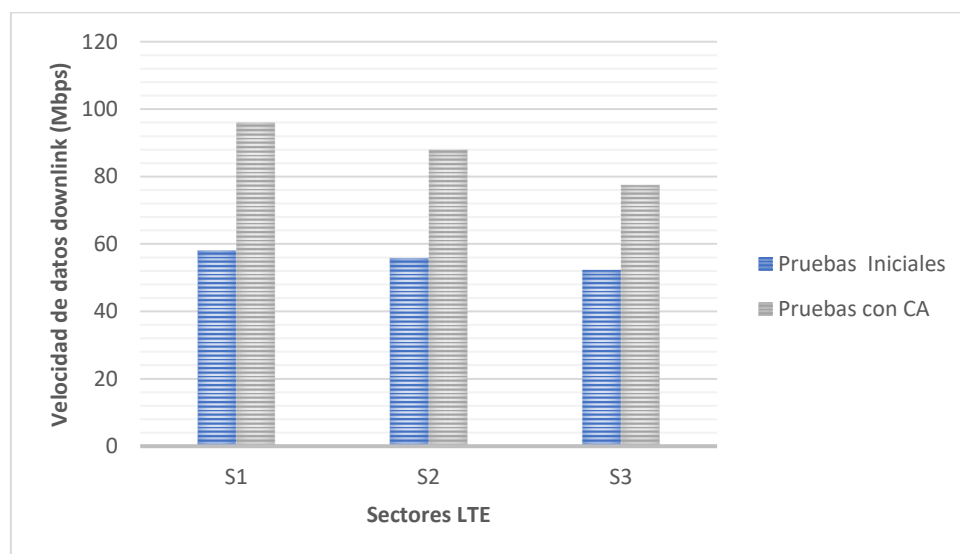


Figura 64. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales y velocidades de datos esperados con Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

Adicionalmente en la figura 65 se presenta una gráfica comparativa, en la cual se puede apreciar los diferentes aumentos de velocidad de datos en downlink, cuando se mantiene la Segunda Portadora de LTE operativa y cuando se activaría la funcionalidad de Carrier Aggregation.

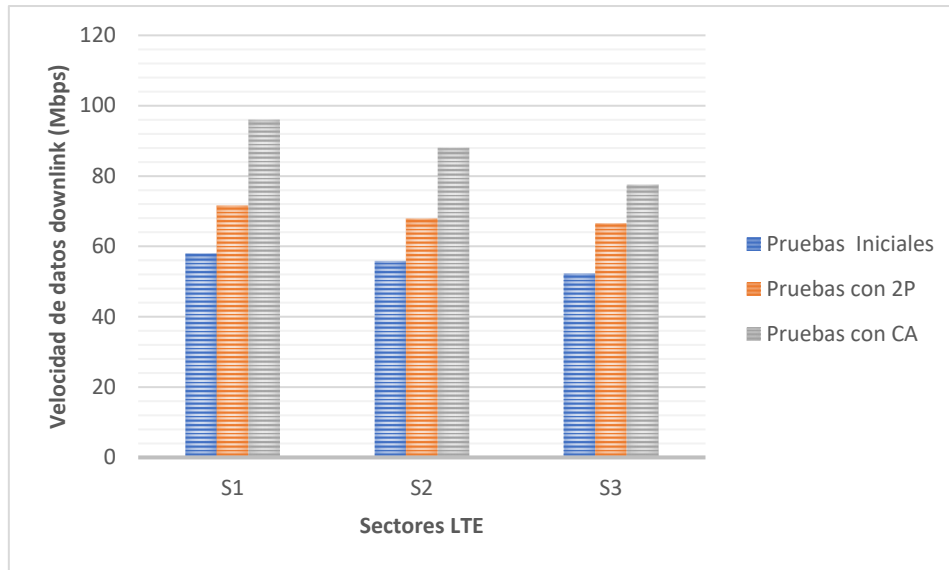


Figura 65. Gráfica Comparativa de velocidades de datos iniciales, velocidades de datos con la Segunda Portadora operativa y velocidades de datos esperados con Carrier Aggregation. (Ibarra, 2020)

Conclusiones

- En el presente trabajo de titulación se presenta un estudio para mejorar las velocidades de datos en una estación móvil de LTE, mediante la implementación de la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation, funcionalidades que ayudaron a lograr un aumento de velocidad de datos de downlink en la estación móvil de pruebas.
- El análisis de la capacidad utilizada y disponible de cada antena, módulo de sistema y módulo de RF instalado en una estación móvil LTE, permitirá optimizar las antenas y módulos requeridos para implementar la Segunda Portadora y Carrier Aggregation, mediante la utilización de las capacidades disponibles de cada antena y módulo instalado, minimizando así el nuevo hardware a instalar.
- Se puede realizar un dimensionamiento de antenas, de módulos de sistema y de módulos de RF requeridos para implementar la Segunda Portadora de LTE y Carrier Aggregation, en base al ancho de banda asignado, la banda de frecuencia a operar, el número de sectores, el tipo de configuración MIMO y del tipo de configuración de los módulos de RF, tal como se ha demostrado en el desarrollo de este trabajo de titulación.
- La información proporcionada en el dimensionamiento de antenas y módulos permite planificar una visita técnica (TSS) a la estación móvil de pruebas, para determinar la ubicación donde se instalarán cada uno de estos equipos y de esta forma dimensionar los materiales de instalación para completar la implementación de la Segunda Portadora de LTE.
- Al implementar la Segunda Portadora de LTE en el prototipo de pruebas, las velocidades de datos de downlink aumentaron en un 27% en las pruebas prácticas

realizadas, mientras que cuando se configuraría la funcionalidad de Carrier Aggregation en el prototipo de pruebas, las velocidades de datos de downlink aumentarían en un 65% de manera predictiva.

- Se concluye que la implementación de la Segunda Portadora de LTE y la configuración de la funcionalidad de Carrier Aggregation, permitirá satisfacer las necesidades actuales de velocidades de datos de la red de LTE, requeridas por las nuevas aplicaciones o nuevos servicios como lo es el teletrabajo, la teleeducación y muchos otros servicios que están evolucionando como consecuencia de la nueva normalidad que se está viviendo.
- Cada uno de los módulos revisados en la Maestría de Tecnologías de la Información, ha contribuido de cierta forma a desarrollar el presente trabajo de titulación.

Recomendaciones

- Se recomienda una vez terminada la Pandemia del COVID-19, y con la normalización de las actividades diarias, se realice la liberación de espectro de frecuencia de la Banda 2 de 1900 MHz por parte de la Operadora Móvil 1 y proceder así con la implementación de la funcionalidad de Carrier Aggregation en el prototipo de pruebas para posteriormente poner en servicio comercial estas funcionalidades en cada uno de los sitios de la red LTE.
- Luego de realizar las pruebas de Carrier Aggregation en el prototipo de pruebas, se recomienda realizar un Trial de Carrier Aggregation, es decir, implementar la Segunda Portadora de LTE y habilitar Carrier Aggregation en un cluster o grupo de sitio de la red LTE, con lo cual se tendría un mínimo de 6 sitios con estas funcionalidades operativas, permitiendo así, realizar una optimización más detallada de estos sitios antes que el servicio sea lanzado comercialmente.
- Se recomienda realizar un estudio sobre la factibilidad de cubrir el tráfico de voz de las celdas de la tecnología 3G, de las portadoras de 1900 MHz, mediante la implementación de VoLTE (Voice over LTE), esto con la finalidad de apagar las portadoras de 3G existentes en la banda de 1900 MHz y utilizar todo ese ancho banda en la Segunda Portadora de LTE, con lo cual, se configuraría para el caso de la Operadora Móvil 1, con un ancho de banda de 10 MHz, permitiendo de esta forma tener mejores velocidades de datos cuando se habilite Carrier Aggregation.
- Se sugiere realizar un estudio del comportamiento del tráfico a nivel de downlink y uplink con la nueva normalidad, esto con la finalidad de validar si es necesario buscar nuevas versiones de software 4G, nuevas versiones de hardware 4G y

nuevas funcionalidades con las que se implementarían los nuevos eNB, esto con el propósito de aumentar las velocidades de uplink, si fuera el caso.

- En sitios donde se implemente la Segunda Portadora de LTE con Carrier Aggregation, con fines de brindar servicio comercial, es recomendable realizar pruebas de PIM (Passive Intermodulation) tanto en el sistema radiante de la Primera Portadora de LTE como en el sistema radiante de la Segunda Portadora de LTE, esto con la finalidad de minimizar las posibles causas de interferencias que reducirían la sensibilidad de recepción de los celulares e incluso podrían bloquear las llamadas.
- Es recomendable realizar un estándar de instalación y de configuración de la Segunda Portadora de LTE y de Carrier Aggregation, con la finalidad de facilitar un despliegue masivo de estas funcionalidades en la red de LTE.
- Se recomienda que, para las futuras implementaciones de estaciones móviles LTE, en zonas donde no cuentan con este servicio, ya se las realicé con la implementación de la Segunda Portadora y Carrier Aggregation, esto con el propósito de que la red LTE vaya creciendo en conjunto con estas funcionalidades.

Bibliografía

- Al-Shibly, M. A. M., Habaebi, M. H., & Chebil, J. (2012). Carrier aggregation in Long Term Evolution-Advanced. *Proceedings - 2012 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2012, May 2008*, 154–159.
<https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2012.6287153>
- ARCOTEL. (2019). *Servicio de Acceso a Internet*. <https://www.arcotel.gob.ec>
- Bassam, S. A., Chen, W., Helaoui, M., & Ghannouchi, F. M. (2013). Transmitter architecture for ca: Carrier aggregation in LTE-advanced systems. *IEEE Microwave Magazine*, 14(5), 78–86. <https://doi.org/10.1109/MMM.2013.2259399>
- Huawei. (2016). *LTE Product Description*. Mexico Documents.
<https://vdocuments.mx/dbs3900-lte-product-description.html>
- Huawei, T. (2017). *Huawei Antenna & Antenna line Products Catalogue*.
- Husikyan, L. (2015). *LTE Carrier Aggregation and Applicability Inter- eNodeB Carrier Aggregation*. 4–5.
- Ibarra, G. F. (2020). *Estudio para mejorar el aumento de la velocidad de datos en una estación móvil con tecnología LTE basado en Carrier Aggregation y Segunda Portadora*.
- Iskandar, & Galih, R. (2016). Throughput evaluation in LTE-Advanced network access using carrier aggregation. *Proceeding of 2015 1st International Conference on Wireless and Telematics, ICWT 2015, 10*. <https://doi.org/10.1109/ICWT.2015.7449212>
- Iwamura, M., Etemad, K., Fong, M. H., Nory, R., & Love, R. (2010). Carrier aggregation framework in 3GPP LTE-advanced. *IEEE Communications Magazine*, 48(8), 60–67.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5534588>
- Novoa, C. (2016). *Carrier Aggregation (Trial)*.
- NSN, N. S. N. (2012). *LTE Flexi Multiradio BTS and Module Overview*. Mexico Documents.
<https://vdocuments.mx/03ra41123en05gla0lte-flexi-multiradio-bts-and-module-overview.html>
- NSN, N. S. N. (2013). *Site Solutions and Site Planning*. World PDFSLIDE.
<https://pdfslide.net/documents/09rn31549en30gla0site-solutions-and-site-planning.html>
- Sánchez, R. (2016). *Arquitectura 4G*. <http://rubensm.com/arquitectura-4g/>
- Telcosys, T. (2013). *Introduction to Antenna*. In SlideShare.
<https://www.slideshare.net/TempusTelcosys/c-cf-introduction-to-antenna>
- Wannstrom, J. (2013). *Carrier Aggregation explained*. 3GPP.
<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>
- Yupanki, K. (2016). *Estudio técnico comparativo de las tecnologías Long Term Evolution – LTE Y LTE Advanced*.
http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11083/TESIS_LARA_LOAIZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ZTE. (2011). *LTE Network Design and Deployment Strategy*.

https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2011/1/en_524/201779.html

Anexos

Anexo A. Medidas del Sistema Radiante de la Segunda Portadora de LTE.

Pruebas de VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) o ROE (Relación de Onda Estacionaria) del sistema radiante de la Segunda Portadora de LTE implementada.

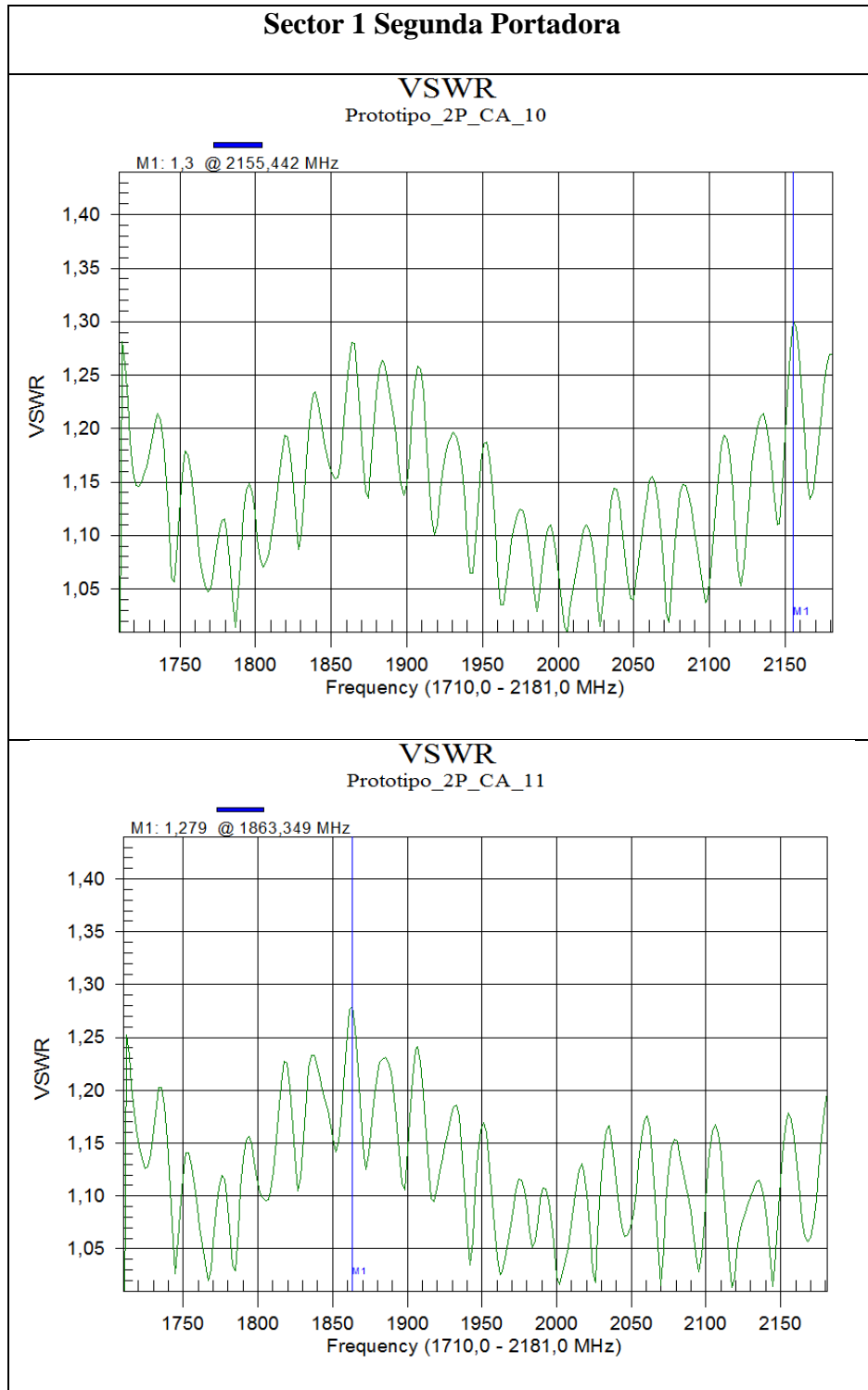


Figura A.1. Pruebas de VSWR del sistema radiante del S1 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

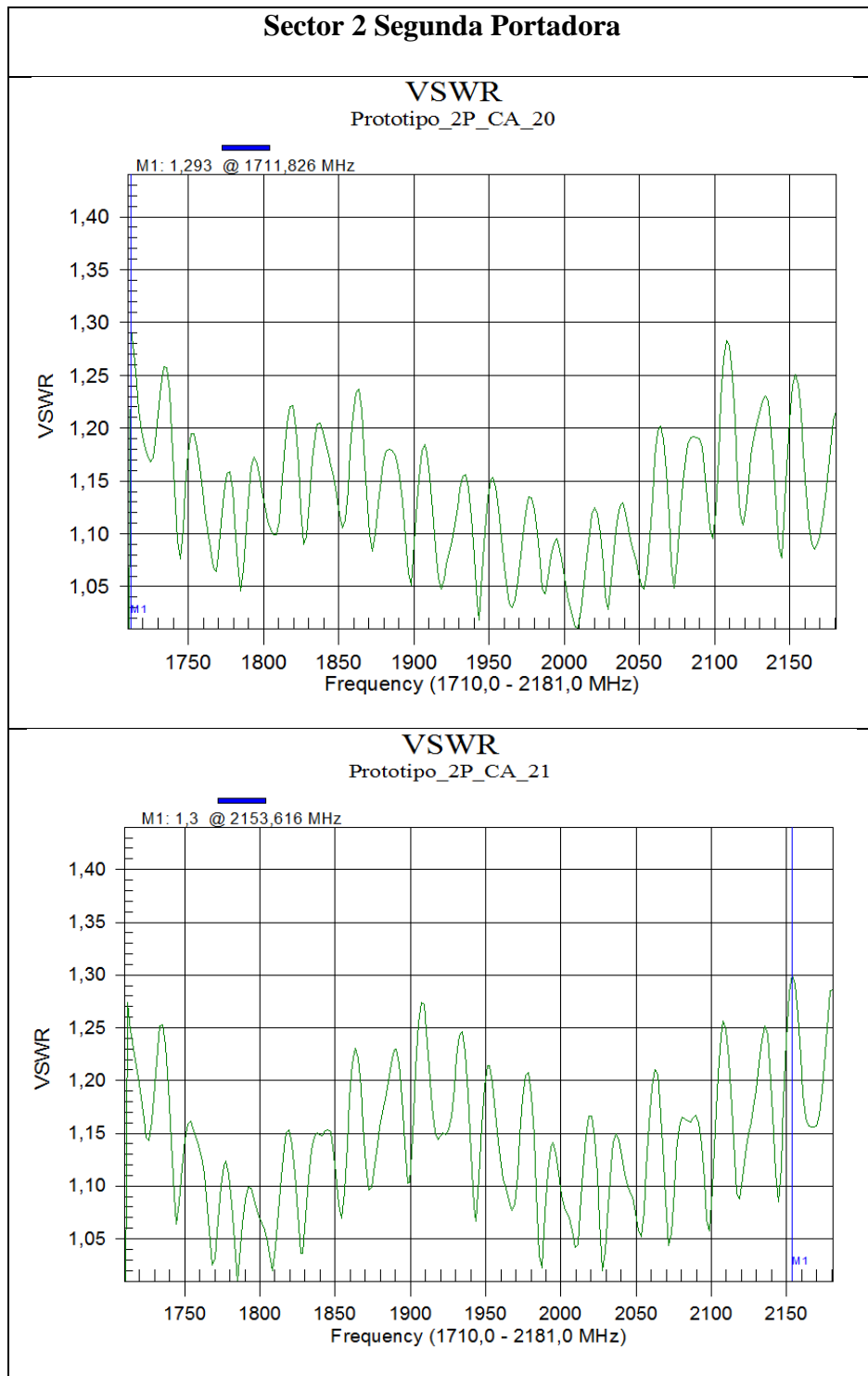


Figura A.2. Pruebas de VSWR del sistema radiante del S2 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

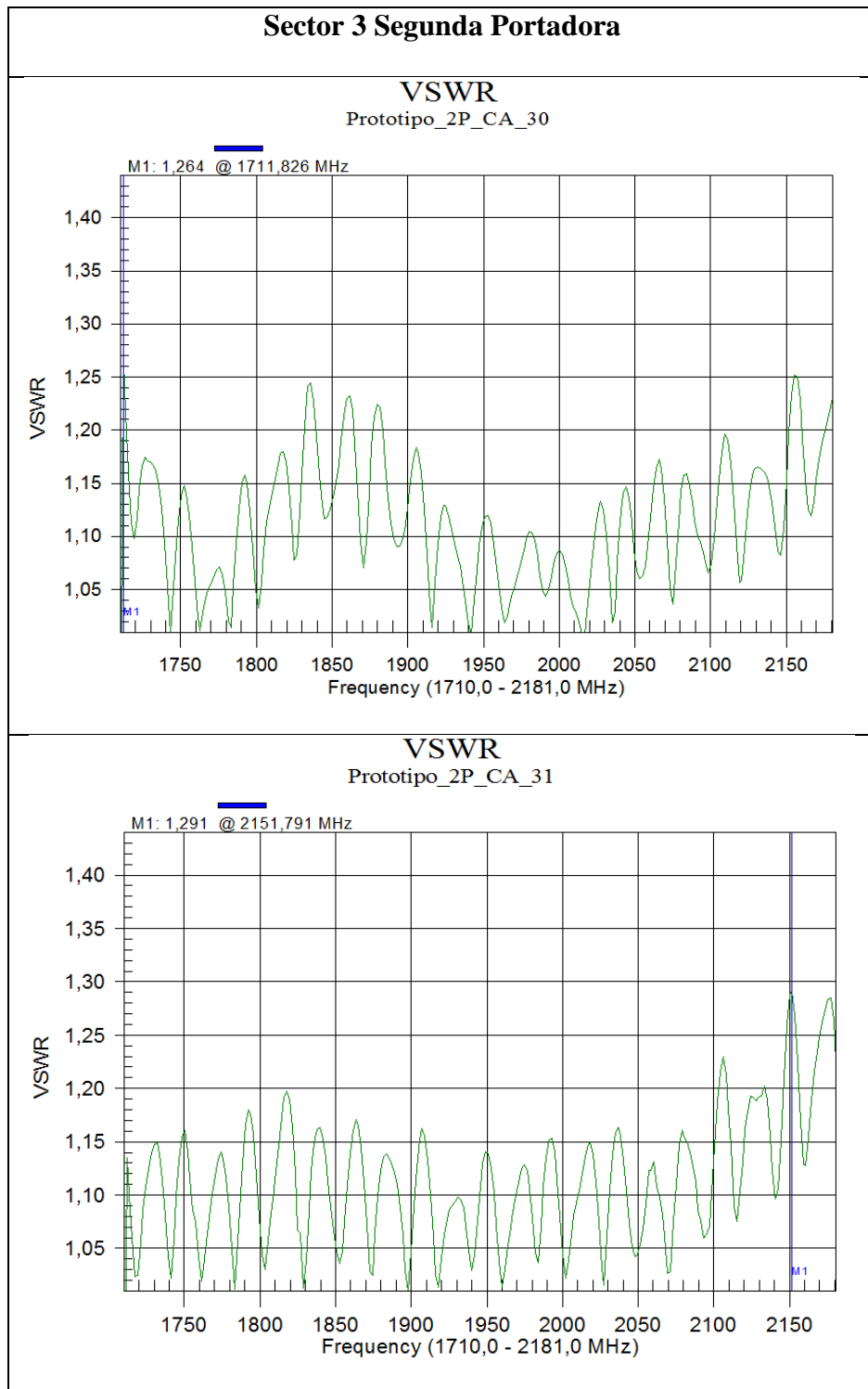


Figura A.3. Pruebas de VSWR del sistema radiante del S3 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

Pruebas de DTF (Distance to Fault) del sistema radiante de la Segunda Portadora de LTE implementada.

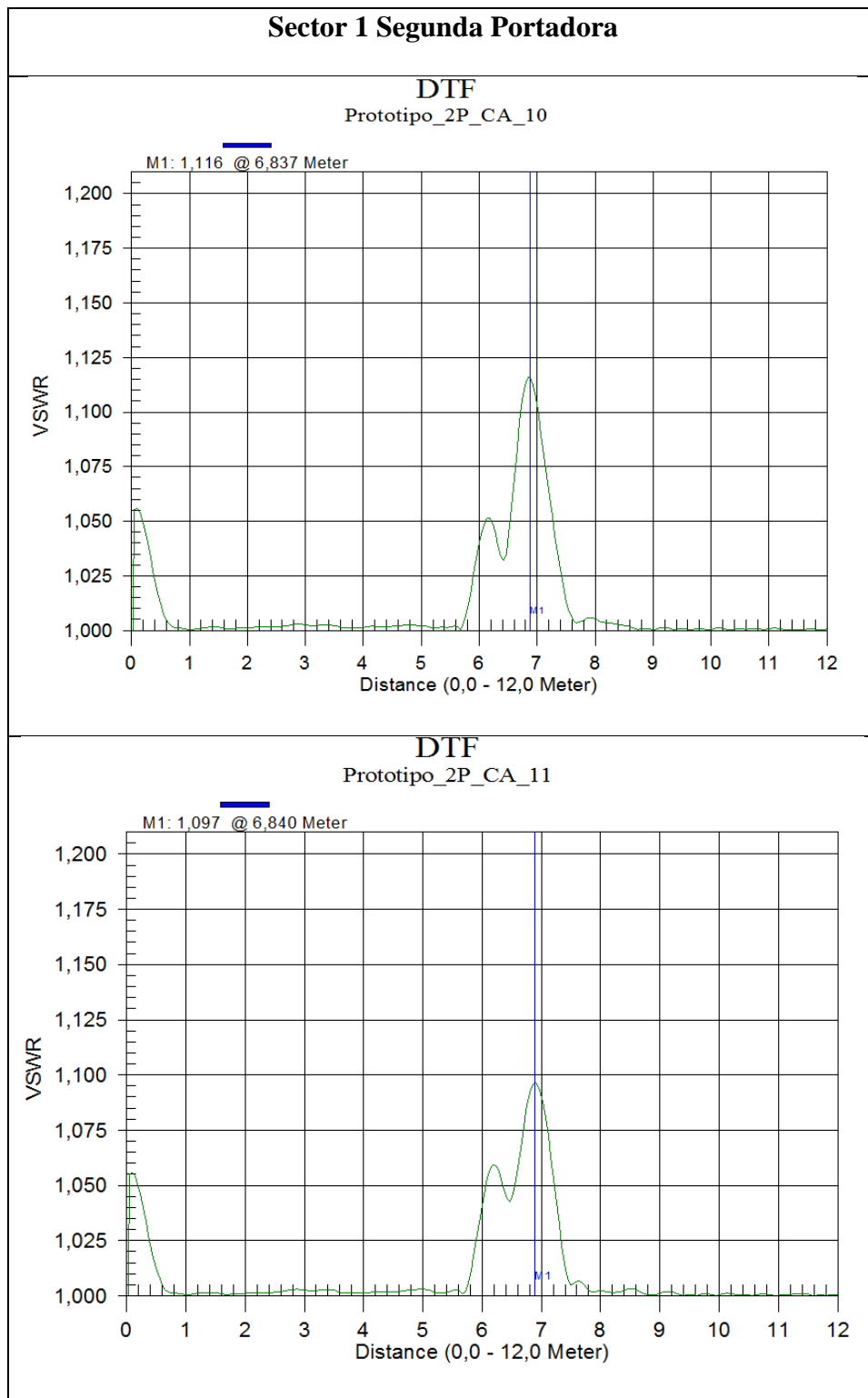


Figura A.4. Pruebas de DTF del sistema radiante del S1 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

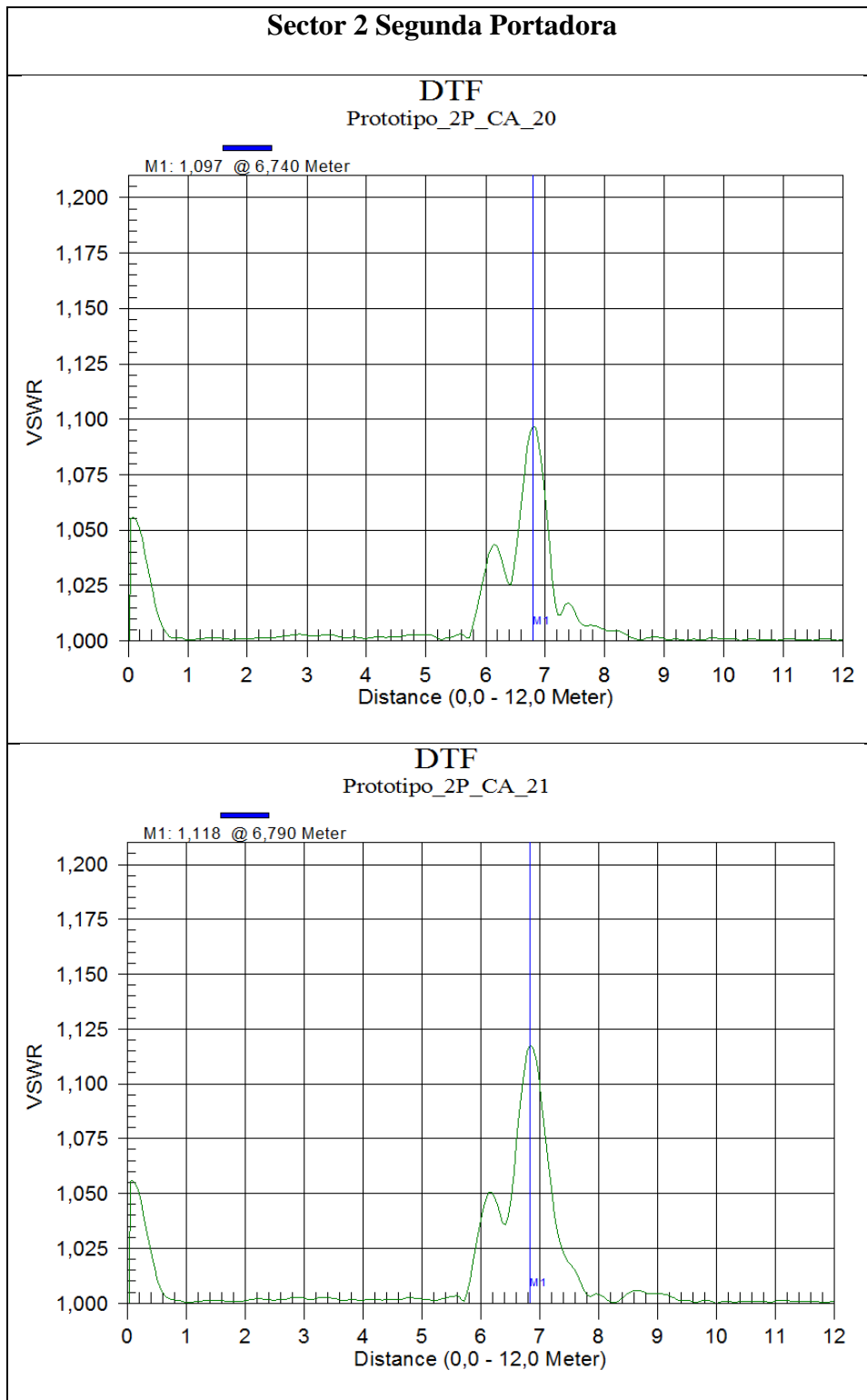


Figura A.5. Pruebas de DTF del sistema radiante del S2 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

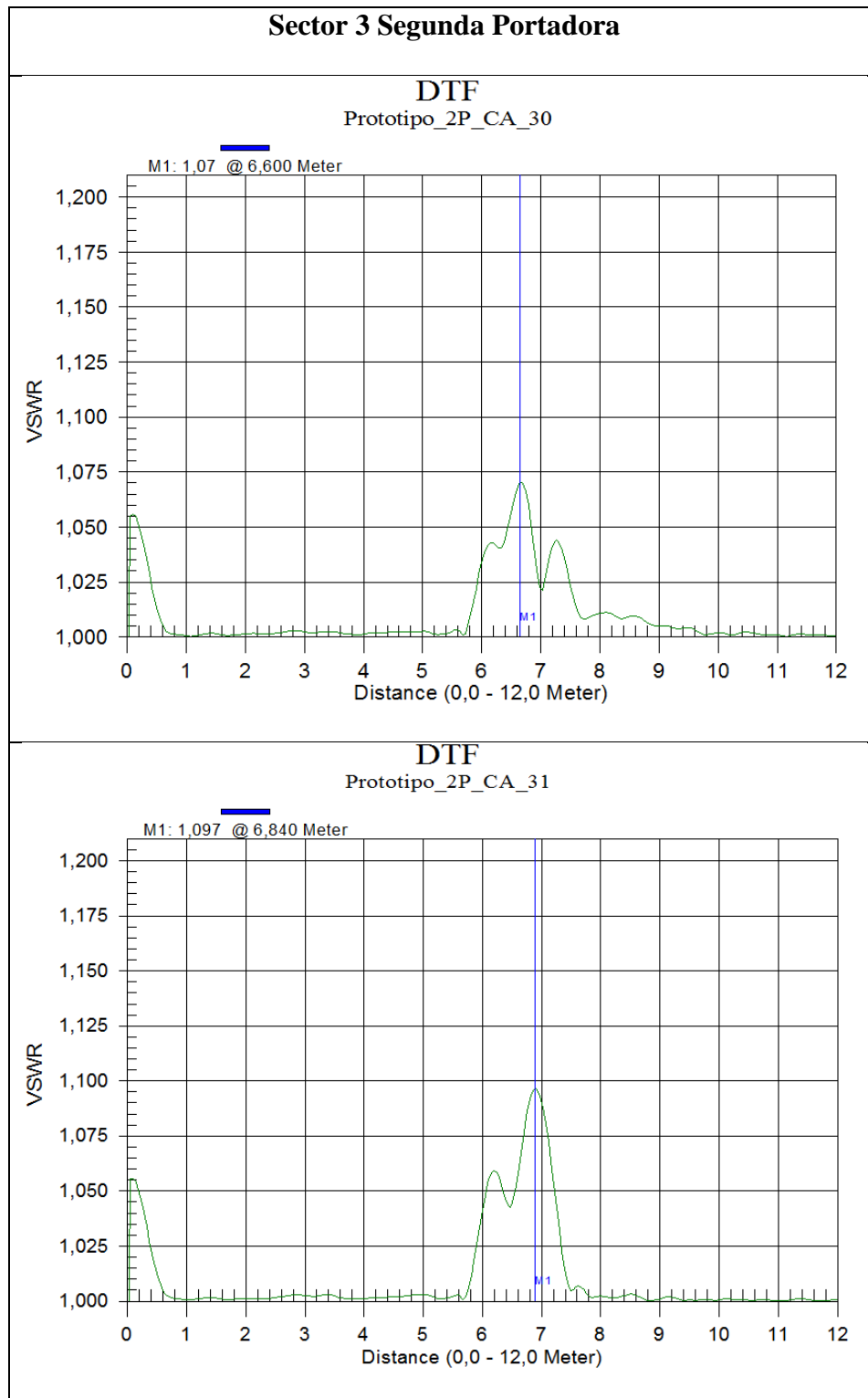


Figura A.6. Pruebas de DTF del sistema radiante del S3 Segunda Portadora LTE. (Ibarra, 2020)

Anexo B. Pantallas de Pruebas de Datos Iniciales.

En las siguientes pantallas se presentan las pruebas de datos realizadas en el prototipo de pruebas, de cada uno de los sectores de la Primera Portadora de LTE.

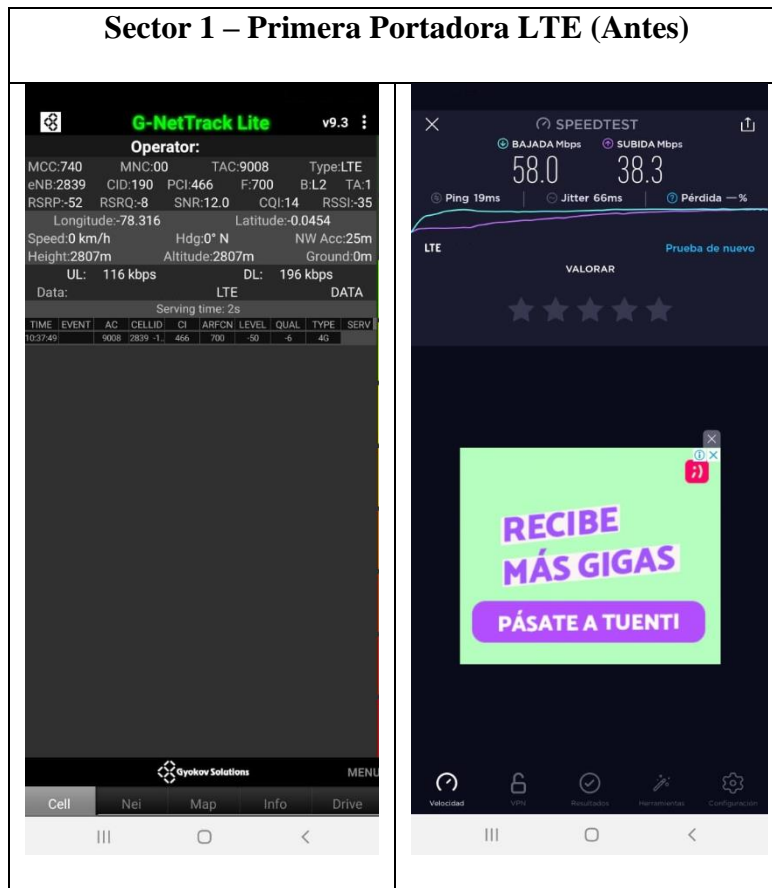


Figura B.1. Prueba de velocidad S1 Primera Portadora LTE antes de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)

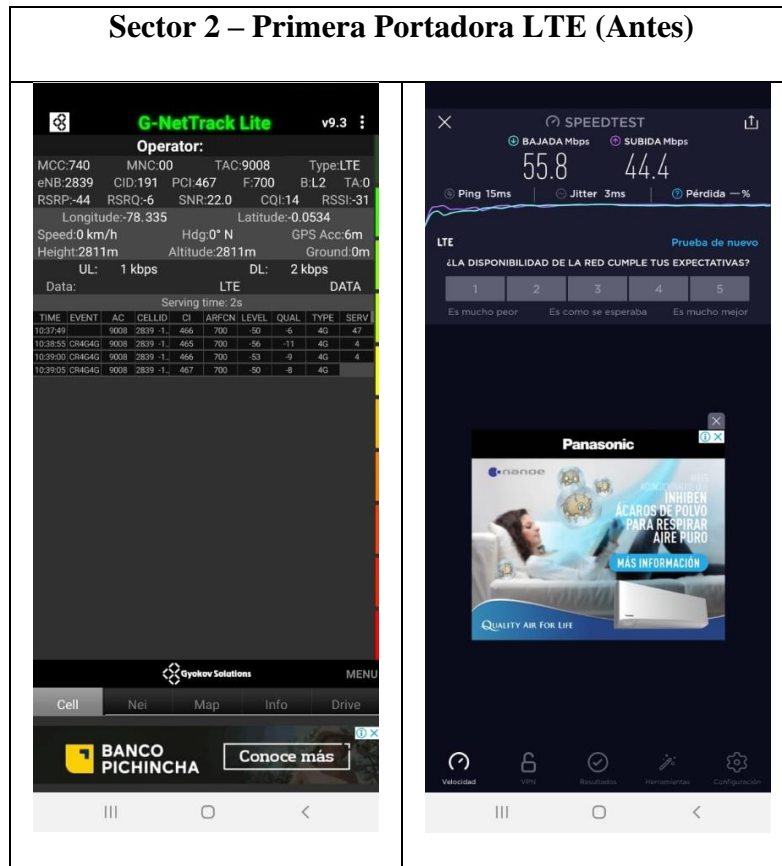


Figura B.2. Prueba de velocidad S2 Primera Portadora LTE antes de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)

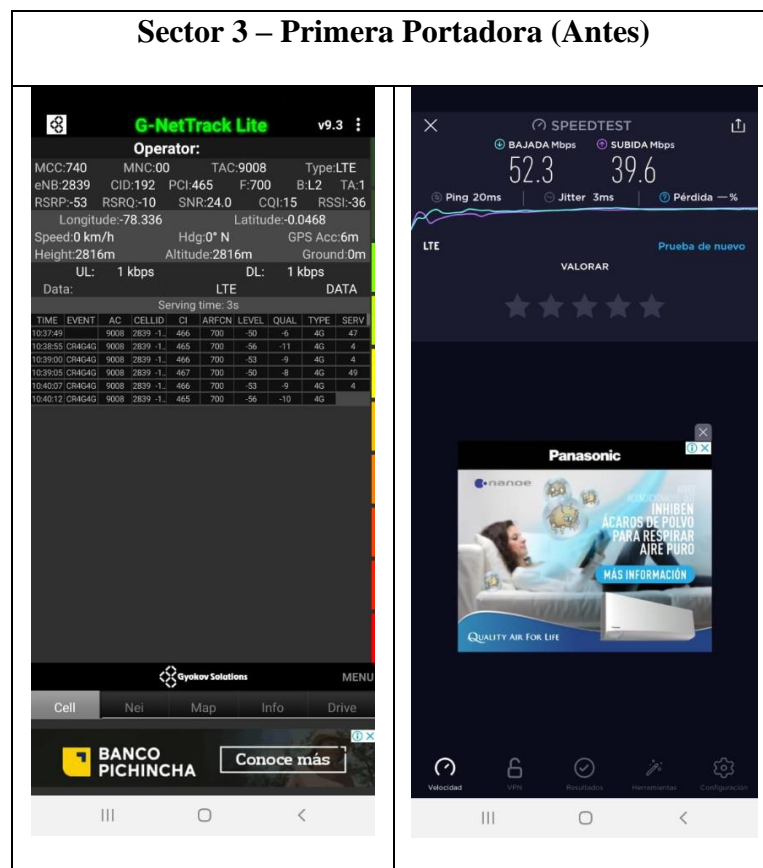


Figura B.3. Prueba de velocidad S3 Primera Portadora LTE antes de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)

Anexo C. Pantallas de Pruebas de Datos con la Implementación de la Segunda Portadora de LTE.

En las siguientes pantallas se presentan las pruebas de datos realizadas en el prototipo de pruebas, de cada uno de los sectores de la Primera Portadora de LTE y de la Segunda Portadora de LTE.

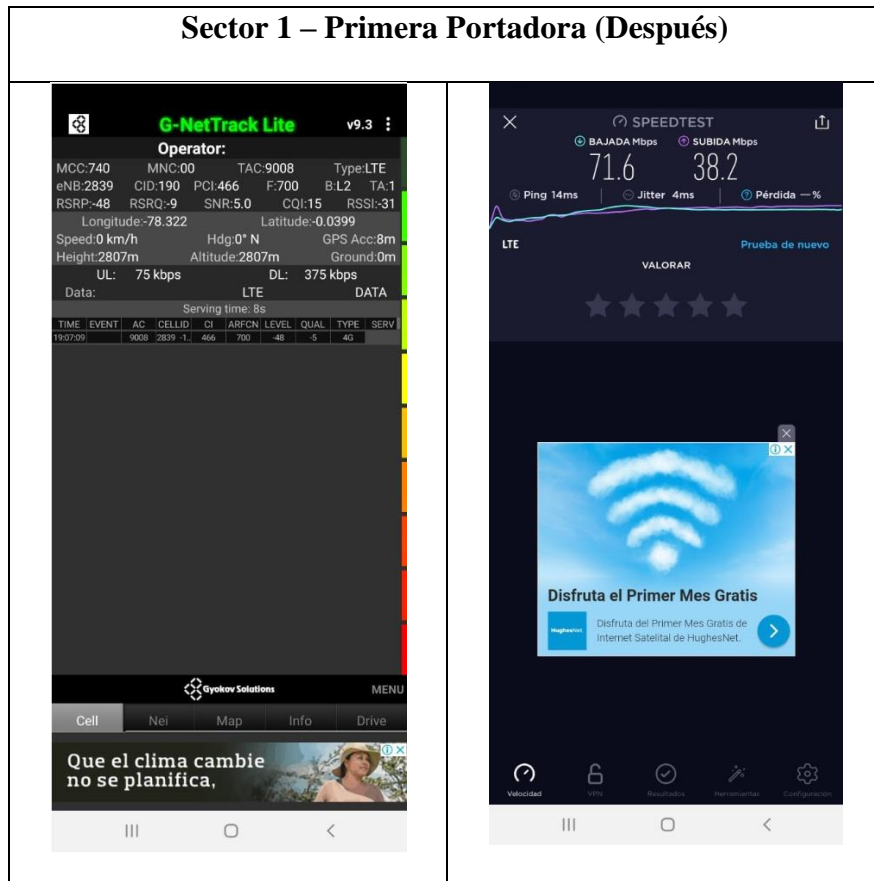


Figura C.1. Prueba de velocidad S1 Primera Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)

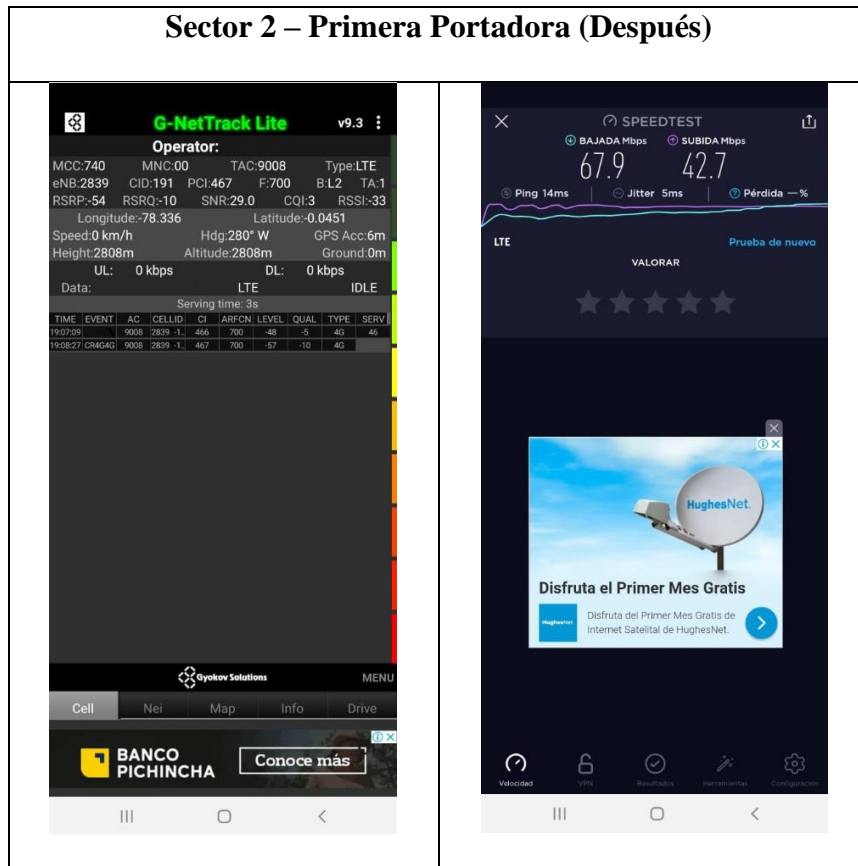


Figura C.2. Prueba de velocidad S2 Primera Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)

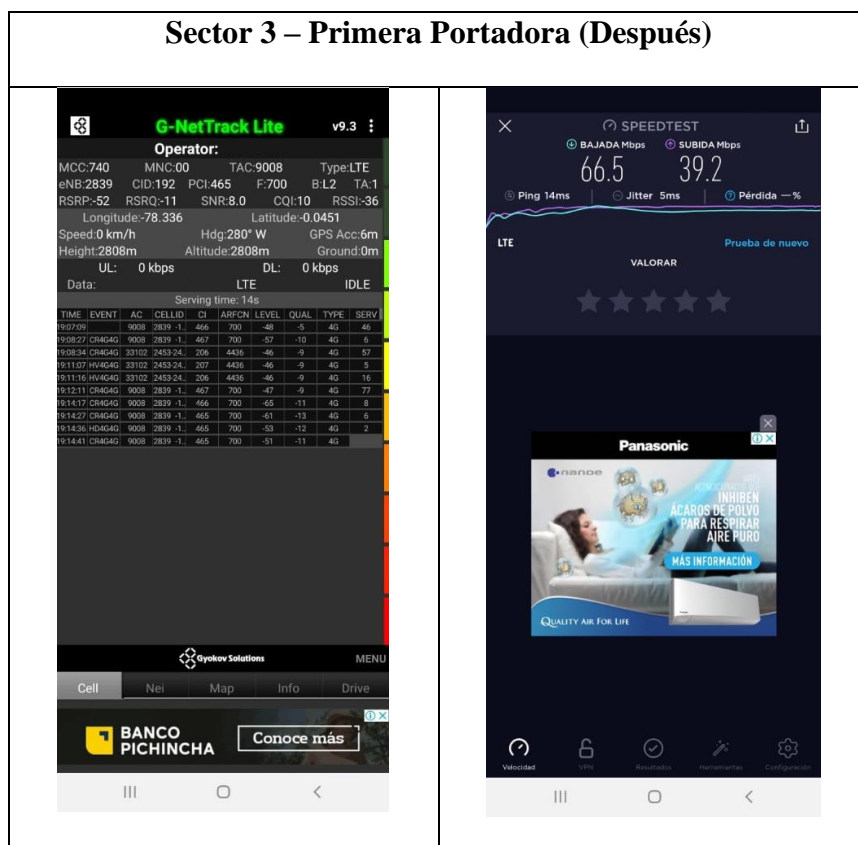


Figura C.3. Prueba de velocidad S3 Primera Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)



Figura C.4. Prueba de velocidad S1 Segunda Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)



Figura C.5. Prueba de velocidad S2 Segunda Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)



Figura C.6. Prueba de velocidad S3 Segunda Portadora LTE después de configurar 2P LTE. (Ibarra, 2020)