

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA DE UNA RED 5G NON-STAND
ALONE (NSA) PARA UN OPERADOR MÓVIL.

VALENTINA ALDANA TABARES

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.

2023

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA DE UNA RED 5G NSA NON-
STAND ALONE (NSA) PARA UN OPERADOR MÓVIL.

VALENTINA ALDANA TABARES

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO DE
TELECOMUNICACIONES

Dirigido por:
ING. JESÚS AUGUSTO GUZMAN LOZANO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2023

RESUMEN

Este documento presenta una propuesta de implementación técnica de una red 5G Non-Stand-Alone, en la opción 3X, la cual es una solución de transición que permite aprovechar las ventajas de la tecnología 5G mientras se mantiene la infraestructura 4G existente. Está diseñada para ser escalable y evolucionar hacia una red 5G independiente (SA) en el futuro, cuando la infraestructura y los dispositivos estén listos.

Se inicia con una introducción, planteando los objetivos para la realización de este trabajo, para después definir los conceptos claves, dar un pequeño marco referencial, dar un contexto actual del tema, después de esto se plantearán unas ventajas y desventajas de la implementación de este en Colombia, seguido de esto se empezará a plantear como se puede diseñar la red 5G y que equipos son necesarios para la implementación de este.

GLOSARIO

OM: Operation Manager.

OMCH: Operation Manager Channels.

UL: Uplink (Enlace o conexión de subida).

DL: Downlink (Enlace o conexión de bajada).

Interfaz S1: Conecta la estación base con el Service Gateway y el MME.

Interfaz X2: Es la interfaz entre dos estaciones base, se utiliza en el traspaso inter-Nodo.

EPC: Evolved Packet Core, es el conjunto de plataformas para el núcleo de paquete evolucionado, este permite la creación de diferentes servicios y seguridad confiables. Ayuda a proveer una arquitectura plana all-IP, la cual a un alto rendimiento y una baja latencia.

NMS: Network Manager Station, es un servidor que va a ejecutar una aplicación de gestión de red.

RAN: Radio Access Network, conecta los dispositivos individuales a diferentes partes de la red a través de conexiones de radio.

QCI: QoS Class Identifier, Identificador que diferencia los servicios.

PTN: Solución de portador de paquetes.

NR: New Radio, tecnología 5G NR, se desbloquean las bandas ultraanchas como sub-6 GHz y mmWave.

Placa LMPT: Placa utilizada en la BBU5900.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	13
4. MARCO TEÓRICO	14
4.1 CONCEPTOS CLAVES	14
4.1.1 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES MOVILES.....	14
4.1.2 ELEMENTOS DE UN RED CELULAR	14
4.1.3 REDES DE CUARTA GENERACION.....	15
4.1.7 REDES DE QUINTA GENERACION.....	15
4.1.8 TIPOS DE REDES 5G.....	16
4.1.8.1 5G NON-STAND ALONE (NSA).....	17
4.1.8.2 5G STANDALONE (SA).....	18
4.1.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE 5G NSA.....	18
4.1.9.1 VENTAJAS DE LA RED 5G NSA.....	18
4.1.9.1.1 IMPLEMENTACION RAPIDA.....	18
4.1.9.1.2 COBERTURA MEJORADA.....	18
4.1.9.1.3 ACCESIBILIDAD PARA DISPOSITIVOS 4G.....	19
4.1.9.2 DESVENTAJAS DE LA RED 5G NSA.....	19
4.1.9.2.1 MENOS VELOCIDAD Y LATENCIA.....	19
4.1.9.2.2 LIMITACIONES DE CAPACIDAD.....	19
4.1.9.2.3 MENOS ADAPTABILIDAD Y CARACTERISTICAS MODERNAS.....	19
4.2 REVISION DELITERATURA RELEVANTE.....	19
4.2.1 3GPP.....	19
4.2.1.1 RELEASE 15.....	19
4.2.1.2 RELEASE 16.....	20
4.2.2 PLAN 5G MinTIC.....	21
4.2.2.1 OBJETIVOS.....	21

4.2.2.2 DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA.....	22
4.2.2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....	22
4.2.2.4 INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.....	22
4.2.2.5 ECOSISTEMA DE APLICACIONES Y SERVICIOS 5G.....	22
4.2.2.6 SEGURIDAD Y PRIVACIDAD.....	22
4.3 ESTADO ACTUAL DEL TEMA	22
4.4 CASOS DE USO.....	23
4.4.1 WOM COLOMBIA.....	23
4.4.2 BRASIL.....	24
5. 4G LTE VS 5G NON-STAND-ALONE Y STAND-ALONE.....	25
6. OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DE LA IMPLEMENTACION DE UNA RED 5G	27
6.1 OPORTUNIDADES.....	27
6.1.1 VELOCIDAD Y CAPACIDAD DE RED MEJORADAS.....	27
6.1.2 CREACIÓN SE NUEVAS APLICACIONES Y SERVICIOS.....	27
6.1.3 INCREMENTAR LA ECONOMÍA DIGITAL.....	27
6.2 DESAFÍOS.....	27
6.2.1 INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA.....	27
6.2.2 DISPONIBILIDAD DE ESPECTRO.....	27
6.2.3 ACTUALIZACIÓN DE LA RED ACTUAL.....	27
7. ESPECTRO EN COLOMBIA.....	28
8. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION.....	30
8.1 5G NSA DISEÑO INTEGRADO DE REDES DE ESTACIONES BASE.....	31
8.1.1 PLANIFICACIÓN DE INTERFACES.....	31
8.2 DISEÑO OM.....	32
8.3 SINCRONIZACIÓN CON LA FUENTE DE TIEMPO.....	32
8.3.1 DISEÑO DE SINCRONIZACIÓN DEL RELOJ.....	33
8.3.2 POLÍTICA DE FUENTE DE RELOJ DE REFERENCIA.....	35
8.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO DE INTERCONEXIÓN DE IP.....	35
8.4.1 OPCIÓN 3X.....	35
8.5 REQUISITOS DE LA RED 5G EN CUENTO A RETARDO, JITTER Y TASA DE PÉRDIDA DE PAQUETES.....	36
8.6 DISEÑO DE QOS.....	37

8.6.1 DISEÑO SE CAPA SE RED INALÁMBRICA.....	37
8.6.2 REQUERIMIENTOS DE OPERACION RED DE TRANSPORTE.....	37
8.7 DISEÑO DE SEGURIDAD.....	37
9. DISEÑO DE RED	39
9.1 DISEÑO DE RED 5G NON-STAND -ALONE.....	39
9.1.1 ESTACIÓN BASE.....	41
9.1.2 RED DE TRANSPORTE.....	41
10. HARDWARE POR IMPLEMENTAR	42
10.1 RESUMEN AAU5612.....	42
10.2 RESUMEN BBU5900.....	42
10.2.1 BBU5900 MÓDULO DE ALIMENTACIÓN.....	43
10.2.1.1 UPEUe.....	44
10.2.1.2 UPEUd.....	44
10.2.2 TARJETA DE PROCESAMIENTO DE BANDA BASE UBBPFW1.....	44
10.2.3 PANEL DE CONTROL PRINCIPAL UMPTe.....	45
10.3 CONEXIÓN ENTRE UNA BBU Y UNA AAU.....	46
10.3.1 CONEXIONES DE CABLE PARA DESACOPPLAMIENTO UL Y DL.....	47
10.3.2 COMPONENTE RRU FDD 1800 MHz UTILIZADA PARA EL DESACOPPLAMIENTO UL Y DL.....	47
10.4 SOLUCIÓN SE FUENTE DE ALIMENTACIÓN AAU5612, EPU DE RUTA	
10.5 ARMARIO INTERIOR ILC29 (Ver.E) INSTALADO EN EL SUELO.....	48
10.6 INTRODUCCIÓN A BTS5900.....	49
11. CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	52

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Comparación entre 4G y 5G NSA y SA	25
Tabla 2. Especificaciones de la opción de red 3X para 5G NSA	30
Tabla 3. Especificaciones para el diseño de la interfaz OM	32
Tabla 4. Sincronización de la fuente de tiempo	33
Tabla 5. Diseño de la sincronización de la fuente del reloj	34
Tabla 6. Parámetros de 5G en cuanto a retardo, jitter y tasa de pérdida de paquetes	36
Tabla 7. Diseño de seguridad de la red	38
Tabla 8. Especificaciones de la nueva red 5G NSA	39
Tabla 9. Especificaciones de AAU5612	42
Tabla 10. Especificaciones BBU5900	43
Tabla 11. Especificaciones de la tarjeta UMPTe	46
Tabla 12. Especificaciones de la RRU	48

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág
Figura 1. Diagrama de una red celular	14
Figura 2. Arquitectura de red 5G NSA	17
Figura 3. Primer diseño de la red 5G NSA con la opción 3X	30
Figura 4. Diseño de la 5G NSA incluyendo los nodos 4G, capas de acceso agregación y core de la red	31
Figura 5. Ejemplo de la conexión de interfaces en la red	32
Figura 6. Política de fuente de reloj	35
Figura 7. Diseño de interconexión de IP para la red	36
Figura 8. Diseño de la QoS	37
Figura 9. Nuevo diseño de la red 5G NSA	39
Figura 10. Diagrama de la nueva red 5G NSA	41
Figura 11. Ilustración de AAU5612	42
Figura 12. Ilustración BBU5900	43
Figura 13. Diagrama UPEUe	44
Figura 14. Diagrama UPEUd	44
Figura 15. Diagrama de la tarjeta UBBPfw1	45
Figura 16. Diagrama del panel de control principal UMPTe	46
Figura 17. Ejemplo de las conexiones entre BBU y AAU	46
Figura 18. Conexión de cable para desacoplamiento UL y DL	47

Figura 19. Ilustración RRU	48
Figura 20. Solución de fuente de alimentación para la AAU5612	48
Figura 21. Ilustración ILC29 (Ver.E)	49
Figura 22. Ilustración BTS5900	50

INTRODUCCIÓN

Las redes de quinta generación o también conocida como 5G, son la más avanzada tecnología comercial de conectividad inalámbrica que se está implementando en todo el mundo. Esta nueva tecnología ofrece una mayor velocidad de descarga y carga, menor latencia y una mayor capacidad de dispositivos conectados, lo que permitirá la creación de una red más rápida, confiable y eficiente para la comunicación móvil.

El despliegue de las redes 5G ha despertado grandes esperanzas en el avance de las nuevas tecnologías y una mejoría de la calidad de vida de las personas. Por ejemplo, se prevé que las velocidades de descarga de datos se multipliquen hasta por 100 respecto a las actuales, lo que permitiría un manejo más eficaz de volúmenes masivos de datos, así como el desarrollo de nuevas apps que dependen de los datos para funcionar.

Las redes 5G son esenciales para satisfacer las crecientes demandas de conectividad que hay hoy en día en un mundo cada vez más conectado y para habilitar nuevas aplicaciones y tecnologías que requieren una conectividad más avanzada y confiables. Además, permitirá identificar nuevos modelos de negocios que dependen de las capacidades técnicas que brinda esta tecnología, lo que redundará en beneficio de todas las facetas de la economía nacional, incluidas las empresas, los consumidores, los diferentes sectores económicos y el sector público.

Con el pasar de los años, los usuarios de estas redes son cada vez más exigentes, aun así, hoy en día aún no existen redes de quinta generación en el país. Este trabajo analizará que se necesita para que el operador pueda implementar una red 5G, para poder ejemplificar la red necesaria para el despliegue.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una implementación técnica de una red de quinta generación Non-Stand Alone en Colombia, en una población de aproximadamente 1000 habitantes para un operador móvil ya existente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis comparativo de las arquitecturas de red 4G (LTE), 5G Non-Standalone y 5G Standalone con el fin de identificar y comprender las ventajas de la nueva generación 5G.
- Identificar las oportunidades y los desafíos de la implementación de la red 5G.
- Analizar y evaluar la situación actual de asignación de espectro para 5G en Colombia.
- Analizar los factores técnicos y económicos para la implementación de 5G.
- Elegir la tecnología 5G más apropiada para satisfacer las necesidades específicas, con el fin de optimizar el rendimiento de las comunicaciones inalámbricas.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La cuarta revolución industrial, la cual actualmente está en marcha y está cambiando todas las industrias en todos factores, las está obligando a adoptar procesos y tecnologías de automatización como Big Data, mensajería instantánea e Internet de las cosas (IoT, Internet of Things). El crecimiento exponencial del uso de los dispositivos móviles y la demanda de una conectividad más rápida, confiable y segura han hecho necesario el desarrollo de redes de quinta generación (5G).

Debido al alto volumen de dispositivos conectados y la alta demanda de datos, las redes 4G se encuentran actualmente al límite de su capacidad. La demanda de una red más sofisticada está creciendo como resultado de la introducción de nuevos dispositivos y tecnologías como Internet de las cosas, vehículos autónomos y aplicaciones de realidad virtual.

La tecnología 5G promete velocidades de conexión hasta 100 veces superiores a las de las actuales redes 4G. Ahora es posible descargar archivos de gran tamaño y transmitir contenidos multimedia en tiempo real y sin interrupciones. [26]

Además, las redes 5G brindan una latencia increíblemente baja, lo que hace que las comunicaciones sean más inmediatas y permiten una mejor interacción en tiempo real. En aplicaciones cruciales como la telemedicina, los vehículos autónomos y la automatización industrial, esto es especialmente crucial. [25]

Las redes 5G también brindan un mayor nivel de seguridad y privacidad, lo cual es crucial en un mundo cada vez más conectado. Es fundamental asegurarse de que la creciente cantidad de datos transmitidos a través de dispositivos móviles sea segura e inaccesible para terceros no autorizados, por esto ofrecen velocidades de datos mucho más rápidas y más capacidad que sus predecesoras.

Las empresas de telecomunicaciones pueden introducir 5G mientras utilizan su infraestructura 4G actual mediante el establecimiento de una red 5G no independiente (NSA). Para los proveedores de telecomunicaciones que buscan brindar a sus clientes servicios de alta velocidad y capacidad, el despliegue de una red 5G NSA es un tema crucial.

También tiene ramificaciones significativas para la economía y la sociedad en general. Un elemento crucial de la economía digital y una necesidad para la expansión económica son las redes móviles. Al aumentar la productividad y la eficiencia empresarial, el despliegue de una red 5G NSA puede contribuir al crecimiento económico.

Se debe tener en cuenta las muchas ventajas de la tecnología 5G en términos de conectividad y accesibilidad. Al implementar una red 5G NSA, las áreas remotas y rurales pueden tener una mejor conectividad, lo que puede aumentar la cantidad de usuarios que requieren de acceso a los servicios digitales y con esto, mejorar el bienestar de la comunidad.

El despliegue propuesto de una red 5G NSA es, por lo tanto, un tema pertinente y esencial que debe abordarse para mejorar la infraestructura de comunicaciones y permitir la expansión y conectividad de la economía digital.

4. MARCO TEORICO

4.1 CONCEPTOS CLAVES

En esta sección se definirán los conceptos necesarios de definir para el desarrollo del trabajo.

4.1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES

Los sistemas comunicaciones son las conexiones que hace la información antes de llegar al usuario, su destinatario final.

Los sistemas de telecomunicaciones móviles están basados en tecnologías de comunicación celular, lo que significa que utilizan una red de torres de telefonía celular que se distribuyen geográficamente. Estas torres, también conocidas como estaciones base o antenas, se conectan entre sí y con una red central para proporcionar cobertura a una determinada área geográfica.

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), que permite la comunicación digital a través de tecnologías como voz encriptada, mensajes de texto y transferencia de datos, es el estándar más adoptado en las redes móviles. Otros estándares populares incluyen tercera generación, cuarta generación y quinta generación, todos los cuales tienen mayor velocidad, capacidad y eficacia. [3]

4.1.2 ELEMENTOS DE UNA RED CELULAR

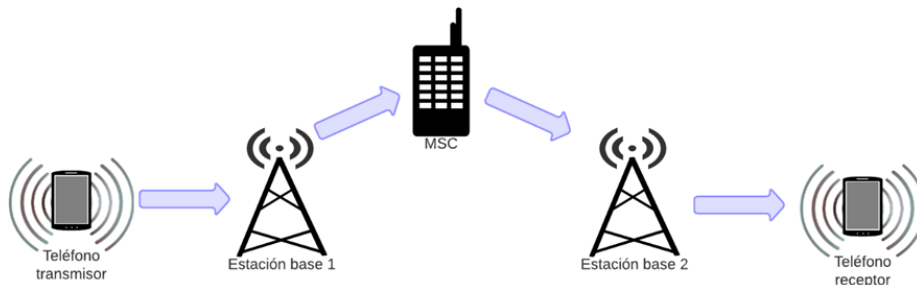


Figura 1. Diagrama de una red celular.

Fuente: Sociedad Española de Protección Radiológica,” LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN TELEFONÍA MÓVIL: PREGUNTAS Y RESPUESTAS”, 2011.

En la figura 1 se puede ver cómo, la antena receptora-transmisora del teléfono móvil, que se utiliza para realizar llamadas, emite ondas electromagnéticas en el rango de radiofrecuencia (RF). La antena de la estación base más cercana capta estas ondas de radio, que se envían en todas direcciones. [17]

Una estación base consiste en una torre o mástil en el que se instala un grupo de antenas receptoras y emisoras de RF. Estas antenas se comunican con teléfonos móviles específicos que se encuentran cerca. Las antenas transmisoras de la estación base son direccionales, lo que significa que emiten en una sola dirección como una linterna con un haz amplio. [17]

Cuando una estación base responde a una llamada telefónica, envía la comunicación a un "conmutador" que luego la envía a la estación base cuya área de cobertura incluye el teléfono móvil que recibe la llamada. [17]

Después, se establece un intercambio de emisión-recepción entre los dos teléfonos y, a través de los elementos de interconexión mencionados anteriormente, desde el que habla en un momento dado al que escucha en ese preciso momento. [17]

4.1.3 REDES DE CUARTA GENERACION

Las redes de cuarta generación están basadas totalmente en IP, con esto esta tecnología se trata de proporcionar una alta velocidad, capacidad, calidad, seguridad y servicios de voz, datos, internet y multimedia a un bajo costo. [1]

Los proveedores de Servicios Móviles Avanzados están construyendo actualmente una infraestructura especializada para soportar esta tecnología para que pueda operar en todo el país. Con 4G, puede usar más aplicaciones basadas en Internet a velocidades más rápidas que con 3G. Para poder aprovechar esta tecnología es necesario un celular específico con este soporte. [4]

Empezó en el año del 2010. Las especificaciones para los sistemas 4G fueron publicadas por la ITU-R en 2008. Utiliza la norma IEEE 802.16m de WiMAX móvil Long Term Evolution Time Division Duplex. LTE utiliza varias bandas, posee una velocidad de 100 Mbps para objetos en movimiento y 1 Gbps para objetos estáticos, llamadas telefónicas IP, nuevas frecuencias que tienen un mayor ancho de banda de canal de frecuencia, utiliza OFDM, MC-CDMA, etc. como tecnologías de multiplexación y acceso, y tiene un ancho de banda de 5-20 MHz con 40 MHz adicionales disponibles. [1]

Según la Especificación Internacional de Telecomunicaciones Móviles Avanzadas, los servicios 4G transfieren los datos a la velocidad de 100 Mbps, esto en comunicaciones de alta movilidad (vehículos y trenes) y de 1 Gbps en comunicaciones de baja movilidad (usuarios). La red LTE Advanced, compatible con IMT-Advanced, ofrece las velocidades necesarias. La tecnología 4G ofrece muchas mejoras orientadas al rendimiento además de proporcionar velocidades más rápidas. Las antenas de entrada múltiple/salida múltiple (MIMO) se utilizan en redes 4G para aumentar la eficiencia de la comunicación. Este tipo de tecnología de antena inteligente amplía el alcance del enlace y aumenta el rendimiento de datos sin requerir más ancho de banda. Para reducir el número de fallas, también incluye enlaces adaptativos con códigos de corrección de errores. Aunque algunos de los cambios que ocurren detrás de escena pueden no ser visibles para los usuarios, las redes 4G ofrecen una mejor experiencia móvil en general. [4]

4.1.4 REDES DE QUINTA GENERACION

La quinta generación de tecnología inalámbrica celular, que ha mejorado la capacidad con respecto a las redes anteriores y ofrece unas velocidades de carga y descarga mucho más rápidas. La forma en que usamos Internet para acceder a aplicaciones, redes sociales e información podría cambiar como resultado de 5G, que es mucho más rápido y confiable que las redes 4G que prevalecen actualmente. Por ejemplo,

la conectividad 5G será extremadamente beneficiosa para tecnologías como los automóviles autónomos, las aplicaciones de juegos sofisticadas y los medios de transmisión en vivo que requieren conexiones de datos altamente confiables y de alta velocidad. [15]

Las características de esta red incluyen un rango de frecuencia de 3 a 300 GHz, un rango de velocidad de 1 a 10 Gbps, 1.000 veces el ancho de banda utilizado en una zona, tecnologías de multiplexación CDMA y BDMA, y estándares para WWW, WAN, PAN y LAN de banda ancha IP. Respuestas rápidas, poca fluctuación, latencia y retardo son características del rendimiento en tiempo real. Velocidades de datos de gigabits, cobertura de alta calidad y numerosos espectros son características de la banda ancha extremadamente rápida. Cuenta con una infraestructura virtualizada, o una red definida por software que es escalable y barata, tiene más dispositivos conectados, con mucha más cobertura y posee una eficiencia de señalización que da soporte a la Internet de las Cosas y M2M. Su tecnología radioeléctrica les ayudará al permitir un uso compartido eficaz del espectro entre múltiples tecnologías radioeléctricas. [1]

Esta red posee servicios de las aplicaciones son importantes para mantener a los usuarios y los dispositivos conectados en todo momento y en todo lugar. El mundo real se convertirá en un punto de acceso Wi-Fi gracias a tu aplicación. Las direcciones IP móviles se deben asignar según la red en la que está conectada y la ubicación del usuario. La señal de radio de mayor altitud también está presente. Existen numerosos servicios simultáneos que le permiten verificar el clima y su ubicación mientras habla. El aprendizaje será más sencillo. La clase es accesible para cualquier estudiante sentado en cualquier parte del mundo. La red 5G tiene excelentes capacidades de diagnóstico remoto. El paciente que se encuentra en un área remota del mundo puede ser tratado por un médico. Será más fácil de rastrear porque los investigadores pueden vigilar las cosas desde cualquier lugar del mundo con la ayuda de una agencia gubernamental. Como resultado, las tasas de criminalidad pueden disminuir. La capacidad de visualizar el cosmos, las galaxias y los planetas estará disponible. Las catástrofes naturales como terremotos y tsunamis también pueden detectarse antes. [9]

Una característica de esta tecnología que fue muy útil durante los primeros meses del confinamiento provocado por la epidemia es su capacidad para manejar el creciente número de dispositivos conectados simultáneamente, especialmente en los grandes centros urbanos. Las ciudades inteligentes, la telemedicina, los eSports, los automóviles conectados, la industria 4.0, etc. Por ejemplo, las redes móviles más avanzadas pueden abordar las crecientes demandas de movilidad y planificación urbana. Las ciudades inteligentes, que se están construyendo actualmente, tienen como objetivo mejorar la vida urbana de manera sostenible, segura y con servicios de primer nivel. [15]

4.1.5 TIPOS DE RED 5G

Existen dos tipos de red de quinta generación, Non-Stand Alone y Stand Alone, las cuales se definirán a continuación.

4.1.5.1 5G NON-STAND ALONE (NSA)

La red 5G NSA, es decir no autónoma, esta tecnología parte de la infraestructura de 4G LTE ya existente (respectivamente 4G Radio y 4G Core), esta tecnología permitirá a los operadores a proveer los servicios de 5G en menos tiempo y menor costo. En esta configuración solo se soportan los servicios 4G, pero tienen las capacidades que ofrece el 5G New Radio (menor latencia, más capacidad). La NSA también se conoce como "Conectividad dual E-UTRA-NR (EN-DC)". [6]

Una configuración de red utilizada en el primer despliegue de tecnología 5G es la red 5G NSA (no independiente). NSA se refiere al hecho de que la red 5G se expande en la infraestructura actual de las redes 4G LTE (evolución a largo plazo), lo que permite un despliegue más rápido y efectivo de 5G. [6]

La red 5G NSA utiliza tecnología 5G además de la red 4G actual. Esto indica que los servicios de datos 5G se entregan utilizando la red y las estaciones base de las redes 4G existentes. Al utilizar la capacidad y la cobertura ampliadas de la red 4G, la red 5G NSA utiliza una banda de frecuencia adicional para el tráfico de datos 5G. [6]

Es importante recordar que la red 5G NSA es solo una solución temporal hasta que se implemente la red 5G independiente (Stand Alone). La red 5G SA es una configuración completamente independiente que no depende de la red 4G. Se anticipa que la dependencia de las redes 4G disminuirá gradualmente a medida que las redes 5G SA se implementen más ampliamente. [18]

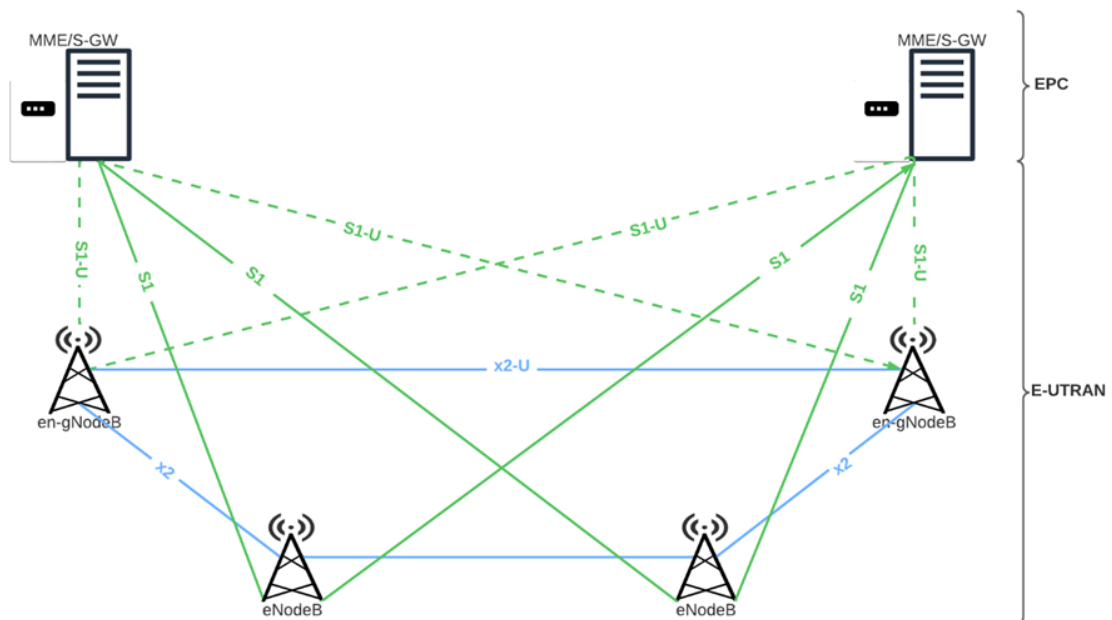


Figura 2. Arquitectura de red 5G NSA

Fuente: 3GPP, 5G System Overview.

La arquitectura NSA representada en la figura 2, en la que la red de acceso 5G está acoplada a la red básica 4G, podría considerarse un paso intermedio hacia un despliegue

"5G completo". La estación base (4G) LTE (nodo lógico "eNodeB") y la estación base (5G) NR (nodo lógico "en-gNodeB") están conectadas a través de la interfaz X2 en el diseño NSA. Antes de la versión 15, la interfaz X2 se desarrolló para conectar dos eNodeB. En la versión 15, también es posible conectar un eNodeB y un en-gNodeB para dar NSA. [11]

La NSA ofrece conectividad dual, tanto a través de la AN 4G (E-UTRA) como de la AN 5G (NR). Por ello también se denomina "EN-DC", por "E-UTRAN and NR Dual Connectivity". En EN-DC, el eNodeB de 4G es el Nodo Maestro (MN), mientras que el en-gNodeB de 5G es el Nodo Secundario (SN). [11]

4.1.5.2 5G STAND ALONE (SA)

El término "Standalone" (autónomo) se utiliza en las redes 5G "SA". En otras palabras, son redes 5G independientes que no dependen de la infraestructura de la red 4G. En la arquitectura 5G SA se utilizan protocolos 5G diseñados específicamente, nuevas estaciones base y núcleos de red. [6]

Las redes SA (independientes) de quinta generación (5G) son una versión completa e independiente de las redes 5G. Si bien las redes 5G no independientes (NSA) se construyen utilizando la infraestructura de las redes 4G actuales, las redes 5G SA están diseñadas para operar independientemente de cualquier red 4G, por el contrario. [6]

Con estaciones base 5G, núcleos de red 5G y protocolos de comunicación 5G, las redes 5G SA emplean una nueva arquitectura de red específica para 5G. En comparación con tecnologías anteriores, esto permite una mayor capacidad, velocidad y eficiencia. [6]

En resumen, las redes 5G SA brindan una experiencia más rica y sofisticada en términos de velocidad, latencia increíblemente baja, capacidad de conexión masiva y capacidades mejoradas de Internet de las cosas (IoT). Estas redes son esenciales para habilitar servicios y aplicaciones de vanguardia como la realidad virtual y aumentada, la fabricación automatizada, los automóviles autónomos y las ciudades inteligentes. [6]

4.1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE 5G NSA

Al momento de implementar la red es necesario tener en cuenta cuáles son sus ventajas y desventajas.

4.1.6.1 VENTAJAS DE LA RED 5G NSA:

Ventajas de la red 5G Non-Stand Alone.

4.1.6.1.1 Implementación rápida

En comparación con comenzar desde cero con una red 5G independiente (SA), la implementación de una red 5G NSA puede ser más rápida y rentable al utilizar la infraestructura de una red 4G LTE existente. Como resultado, los servicios 5G se pueden adoptar antes. [7]

4.1.6.1.2 Cobertura mejorada

La red 5G NSA utiliza la infraestructura de red 4G actual, lo que le permite aprovechar la amplia cobertura de la red 4G. Esto hace que la

conectividad 5G sea más accesible en áreas con cobertura 4G establecida. [8]

4.1.6.1.3 Accesibilidad para dispositivos 4G

Los dispositivos 4G existentes pueden usar la red 5G NSA sin ningún problema. Los usuarios no necesitan actualizar sus dispositivos para beneficiarse de la red 5G, lo que permite una transición más fluida a la tecnología 5G. [8]

4.1.6.2 DESVENTAJAS DE LA RED 5G NSA:

Desventajas de la red 5G Non-Stand Alone.

4.1.6.2.1 Menor velocidad y latencia

Aunque la red 5G NSA puede mejorar significativamente la velocidad y la latencia en comparación con la red 4G, no puede igualar el rendimiento máximo de la red SA. Puede haber restricciones de velocidad y latencia debido a la dependencia de la infraestructura 4G. [7]

4.1.6.2.2 Limitaciones de capacidad

La red 5G NSA comparte la capacidad de la red 4G actual, lo que podría conducir a una capacidad limitada para admitir muchos dispositivos y servicios 5G a la vez. Debido a la congestión en áreas con alta densidad de usuarios, esto puede disminuir la calidad del servicio. [7]

4.1.6.2.3 Menos adaptabilidad y características modernas

En comparación con la red 5G independiente (SA), la red 5G NSA carece de algunas de las características más modernas. La comunicación de baja latencia en tiempo real y una amplia Internet de las cosas son dos ejemplos de las nuevas aplicaciones y casos de uso que la red 5G SA puede admitir. [8]

4.2 REVISION DE LITERATURA RELEVANTE

Revisión de la literatura relevante para la realización del proyecto.

4.2.1 3GPP

El Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) reúne a varias organizaciones que desarrollan estándares de telecomunicaciones, también denominadas "Socios Organizacionales", y que brindan a sus miembros un entorno estable en que desarrollar los diferentes informes y especificaciones que perfeccionan las tecnologías.

Sus especificaciones velan por las tecnologías de telecomunicaciones celulares, como acceso de radio, redes centrales, capacidades de servicio. [23]

4.2.1.1 RELEASE 15

El Release 15 es la primera serie de especificaciones para la tecnología 5G. Fue publicado en junio de 2018 y es a menudo llamado "5G fase 1". Éste proporciona las especificaciones técnicas para empezar a construir y desplegar redes 5G. Establece los

requisitos técnicos para la primera iteración del desarrollo de la tecnología 5G. Algunos de los temas importantes tratados en esta versión son los siguientes: [10]

- Nueva Radio (NR), es el elemento más significativo del Release 15, la introducción de la especificación de la Nueva Radio (NR). Esta especificación permite la utilización de bandas de frecuencia más altas, hasta 100 GHz. [10]
- Especifica el uso de nuevas bandas de frecuencia, como las ondas milimétricas (mmWave), para permitir redes 5G con mejor ancho de banda y mayor capacidad. Además, permiten el uso de bandas de frecuencia de hasta 100 GHz, lo que permite velocidades significativamente mayores que las disponibles en 4G. [10]
- Modos de funcionamiento no autónomos (NSA), describe los requisitos de las redes 5G NSA, que se basan en la arquitectura actual de las redes 4G LTE. Dado que las redes 5G pueden aprovechar la cobertura y la capacidad de las redes 4G actuales, el despliegue de la 5G puede realizarse con mayor rapidez. También introduce tecnología de diseño de red como el slicing de la red, que permite múltiples redes lógicas en una misma infraestructura de red física. [10]
- La eficiencia espectral de las redes 5G está mejorando con la introducción de técnicas de modulación y codificación más sofisticadas. Esto aumenta la capacidad de la red, ya que se pueden transportar más datos con el mismo ancho de banda. [10]
- Baja latencia, establece objetivos aspiracionales de latencia ultrabaja, lo que permite mejorar los tiempos de reacción en las redes 5G. Para aplicaciones que dependen de la latencia, como el Internet de las Cosas (IoT) y los vehículos autónomos, esto es esencial. [10]
- Compatibilidad con casos de uso específicos, aborda además los requisitos y mejoras para casos de uso verticales, incluidas las comunicaciones vehiculares, las aplicaciones de misión crítica y las Comunicaciones Masivas de Máquinas (MTC) para el Internet de las Cosas. [10]

El release 15 del 3GPP es importante ya que establece los requisitos técnicos fundamentales para la implantación de la tecnología 5G. Nuevas bandas de frecuencia, modos de funcionamiento NSA, mejoras en la eficiencia del espectro, latencia reducida y compatibilidad con determinados casos de uso son algunos de los temas cubiertos por estas especificaciones. [10]

4.2.1.2 RELEASE 16

Otro paso importante hacia el desarrollo de la tecnología 5G es la versión 16 del 3GPP, la cual fue publicada en el 2020, que se centra en la construcción y mejora de las redes 5G. En esta versión se tratan varios temas importantes:

Introduce varias mejoras para mejorar la capacidad y rendimiento de las redes 5G. Esto incluye mejoras en las técnicas de modulación y codificación, la agregación de portadoras y la eficiencia del espectro. la ampliación de capacidad y cobertura de las redes

5G permitirá nuevos avances tecnológicos y usos. Para ello se utilizan nuevas bandas de frecuencia y técnicas de agregación de portadoras. [19]

Latencia ultra baja, se prevén requisitos más estrictos para que las redes 5G sean aún más eficientes en latencia. Esto es esencial para aplicaciones sensibles al tiempo como la automatización de la industria y la realidad virtual aumentada. [19]

Como se centra en dar soporte a determinados casos de uso en campos como el Internet de las Cosas (IoT), la comunicación vehicular y la automatización industrial, ofrece soporte para casos de uso novedosos. Para cumplir los requisitos de los distintos casos de uso, se introducen mejoras, como una mejor cobertura, comunicaciones masivas entre máquinas (MTC) y una mayor eficiencia energética. La mejora del soporte del Internet de las cosas (IoT), por ejemplo, se centra en aumentar la eficacia y el soporte del IoT en las redes 5G. Esto incluye la capacidad de la comunicación masiva entre máquinas (MTC) para enlazar muchos dispositivos IoT y avances en la eficiencia energética para prolongar la duración de la batería de los dispositivos IoT; los casos de uso de la comunicación vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a infraestructura (V2X) son posibles gracias a las mejoras y adiciones realizadas al soporte de las comunicaciones vehiculares en las redes 5G. Estas mejoras incluyen una baja latencia y una alta confiabilidad para aplicaciones de seguridad vial y de tráfico. [19]

En él se describen los requisitos para aumentar la calidad de imagen y vídeo, la compatibilidad con la realidad virtual y aumentada, la transmisión de contenidos multimedia enriquecidos (VR/AR) y la transmisión de contenidos multimedia enriquecidos en 5G. [25]

La arquitectura de red se ha mejorado con la versión 16, que incluye NFV y la separación de la capa de control y la capa de usuario. Esto hace posible que el despliegue y la administración de la red 5G sean más flexibles y eficaces. [19]

Estos son solo algunos de los principales temas que aborda la versión 16 del 3GPP. El objetivo general de esta versión es mejorar la experiencia del usuario aumentando y ampliando las capacidades de las redes 5G para dar cabida a una variedad de casos de uso. [19]

En conclusión, la versión 16 del 3GPP mejora y amplía las capacidades de las redes 5G resolviendo problemas de arquitectura de red, cobertura, capacidad, latencia ultra baja, compatibilidad con el Internet de las cosas, comunicaciones vehiculares y servicios multimedia sofisticados. Estas mejoras hacen que la tecnología 5G sea más ampliamente adoptada y aplicable en una serie de situaciones y casos de uso. [19]

4.2.2 PLAN 5G MinTIC

El "Plan 5G" del Ministerio de TIC de Colombia es un plan destinado a acelerar la introducción y adopción de tecnología de quinta generación (5G) en la nación. Estas son las ideas principales en breve:

4.2.2.1 OBJETIVOS

Los objetivos del plan son acelerar el despliegue de la red 5G de Colombia, mejorar la conectividad y fomentar la transformación digital en varios sectores económicos. [21]

4.2.2.2 DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA

Se creará un marco de apoyo para fomentar la inversión y la instalación de la infraestructura necesaria para soportar la red 5G en todo el territorio colombiano. [21]

4.2.2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Como parte del plan, se asignarán nuevas frecuencias de espectro para el despliegue de la red 5G, asegurando el uso eficiente y justo de este recurso. [27]

4.2.2.4 INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Se fomentará la cooperación entre los sectores público y privado para apoyar la investigación, el desarrollo y la innovación en tecnologías 5G, lo que ayudará al país a ser más competitivo. [21]

4.2.2.5 ECOSISTEMA DE APLICACIONES Y SERVICIOS 5G

Se promoverá la creación de un ecosistema sólido de apps y servicios compatibles con 5G, que cree nuevas oportunidades de negocio y mejore la habitabilidad de los residentes. [21]

El plan tiene como objetivo eliminar la brecha digital brindando a todos los colombianos, incluidos los que viven en áreas rurales y comunidades vulnerables, acceso a la cobertura y ventajas de la tecnología 5G. [21]

4.2.2.6 SEGURIDAD Y PRIVACIDAD

Se debe garantizar la seguridad y privacidad de los usuarios en la red 5G, se implementarán medidas que fomenten la adopción de estándares globales y la cooperación internacional. [21]

El "Plan 5G" del Ministerio TIC de Colombia se centra en estas ideas clave. La utilización de todo el potencial de esta nueva tecnología será posible gracias a su implementación, que también impulsará el desarrollo de la nación en muchas otras áreas. [21]

4.3 ESTADO ACTUAL DEL TEMA

El resurgimiento del interés por la FWA entre los operadores colombianos está siendo impulsado por la 5G. En septiembre de 2020, DirecTV lanzó varios servicios comerciales 5G FWA en algunos barrios de Bogotá, basándose en la oferta 4G FWA que había lanzado en 2014. En 2014, había estrenado la idea 4G FWA. Además, a mediados de 2020, Claro inició una prueba de seis meses de 5G FWA utilizando un bloque temporal del espectro de la banda de 3,5 GHz que el regulador había asignado. de forma temporal. [26]

Colombia no dispone de servicios móviles 5G comerciales, aun así, los operadores móviles están realizando las pruebas esenciales. Movistar planificó la primera prueba 5G en el país en mayo de 2020. La empresa colaboró con Huawei y el Ministerio de Salud para conectar cámaras térmicas en las entradas del Laboratorio de Salud Pública y la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá mediante tecnología 5G, limitando así la posible propagación del COVID-19. Esto permitió hacer un seguimiento en tiempo real de la temperatura corporal

de más de 400 trabajadores. Tigo Colombia, Nokia y AngloGold Ashanti Colombia realizaron las primeras pruebas 5G de la industria minera en Jericó, Colombia. La prueba demuestra que ofrecer casos de uso para una red 5G en el sector minero es factible. casos de uso para una red 5G SA privada que sea fiable, eficaz y segura en la red del sector minero en un entorno subterráneo difícil de forma segura, eficaz y sostenible. las condiciones en el metro son difíciles. [26]

Colombia también está actualizando su red. Mientras Claro planea hacer lo mismo en 2023, Tigo cerró su red 2G en noviembre de 2022. Con estas medidas, los operadores pueden mejorar sus redes 4G y prepararse para el lanzamiento de la 5G cuando se disponga del espectro necesario. [26]

Se prevé que en los próximos meses de 2023 se celebre en Colombia una subasta de espectro 5G. Según el MinTIC, nueve empresas han mostrado su disposición a obtener las licencias del espectro 5G antes de diciembre de 2022. la fecha límite de diciembre de 2022. Se prevé que la subasta incluya las bandas de frecuencia de 700 y 1900 MHz, también 2,5, 3,5 y 26 GHz. [26]

4.4 CASOS DE USO

En esta sección se expondrán algunos casos uso de implementación de red de quinta generación.

4.4.1 WOM COLOMBIA

El operador Wom lanzó un piloto 5G en el país en asocio con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con el objetivo de promover el acceso y el desarrollo de herramientas digitales en el sector educativo. [27]

Según Ramiro Lafarga, director general de Wom en Colombia, este piloto tiene como objetivo evaluar la durabilidad de la red y al mismo tiempo brindar a los estudiantes nuevas oportunidades. [27]

Por su parte, el rector de la Universidad Distrital, Giovanni Tarazona, afirmó que este piloto 5G también estará enfocado en explorar todas las oportunidades que la tecnología puede brindar para impulsar los niveles de "flexibilidad curricular". [27]

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) entregó a Wom dos bloques de espectro para utilizar en este piloto, uno en la banda de 31,5 GHz y otro en la banda de 26 GHz, para realizar estas pruebas 5G durante un período de ocho meses. [27]

Con esta tarea, el operador podrá mostrar los beneficios de la tecnología 5G y buscar nuevas ideas para impulsar la conectividad en todo el país. El operador afirma que lograron velocidades de descarga de hasta 1,9 Gbps y velocidades de carga de hasta 250 Mbps en la banda de 3,5 GHz. [27]

La capacidad de conexiones simultáneas se ve incrementada por la tecnología 5G, cabe destacar. [27]

4.4.2 BRASIL

Huawei y Senai ya han visitado 10 capitales brasileñas impartiendo un curso de introducción a 5G y presentando casos de uso de tecnología con el 5G Truck, un camión con aula. El equipo está conectado a una red 5G para procesar las imágenes de la manada. El sistema fue pedido a Huawei por un agricultor en el estado de Goiás. El empresario contactó a Huawei, que desarrolló un software en sociedad con el Instituto Federal de Tocantins, para mejorar la tasa de éxito de la inseminación artificial. [28]

Es un equipo que evalúa la calidad del aire –si hay gases tóxicos en el ambiente–, identifica sonidos en el ambiente –para saber si es una explosión o piedras rodantes, por ejemplo– y verifica, por medio de una cámara de IA, si los empleados de la empresa minera están utilizando equipo de protección personal, entre otros. Otro caso se centra en el streaming de video en alta calidad desde una cámara 360, que tiene el rendimiento más satisfactorio en 5G, ya que demanda cuatro veces más datos que una cámara convencional. También hubo una demostración de FWA con un CPE de Huawei. Con un chip 5G es posible tener Internet de calidad en casa sin fibra óptica. [28]

5. 4G LTE VS 5G NON-STAND-ALONE Y STAND ALONE

En la siguiente tabla se van a comparar varios aspectos a tener en cuenta entre las redes de cuarta generación y las redes de quinta generación.

		4G	5G
			Non-Stand Alone Stand Alone
Estación base	Generación	eNodeB es el término utilizado en la tecnología 4G LTE para referirse a la estación base o la estación de base evolucionada. Es la parte central de la infraestructura de red LTE.	En tecnología 5G, gNodeB es el equivalente. Ocupa el lugar del eNodeB como estación base de la red 5G.
	Tecnología	eNodeB es específico de LTE y se diseñó para satisfacer las necesidades de la red LTE	gNodeB es específico de 5G y está diseñado para admitir las características y capacidades avanzadas del 5G, como velocidades de datos más altas, baja latencia y mayor capacidad de conexión de dispositivos.
	Ancho de Banda y Frecuencia	Dependiendo de la región, las bandas de frecuencia LTE que utiliza el eNodeB suelen oscilar entre 700 MHz y 2,6 GHz.	Las funciones y capacidades avanzadas de 5G, como mayores velocidades de datos, baja latencia y mayor capacidad de conexión de dispositivos, son compatibles con el gNodeB específico de 5G.
	Características y Capacidades	El eNodeB proporciona velocidades de datos de hasta 1 Gbps en versiones posteriores y hasta 100 Mbps en el estándar LTE inicial (LTE Release 8). En comparación con tecnologías anteriores, tiene una latencia relativamente baja, pero no alcanza las latencias ultrabajas del 5G.	El gNodeB es fundamental para las capacidades avanzadas del 5G, como velocidades de datos de varios Gbps, latencias ultra bajas (inferiores a 1 ms) y la capacidad de conectividad masiva de dispositivos IoT. También admite tecnologías como beamforming y massive MIMO para mejorar el rendimiento.
	Arquitectura de Red	El eNodeB es parte de una arquitectura centralizada en la red LTE.	El gNodeB 5G es un componente de una arquitectura más descentralizada y distribuida, lo que permite una mayor flexibilidad en la implementación y gestión de la red.

Red central	En 4G LTE, el núcleo de la red consta de elementos como el MME (Mobility Management Entity), el S-GW (Serving Gateway), y el P-GW (Packet Data Network Gateway), que se encargan de la gestión de la movilidad y la gestión del tráfico de datos.	Combina elementos del 4G y del 5G para proporcionar una mayor velocidad de datos sin requerir una infraestructura de 5G totalmente independiente.	El 5G SA es una red autónoma que no depende del 4G. Requiere una infraestructura de red completamente nueva, lo que permite un mayor potencial de rendimiento.
Red de transporte	La red de transporte en 4G se basa en tecnologías como Ethernet y MPLS para transportar datos entre la estación base y el núcleo de la red.	La red de transporte en 5G se ha adaptado para soportar mayores velocidades y capacidades. Utiliza tecnologías como fronthaul y backhaul de alta capacidad para conectarse con las estaciones base 5G.	
Latencia	Latencia Relativamente Alta: La latencia típica del 4G es de unos 30-50 ms, lo que puede ser insuficiente para aplicaciones de baja latencia.	Latencia Mejorada: Ofrece latencias más bajas que el 4G, pero no alcanza las latencias ultrabajas del 5G SA.	Latencia Ultrabaja: La latencia en el 5G SA se puede reducir a menos de 1 ms, lo que es esencial para aplicaciones como el control remoto de vehículos o la realidad virtual en tiempo real.
Virtualización de Funciones de Red (NFV) y Orquestación	La virtualización de funciones de red y la orquestación no eran tan comunes en 4G como lo son en 5G. La red 4G tiende a ser más rígida y menos flexible en términos de escalabilidad y adaptabilidad.	En 5G, la virtualización de funciones de red y la orquestación son elementos esenciales para permitir una red más flexible y escalable. Esto permite la implementación más rápida de servicios y la asignación dinámica de recursos.	
Network Slicing	En 4G LTE, la idea de división de red estaba ausente. Según los requisitos de aplicaciones y servicios particulares, la red no se segmentó.	El 5G introduce el concepto de network slicing, que permite crear "rebanadas" virtuales de la red para satisfacer diferentes requisitos de aplicaciones, desde IoT hasta aplicaciones de alta velocidad.	

Tabla 1. Comparación entre 4G y 5G NSA y SA

Fuente: Conocimiento adquirido en las practicas.

6. OPORTUNIDADES Y DESAFIOS DE LA IMPLEMENTACION DE UNA RED 5G

Definición de las oportunidades y desafíos en la implementación del diseño de la red 5G Non-Stand Alone en Colombia.

6.1 OPORTUNIDADES

Oportunidades de la implementación de red 5G Non-Stand Alone en Colombia.

6.1.1 VELOCIDAD Y CAPACIDAD DE RED MEJORADAS

El despliegue de redes 5G permitirá a los operadores proporcionar velocidades de Internet mucho más rápidas y mayor capacidad de datos, lo que mejorará la experiencia del usuario y habilitará nuevas aplicaciones y servicios. 5G alcanzará velocidades de 10 gigabits por segundo (Gbps). 5G es 10x100 más rápido que 4G.

6.1.2 CREACIÓN DE NUEVAS APLICACIONES Y SERVICIOS

La tecnología 5G allanará el camino para la creación de una variedad de nuevas aplicaciones y servicios, incluidos los relacionados con Internet de las cosas (IoT), aumentada (VR/AR) y realidad virtual, autónomo vehículos y ciudades inteligentes, entre otros. Los operadores pueden beneficiarse de esta expansión brindando a sus clientes nuevas opciones y generando más dinero.

6.1.3 INCREMENTAR LA ECONOMÍA DIGITAL

Al incentivar la innovación, la competitividad empresarial y el emprendimiento, la implementación de redes 5G puede incrementar la economía digital colombiana. Los operadores móviles y otros actores del ecosistema tecnológico pueden beneficiarse de esto.

6.2 DESAFIOS

Desafíos de la implementación de red 5G Non-Stand Alone en Colombia.

6.2.1 INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA

El despliegue de redes 5G requiere una inversión considerable en infraestructura, incluidos equipos, fibra óptica y torres de telecomunicaciones. Los operadores móviles deben estar preparados para realizar estas importantes inversiones.

6.2.2 DISPONIBILIDAD DE ESPECTRO

Los operadores móviles necesitan espectro suficiente para implementar redes 5G con éxito. La implementación exitosa de la tecnología depende de la resolución de problemas clave con el acceso, la asignación y la regulación del espectro.

6.2.3 ACTUALIZACIÓN DE LA RED ACTUAL

Para utilizar la tecnología 5G, los operadores móviles deberán actualizar y modificar la infraestructura de sus redes actuales. Dada la naturaleza gradual del proceso de transición y la coordinación de numerosos sistemas, esto puede ser logística y técnicamente difícil.

7. ESPECTRO EN COLOMBIA

Los bloques de frecuencias necesarios para establecer redes 5G en Colombia se otorgaron durante la subasta de espectro 5G celebrada allí en junio de 2021. El espectro en las bandas de 700 MHz, 1900 MHz, 2500 MHz y 3500 MHz sumó 290 MHz.

La distribución del espectro es la siguiente:

- Tigo obtuvo la banda de 90 MHz en 2 puntos 500 MHz y 3 puntos 500 MHz.
- Claro compró 70 MHz en la banda de 700 MHz, 40 MHz en la banda de 1 punto 900 MHz y 50 MHz en la banda de 2 puntos 500 MHz.
- Movistar adquirió 50 MHz en la banda de 700 MHz, 40 MHz en la banda de 1 punto 900 MHz y 10 MHz en la banda de 2 puntos 500 MHz.
- ETB (Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá) obtuvo 30 MHz en la banda de 700 MHz y 40 MHz en la banda de 900 MHz. [35]

Los proveedores de telecomunicaciones de Colombia están implantando y desplegando redes 5G en varias ciudades del país gracias a la asignación de este espectro. [35]

De acuerdo con el ministro TIC, Mauricio Lizcano, la subasta multibanda para el despliegue de 5G y la ampliación de la cobertura 4G en la nación se realizará el 20 de diciembre de 2023. El ministro también presentó el equipo estructurador, que cuenta con el apoyo de la UIT y está encabezado por tres reconocidos expertos internacionales, con el objetivo de asegurar que el proceso mediante el cual se pondrá el espectro disponible en orden para los operadores móviles para aumentar la conectividad y la cobertura en Colombia es técnica y transparente. [35]

El espectro radioeléctrico, que es el principal atractivo de la subasta, es el que permite la conectividad de la población. Los colombianos se relacionan diariamente con este medio de diferentes maneras, como cuando utilizan sus teléfonos celulares para comunicarse, ven televisión, escuchan radio o se conectan a una red Wi-Fi para navegar por Internet. Este proceso se convierte en un paso clave para poner en marcha la infraestructura necesaria para apoyar la prestación de diversos servicios de telecomunicaciones de nueva generación. [35]

El jefe del equipo, Erik Whitlock, es especialista en transformación organizativa, análisis económico, regulación y valoración de las telecomunicaciones. Además de en otros países, ha participado en iniciativas de desarrollo de 5G en Croacia, Chile y Arabia.

Experto en tecnologías móviles y gestión del espectro, Ton Meuleman ha asesorado a Portugal, Estonia y Dinamarca en el despliegue del 5G. [34]

Ir Jan Van Rees, reconocido por su competencia en el desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones, ha ofrecido recomendaciones sobre la ubicación de infraestructuras en lugares como Yakarta, la capital de Indonesia, y Hong Kong. [34]

Según el MinTIC, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, también ofrecerá asistencia técnica, sirviendo como garantía de apertura y aseguramiento de que la estructura de la subasta 5G será tenida en cuenta. Debido a su adhesión a las normas internacionales esenciales, Colombia es líder mundial en esta tecnología. [34]

El equipo también creó un comité directivo y el comité técnico, que contaba con los siguientes subcomités: técnico para la estructuración de subastas; jurídico; técnico para las obligaciones de ejecución; técnico para garantías, riesgos y otros contratos; de relaciones; de grupo de relaciones; y de grupo de relaciones y unidad de relaciones con grupos de valores. [34]

Fecha de la venta.

- Agosto: Se publica la resolución que establece las especificaciones técnicas, las reglas de participación y el método de subasta.
- Septiembre: Publicación del precio de reserva, derechos y garantías.
- El proyecto definitivo de la resolución se hará público hacia mediados de octubre. Los posibles candidatos deben presentar sus solicitudes completas antes del 10 de noviembre para ser tenidos en cuenta.
- El 8 de diciembre es cuando deben presentarse las garantías y rectificaciones.
- La subasta de espectro del 20 de diciembre.

El mercado tendrá acceso a estas frecuencias además de 10 MHz en la banda de 700 MHz, 10 MHz de 1900 MHz, 30 MHz en la banda extendida AWS, 30 MHz en la banda de 2500 MHz, y 320 MHz en la banda de 3500 MHz. Hasta el martes 15 de agosto de 2023. [34]

El MinTIC establecerá un proceso de selección justo en 2024, agrega, para distribuir localmente 80 MHz del espectro de 3500 MHz. Inicialmente, los participantes serán personas a las que no se les permite utilizar el espectro en las bandas designadas para las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT). Las nuevas búsquedas de asignaciones locales también se centrarán en el espectro de 26 GHz. [34]

Estos desarrollos de asignación de permisos para usar el espectro son fundamentales para la implementación continua del Plan de Conectividad del Gobierno del Cambio, que permite el despliegue de nueva infraestructura, la ampliación de la capacidad ya existente, mejorar la velocidad de conexión y la calidad del servicio. Al promover la conectividad y la tecnología para alzar el nivel de vida de los colombianos, el MinTIC se acerca a lograr su objetivo. [34]

8. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION

En esta opción, la nueva radio 5G se despliega junto a una radio 4G LTE y con ambas radios soportadas por el EPC existente. [36]

La opción 3x es la opción de despliegue inicial que ayuda a los operadores móviles a iniciar su hoja de ruta 5G y acelerar su tiempo de comercialización de nuevos servicios 5G. En este escenario, los proveedores de servicios pueden aprovechar su despliegue EPC existente. [36]

La opción 3x se basa en la señalización asistida por LTE, que se realiza a través de la radio LTE al equipo de usuario (UE). La radio 5G sólo establecerá una conexión en el plano de usuario con el núcleo EPC a través de la señalización de la radio LTE. [36]

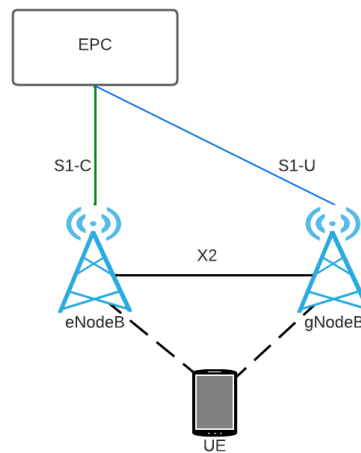


Figura 3. Primer diseño de la red 5G NSA con la opción 3X.

Fuente: Hecho por el autor.

Especificación	Opción 3X
Transferencia dinámica de datos	Soportado y controlado por un algoritmo gNodeB
Impacto en los eNodeB existentes	No es necesario mejorar las capacidades de procesamiento de servicios del eNodeB
Capacidad de expansión de los servicios 5G	Excelentes capacidades de expansión de servicios 5G
Movilidad de UE	Los servicios 5G se interrumpen en la interfaz aérea cuando los equipos de usuario se desplazan de zonas con cobertura 5G a zonas sin cobertura 5G
Planificación de la transmisión a/desde la NC	Los enlaces de transmisión S1-U deben planificarse para gNodeBs

Tabla 2. Especificaciones de la opción de red 3X para 5G NSA

La conexión en red de la opción 3X evita los problemas planteados por la insuficiente capacidad de procesamiento. Ahora bien, el impacto en la movilidad desde zonas con cobertura 5G a zonas sin cobertura 5G es mayor.

Se recomienda la opción 3X para reducir la dependencia de las redes existentes y mejorar las capacidades 5G en la expansión del servicio y la evolución de la red.

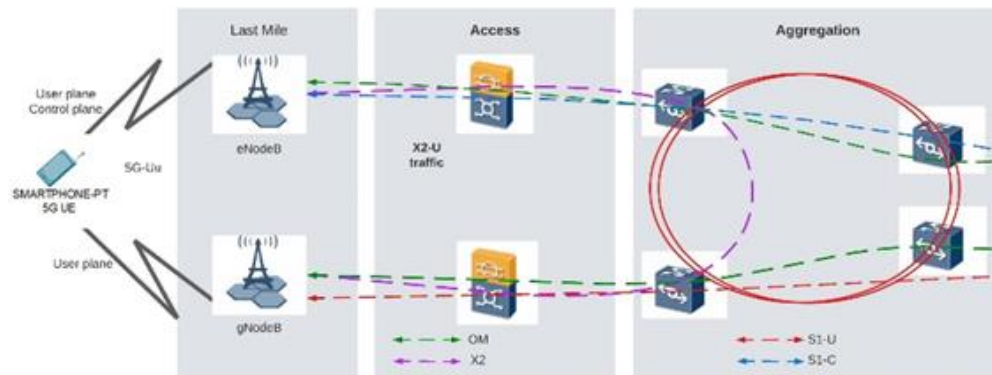


Figura 4. Diseño de la 5G NSA incluyendo los nodos 4G, capas de acceso, agregación y core de la red.

Fuente: Hecho por el autor

8.1 5G NSA DISEÑO INTEGRADO DE REDES DE ESTACIONES BASE

El alcance del diseño de la red es:

- Diseño de redes OM: Abordar las políticas de planificación, confiabilidad y seguridad de OM.
- Denominación y numeración: Nombre de sitios y celdas.
- Diseño de sincronización del reloj: Principios de selección de fuente de reloj y diseño de políticas recomendado.
- Requisitos sobre el ancho de banda, retraso, fluctuación y tasa de pérdida de paquetes.
- Diseño de la calidad de servicio: Configuraciones QoS recomendadas y planificación de requisitos futuros de QoS.
- Diseño de confiabilidad de transmisión: Copia de seguridad de ruta, copia de seguridad OMCH y otros.
- Diseño de seguridad de transmisión: SSL, canal Ipsec, 801.1X y otros.

8.1.1 PLANIFICACION DE INTERFACES

- Interfaz OM: Conecta con el NMS
- Interfaz IPCLK: Conecta la sincronización del reloj a la red.
- Interfaz S1-U: Conecta con el Service Gateway.
- Interfaz S1-C: Conecta con el MME (Entidad de Gestión de Movilidad)
- Interfaz X2: Enlace entre dos estaciones base

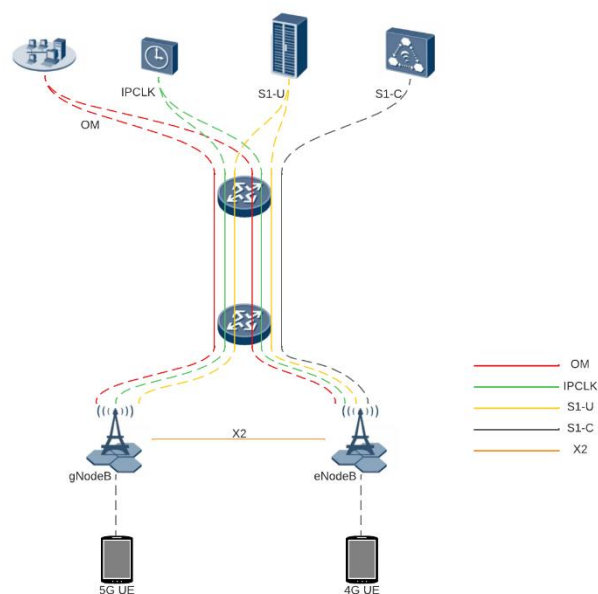


Figura 5. Ejemplo de la conexión de interfaces en la red.

Fuente: Hecho por el autor.

8.2 DISEÑO OM

Diseño de la OM para la red.

Ítem	Descripción
Topología de la red y plan de direcciones	Topología de la red: Co-EMS LTE (recomendado, igual que LTE) La planificación de direcciones es la misma que para LTE (interconexión IP)
Fiabilidad	Función de copia de seguridad OMCH (utilizada en el sistema remoto)
Calidad de servicio	La prioridad es alta. Se recomienda un valor DSCP de 46 para los datos MML y un valor DSCP de 18 para los datos FTP.
Política de seguridad de OM	La dirección IP de mantenimiento y la dirección IP de servicio son diferentes. La dirección IP lógica y la dirección IP de interfaz están desacopladas. Se utiliza la comunicación segura SSL

Tabla 3. Especificaciones para el diseño de la interfaz OM.

8.3 SINCRONIZACION CON LA FUENTE DE TIEMPO

La temporización (sincronización con la fuente de tiempo) tiene como objetivo garantizar la coherencia de la hora en los dispositivos de una red. Esto permite a los

dispositivos proporcionar múltiples aplicaciones que requieren sincronización La estación base utiliza el Tiempo Universal Coordinado (abreviado UTC)

Ítem	Recomendación
Modo temporal (las recomendaciones tienen un orden de prioridad descendente)	GPS 1. Si la red del operador puede acceder al GPS, utilice el GPS. 2. Es necesario instalar antenas GPS. Existen requisitos especiales en la selección del emplazamiento para permitir la recepción de la señal GPS
	Servidor NTP privado del operador Servidor NTP en el NMS Teniendo en cuenta la fiabilidad, se prefiere el servidor NTP privado
Periodo de temporización (configurable)	360 minutos Un periodo de sincronización excesivamente corto provocará sincronizaciones frecuentes y una gran carga del servidor NTP
Número de puertos de temporización (configurable)	123 por defecto
Fiabilidad	Se puede configurar un máximo de cuatro servidores NTP en una estación base, siendo uno de ellos el servidor NTP primario Si falla la sincronización con el servidor NTP primario, la estación base se sincroniza con otros servidores NTP

Tabla 4. Sincronización de la fuente de tiempo.

Si la sincronización horaria NTP de la estación base falla, la temporización interna de la estación base no se interrumpe. La desviación horaria de la estación base depende de la precisión del reloj interno. Cuando el reloj interno está sincronizado con la fuente de reloj externa, la desviación horaria de la estación base no supera 1 segundo cada día.

8.3.1 DISEÑO DE SINCRONIZACION DEL RELOJ

Diseño de la sincronización del reloj gNodeB: sincronización horaria. Las redes TDD adoptan la multiplexación por división en el tiempo y requieren sincronización horaria para migrar la interfaz entre estaciones base (principalmente) e inter-UE. Para lograr la sincronización temporal, es necesario conseguir tanto la sincronización de frecuencia como la de fase. La fuente de reloj TDD también debe cumplir los requisitos de sincronización de frecuencia FDD.

- Los requisitos de precisión del reloj de los gNodeB se describen a continuación:

sincronización de frecuencia: $\pm 0,05$ ppm según lo recomendado por 3GPP. La desviación es de $\pm 0,5$ Hz para relojes de 10 MHz.

- Sincronización horaria: $< 5 \mu s$ ($\pm 1,5 \mu s$) según lo acordado por las especificaciones 3GPP.

gNodeB obtiene señales de reloj GPS del GPS a través de sistemas de antena externos y tarjetas UMPT equipadas con tarjetas de satélite. El sistema de antena GPS recibe señales GPS a 1575,42 MHz y transmite las señales a la tarjeta de satélite GPS. Es necesario rastrear al menos cuatro satélites.

Un servidor de reloj envía paquetes de sincronización de reloj IEEE 1588v2 al gNodeB a través de la red portadora de datos. Todos los equipos intermedios de la red portadora de datos deben ser compatibles con la función BC/TC definida en las normas IEEE 1588 versión 2. Los servidores de reloj necesitan introducir señales de reloj precisas mediante GPS

Tecnología de sincronización	Características
GPS	• Cada gNodeB se configura con una tarjeta de satélite GPS independiente o un dispositivo RGPS, sin el apoyo de la red • La precisión del reloj es alta • Es necesario invertir en la tarjeta de satélite GPS o el dispositivo RGPS y en su instalación y mantenimiento
IEEE 1588v2	• Admite la sincronización de frecuencia y hora y puede cumplir los requisitos de reloj de NR TDD • IEEE 1588v2 es un protocolo estándar. Por lo tanto, se admite el interfuncionamiento entre equipos de distintos proveedores. • Para proporcionar sincronización horaria, todos los equipos de transmisión deben ser compatibles con la norma IEEE 15882 • La calidad de la recuperación del reloj es vulnerable al retardo, la inestabilidad y la pérdida de paquetes de las redes de datos. • La fuente de reloj IEEE 1588v2 es un reloj de borde. Las señales de sincronización provienen del GPS.

Tabla 5. Diseño de la sincronización de la fuente del reloj.

8.3.2 POLITICA DE FUENTE DE RELOJ DE REFERENCIA

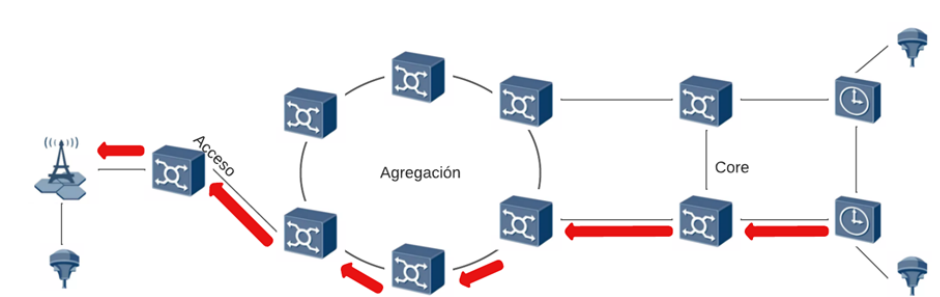


Figura 6. Política de fuente de reloj.

Fuente: Hecho por el autor

Se recomienda la fuente de reloj GPS. Si el cliente requiere 1588v2, se recomienda utilizar la fuente de reloj GPS+1588v2.

Se recomienda desplegar la fuente de reloj GPS in situ para prestar rápidamente servicios 5G. Cuando la red portadora intermedia y los BITS de la capa central estén maduros, habilitar 1588v2 en toda la red.

Algunas ventajas son, ritmo de despliegue más rápido, despliegue in situ y no dependencia de la red portadora. Tiene una fácil identificación de fallos, un pequeño alcance del impacto, poco tiempo, pequeño impacto de los fallos GPS y copia de seguridad 1588v2. También un fácil despliegue de 1588v2 y sin visitas in situ.

8.4 DESCRIPCION GENERAL DEL DISEÑO DE INTERCONEXION DE IP

Descripción del diseño de interconexión IP.

8.4.1 OPCION 3X

La señalización del UE se transmite desde los eNodeBs la red de core, y los enlaces S1-C se establecen en los eNodeBs y no en los gNodeBs. Los enlaces S1-U se establecen entre los gNodeB y el CN. Se admite la autoconfiguración S1. El tráfico de usuario se transfiere a los gNodeBs y se soporta LTE/5G DC.

Las redes 5G se basan en las redes LTE. Se establecen enlaces X2 entre los eNodeBs y los gNodeBs. (La autoconfiguración X2 solo se admite en escenarios 5G/LTE co-EMS).

En 5G RAN1.0, las tarjetas de control principal 5G deben ser tarjetas UMPTe. Cada UMPTe tiene dos puertos de transmisión óptica de 10 GE, cada uno de los cuales admite un ancho de banda de 10 Gbit/s.

Si el ancho de banda de transmisión de la estación base es insuficiente, utilice el siguiente método para mejorar las capacidades de ancho de banda: Utilizar dos tarjetas de control principales con una de ellas funcionando como tarjeta de interfaz de transmisión (sólo para 5G)

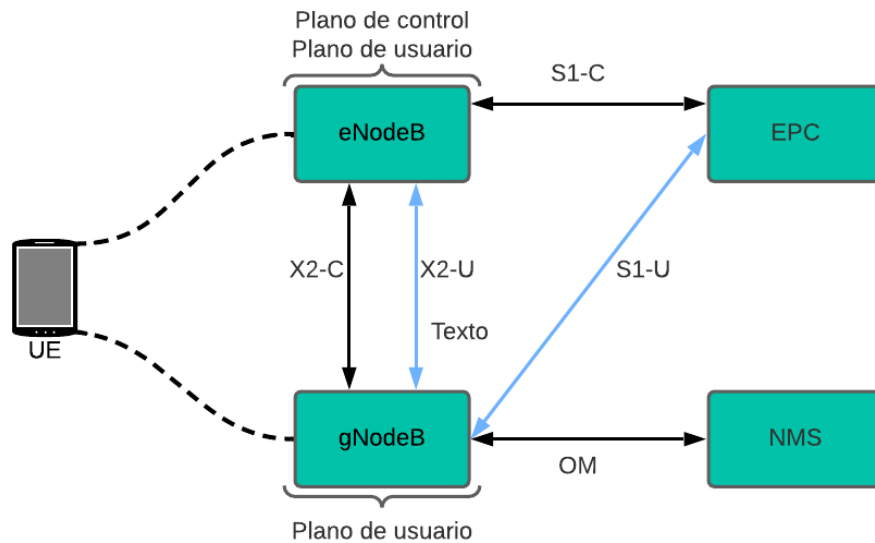


Figura 7. Diseño de interconexión de IP para la red.
Fuente: Hecho por el autor.

8.5 REQUISITOS DE LA REDES 5G EN CUANTO A RETARDO, JITTER Y TASA DE PERDIDA DE PAQUETES

En la siguiente tabla se muestran los valores recomendados para una red 5G NSA en la transmisión de retardo, jitter y pérdida de paquetes

	Retardo unidireccional (ms)	Jitter (ms)	Tasa de pérdida de paquetes
Interfaz S1	10	4	0.00%
Interfaz X2	20	7	

Tabla 6. Parámetros de 5G en cuanto a retardo, jitter y tasa de pérdida de paquetes.

8.6 DISEÑO DE QoS

Diseño de la calidad de servicio de la red.

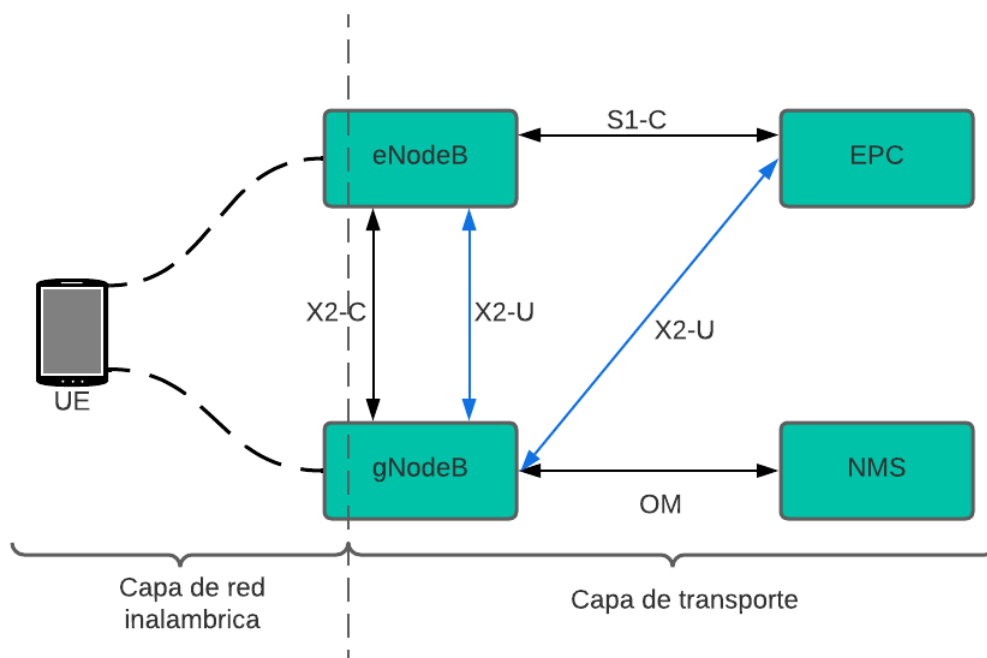


Figura 8. Diseño de la QoS.

Fuente: Hecho por el autor.

8.6.1 DISEÑO DE CAPA DE RED INALÁMBRICA

En el plano de usuario, los servicios de alta prioridad se asignan a canales lógicos de alta prioridad en función de los tipos de QCI configurados en el CN para garantizar una programación preferente. El plano de control siempre se programa de forma preferente. Debe haber soporte para el diseño de QoS en el lado RAN.

8.6.2 REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE

El control de la calidad del servicio de transmisión se realiza entre la estación base local y el CN o las estaciones base vecinas. Se etiquetan diferentes DSCP en función de las prioridades de transmisión de datos y se asignan a diferentes prioridades de VLAN. Las asignaciones son configurables.

Las prioridades se determinan en función de los requisitos de servicio del operador, los QCI de servicio deben ser coherentes con los configurados en el CN. El ancho de banda de transmisión de señalización y OM debe garantizarse de forma preferente.

8.7 DISEÑO DE SEGURIDAD

En la tabla 6 se muestra el resumen de los aspectos a tener en cuenta para implementar la red.

Plano de transporte	Seguridad	Medidas de protección
OM	SSL (Obligatorio) y Ipsec (Opcional) Cifrado de datos de servicio al usuario, autenticación bidireccional y anti-manipulación	
	Gestión de la protección de los puertos • Control de acceso local e informes de alarma • Activación y desactivación del puerto Ethernet local. • Se reportan las causas de la desconexión de un enlace SCTP o PPP. La cantidad de intentos de reconexión se informa cuando se recuperan los enlaces.	
Reloj	IPsec (Opcional) Cifrado de datos de servicio al usuario, autenticación bidireccional y anti-manipulación	
X2/Xn	IPsec (Opcional) Cifrado de datos de servicio al usuario, autenticación bidireccional y anti-manipulación	
S1-U/NG-U	IPsec (Opcional) Cifrado de datos de servicio al usuario, autenticación bidireccional y anti-manipulación	
Acceso a los dispositivos	Autenticación de acceso 802.1x (Opcional) Autenticación de acceso.	

Tabla 7. Diseño de seguridad de la red.

9. DISEÑO DE RED

El diseño de la red 5G Non-Stand Alone

9.1 DISEÑO DE RED 5G NON-STAND ALONE

El eNodeB se conecta tanto al EPC actual como al nuevo EPC en la nube cuando agrega un nuevo EPC en la nube que es compatible con NSA 3X. Para 5G NR, agregue una nueva BBU. Los eNodeB y gNodeB para NSA están todos conectados con el nuevo NMS. Agregar nuevo NMS para 5G gNodeB.

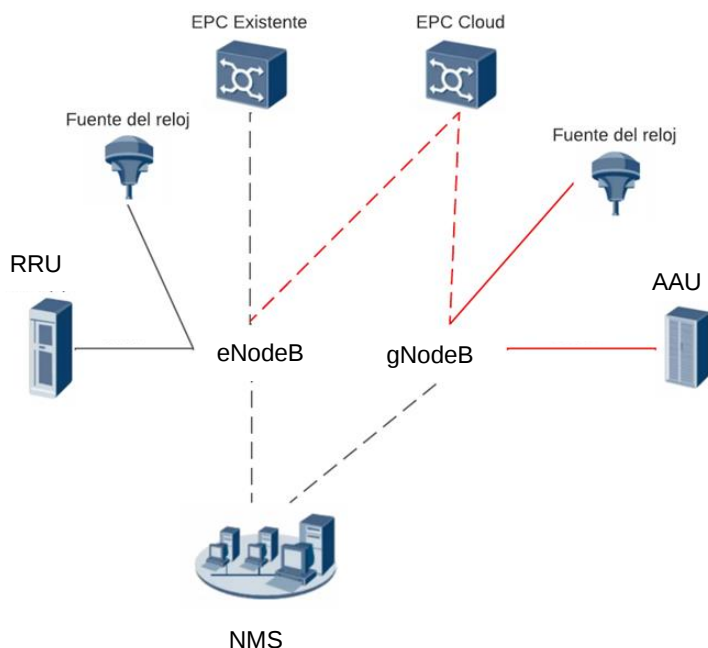


Figura 9. Nuevo diseño de la red 5G NSA.

Fuente: Hecho por el autor.

Elemento de diseño de red	Subelemento	Estrategia
Diseño OM	Sitios, celdas y parámetros	Planificación y optimización de redes
	OMCH	Co-EMS con LTE; Dirección IP del OM 11.0.0.10 para el sitio 1 y 11.0.0.11 para el sitio 2; Dirección de interfaz de la estación base: 20.0.0.10 para el sitio 1 y 20.0.0.11 para el sitio 2; Se han previsto VLAN y

		rutas. SSL está configurado en el NMS. El uso de la copia de seguridad OMCH se determina en función de las redes existentes del operador.
Diseño de sincronización de relojes	Fuente del tiempo	GPS
	Fuente de reloj	Según las redes de operadores actuales, se configuran parámetros GPS particulares.
Diseño de interconexión IP	Opción de red 3X S1-U/X2	Dirección lógica S1/X2: 12.0.0.10 (sitio 1) y 12.0.0.11 (sitio 2); dirección EPC S1-U. Dirección de interfaz de la estación base: 20.0.0.10 (sitio 1) y 20.0.0.11 (sitio) Co-VLAN de enlaces de servicio (planificación de rutas); copia de seguridad de rutas IP (diseñada a partir de las redes existentes) Los puertos se describen en la matriz de comunicación. Asegúrese de que los puertos se han habilitado en el cortafuegos.
	Cálculo del ancho de banda de la interfaz	2618 Mbit/s en escenarios de redes no seguras donde hay 400 usuarios y la tasa de tráfico transferido a los eNodeB respecto al tráfico transferido al gNodeB es del 10%.
Diseño de la calidad del servicio		Configurado según la QoS recomendada
Fiabilidad		Configurado a partir de las redes existentes del operador.
Seguridad		Se utilizan redes no seguras, no se requiere autenticación de acceso 802.1x y no se implementa IPsec.

Tabla 8. Especificaciones de la nueva red 5G NSA.

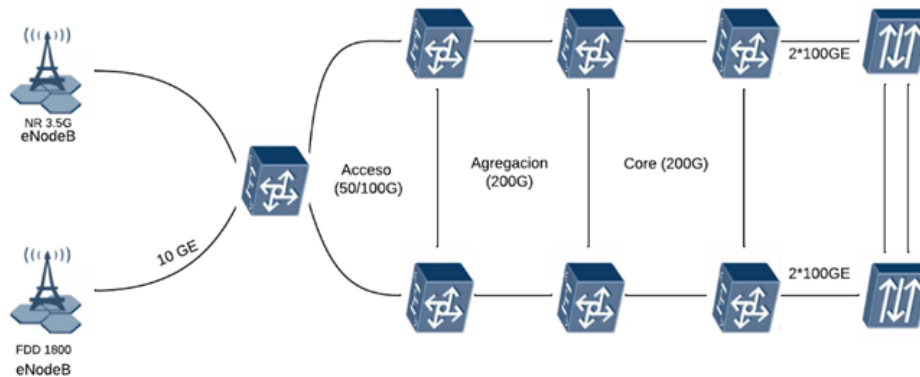


Figura 10. Diagrama de la nueva red 5G NSA.

Fuente: Hecho por el autor.

9.1.1 Estación base

Un gNodeB conecta un puerto óptico 10GE en la PTN en el estrato de acceso utilizando un único cable de fibra óptica 10 GE, El puerto funciona a 10000 Mbit/s en modo full-duplex. El gNodeB considera la dirección L3 de la PTN como pasarela. La PTN debe soportar DHCP relay para soportar el despliegue PnP. Se utiliza SCTP dual-homing entre el eNodeB y el MME en la nueva red.

9.1.2 Red de transporte

En el anillo de acceso, la velocidad de la conexión a la estación base es de 10 Gbit/s y la de las conexiones entre equipos de transporte es de 50 Gbit/s o 100 Gbit/s. En escenarios de uso comercial a largo plazo, un anillo de acceso de 50 Gbit/s se conecta a entre 8 y 10 estaciones base y un anillo de acceso de 100 Gbit/s se utiliza en escenarios con BBU apiladas.

El anillo de agregación con 10 anillos de acceso para uso comercial a largo plazo y dos o tres nuevas redes de prueba.

El anillo central, N x 200 Gbit/s o 400 Gbit/s para uso comercial a largo plazo. El número de anillos de agregación del núcleo depende de la distribución de estaciones base.

10. HARDWARE POR IMPLEMENTAR

10.1 RESUMEN AAU5612

En las redes 4G (LTE) y 5G, así como en otros sistemas de comunicaciones móviles, una AAU (Active Antenna Unit) es una pieza crucial. Estos dispositivos de antena activa utilizan funciones avanzadas integradas en las propias antenas para mejorar la eficacia y el rendimiento de las redes inalámbricas. [29]

La infraestructura de las redes modernas de telecomunicaciones móviles incluye las AAU, que son cruciales para aumentar la capacidad y el nivel de servicio de las redes. Su adopción es especialmente importante a medida que se desarrollan las redes 5G, ya que la tecnología de antena activa es esencial para ofrecer velocidades de datos extremadamente altas y una mayor eficiencia del espectro. [29]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

Ilustración	Elemento	Especificaciones
 Figura 11. Ilustración de AAU5612 Fuente: Alibaba.com,” <i>Alibaba.com</i>, 2020. https://www.alibaba.com/product-detail/HUAWEI-AAU5612-WD7MQTRC2CE0-02312CLX-Easy-Macro_62104120873.html	Banda de frecuencia	Modulo 1: 3445 MHz a 3600 MHz Modulo 2: 3645 MHz a 3800 MHz [37]
	OBW	100 MHz [37]
	Número de canales	64T64R [37]
	Potencia de transmisión	200W [37]
	Puertos frontales	2x100 Gbit/s [37]
	Consumo de energía	850 W [37]
	Dimensiones	860 mm x 395 mm x 190 mm [37]
	Peso	40 Kg [37]
	Temperatura de funcionamiento	-40°C a +45°C (Sin radiación solar) [37]
	Velocidad operativa del viento	150 km/h [37]
	Velocidad nominal del viento	200 km/h [37]
	Humedad relativa	5% RH a 100% RH [37]
	Índice de protección contra la penetración	IP65 [37]

Tabla 9. Especificaciones de AAU5612

10.2 RESUMEN BBU5900

Una unidad de banda base denominada BBU5900 (BBU, Base Band Unit) se utiliza en sistemas de telecomunicaciones móviles, más concretamente en la infraestructura de la red móvil. El principal fabricante chino de equipos de telecomunicaciones. La BBU5900

forma parte integral de la solución de estación base de Huawei y es crucial para el procesamiento de señales y datos de la red móvil. [29]

El BBU5900 tiene una serie de características y capacidades importantes, como procesamiento de señales, conectividad de red, gestión de recursos de radio, capacidades de procesamiento de datos y gestión y control centralizados. [29]

Es importante recordar que el BBU5900 es un elemento crucial de una estación base de telecomunicaciones móviles y es crucial para la funcionalidad de la red. Estos dispositivos están hechos para soportar tecnologías móviles de vanguardia como 4G y 5G y ayudar a ofrecer a los usuarios móviles servicios de voz y datos de alta calidad. [29]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

Ilustración	Elemento	Especificaciones
 Figura 12. Ilustración BBU5900 Fuente: "What is the Huawei BBU5900? - Infinity Supply," <i>Infinity Supply</i>, Jun. 08, 2021. https://infinity-supply.com/what-is-the-huawei-bbu5900/	Dimensiones	86 mm x 442 mm x 310 mm [38]
	Peso	≤ 18 kg (En plena configuración) [38]
	Tensión de la fuente de alimentación	-38.4 V DC a -57 V DC [38]
	Temperatura de funcionamiento	A largo plazo: -20°C a +55°C [38]
	Humedad de funcionamiento	5% RH a 95% RH [38]
	Índice de protección contra la penetración	IP20 [38]
	Máxima capacidad de disipación del calor	2100 W [38]

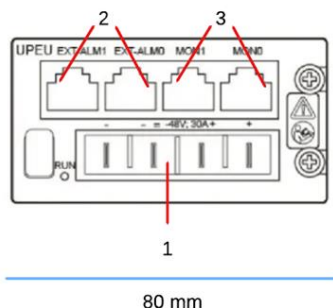
Tabla 10. Especificaciones BBU5900

10.2.1 BBU5900 MODULO DE ALIMENTACION

En el contexto de una UPEU (Unidad de Procesamiento y Enrutamiento de Usuario), la palabra "módulo de alimentación" se refiere a un componente crucial que suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la UPEU y otros dispositivos conectados en una infraestructura de red de comunicaciones. La disponibilidad y operatividad continuas de los servicios de telecomunicaciones dependen de estas unidades de alimentación. [30]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

10.2.1.1 UPEUe

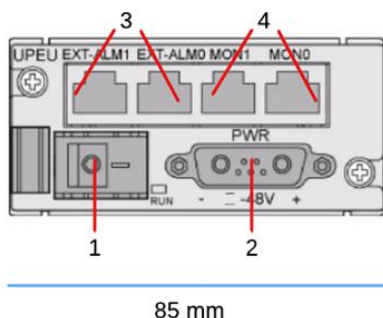


- 1: Puertos de entrada de alimentación (entradas de alimentación dobles) [39]
- 2: Alarmas de contacto seco 0 a 7 [39]
- 3: RS485 porta 0 y 1 [39]
- Capacidad de salida [39]
 - 1 UPEUe: 1100 W [39]
 - 2 UPEUe: 2000 W (modo de ecualización de corriente) [39]

Figura 13. Diagrama UPEUe

Fuente: “5g网络基站 技术架构 5g基站概述及基本操作_mob6454cc673226的技术博客_51CTO博客,” 51cto.com, 2023. https://blog.51cto.com/u_16099205/6815122

10.2.1.2 UPEUd



- 1: Interruptor [39]
- 2: Puerto de entrada de alimentación [39]
- 3: Contacto seco alarmas 0 a 7 [39]
- 4: Puertos RS485 0 y 1[39]
- Capacidad de salida [39]
 - 1 UPEUd: 650 W[39]
 - 2 UPEUd: 1000 W (modo de ecualización de corriente) [39]

Figura 14. Diagrama UPEUd

Fuente: “Huawei BTS 3900 Hardware Structure,” Slideshare.net, 2021. <https://www.slideshare.net/ibrahimnabil17/huawei-bts-3900-hardware-structure>

10.2.2 TARJETA DE PROCESAMIENTO DE BANDA BASE UBBPfw1

Esta unidad modular está creada para instalarse por separado de otras unidades, lo que agiliza la selección del sitio, la construcción de la red y la inversión en repetidores. A lo largo de las líneas de conexión de carriles, en particular túneles y puentes, permite una cobertura flexible. Consiste en una unidad de banda base (BBU) y numerosas unidades de radio remotas (RRU), que se combinan para formar una única célula potente en varios lugares. [30]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

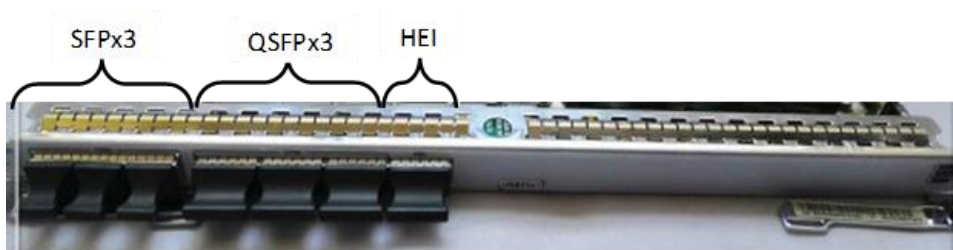


Figura 15. Diagrama de la tarjeta UBBPfw1.

Fuente: “HUAWEI UBBPfw1 is suitable for Huawei BBU5900 baseband board,” *Emerson-online.com*, 2023. https://www.emerson-online.com/index.php?route=product/product&product_id=420

Información de la board:

- Tipo de placa: placa de ancho completo [40]
- RAT soportado: NR monomodo [40]
- Puertos del panel: SFPx3+QSFPx3+HEIx1 [40]
- Protocolo de puerto SFP: CPRI [40]
- Velocidad del puerto SFP: 10,1376 Gbit/s o 9,80304 Gbit/s [40]
- Protocolo de puerto QSFP: CPRI [40]
- Velocidad del puerto QSFP: 4x24,33024 Gbit/s [40]
- Consumo máximo de energía: 500 W [40]

Especificaciones de la celda

- NR TDD sub-6 GHz: 3x100 MHz 64T64R [40]
- NR TDD sub-6 GHz+SUL: 3x100 MHz 64T64R+3x20 MHz 4R [40]

10.2.3 PANEL DE CONTROL PRINCIPAL UMPTe

Una parte crucial de los sistemas de comunicación utilizados en el contexto de las redes de comunicaciones móviles, especialmente en las estaciones base de telecomunicaciones, es el panel de control principal UMPTe (Unified Main Processing and Transmission Equipment). [30]

El UMPTe, que a menudo es suministrado por el fabricante de equipos de telecomunicaciones como parte de su solución de infraestructura, es crucial para la gestión y el control de las operaciones primarias de la estación base. [30]

Para garantizar el funcionamiento eficaz y fiable de los servicios de comunicaciones móviles, ofrece a los operadores de redes móviles una interfaz de control centralizada a través de la cual pueden configurar, supervisar y mantener la estación base. [30]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

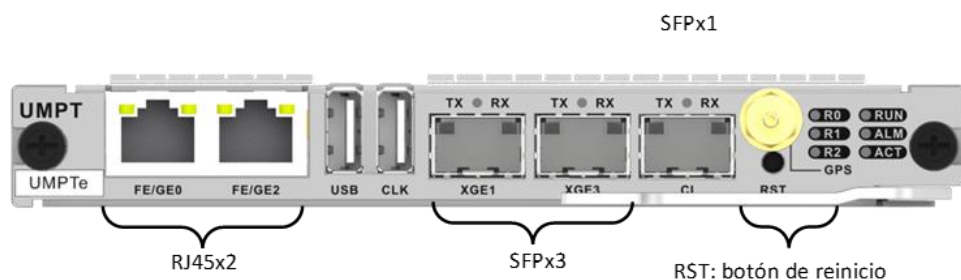


Figura 16. Diagrama del panel de control principal UMPTe.

Fuente: Ravatelecom, Huawei.com, 2023.

<https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%25C3%25B3n-a-la-placa-umpte/thread/667241110247981056-667212889045479424>

Puertos de transmisión	2xFE/GE (puerto eléctrico, RJ45), 2xFE/GE 10 GE (Puerto óptico, SFP) [41]
Ancho de banda de transmisión ascendente y descendente	10 Gbit/s [41]
RAT	G/U/L/NB IoT/NR [41]
Consumo de energía	55 W [41]

Tabla 11. Especificaciones de la tarjeta UMPTe.

10.3 CONEXIÓN ENTRE UNA BBU Y UNA AAU

El ancho de banda CPRI es de 100 Gbit/s. La solución de conexión típica es cuando AAU se conecta directamente a un puerto BBP.

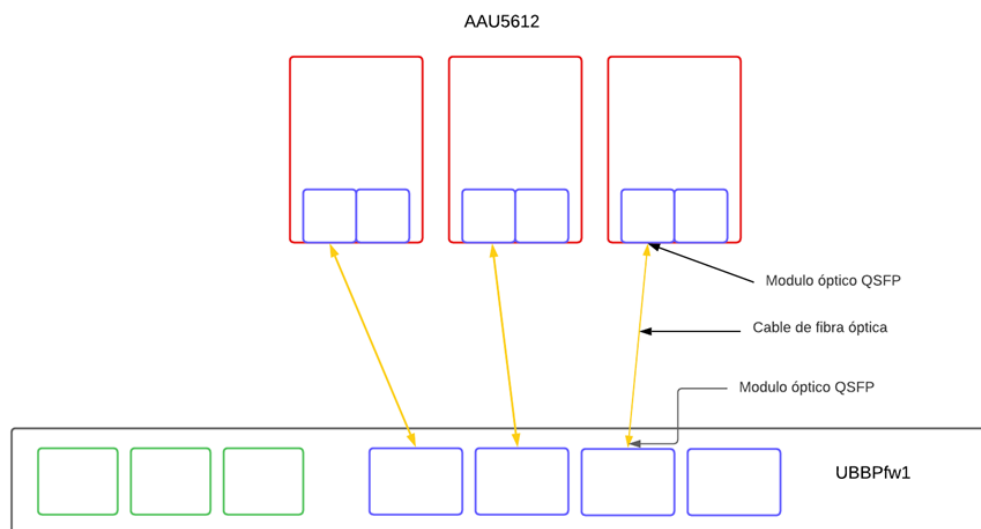


Figura 17. Ejemplo de las conexiones entre BBU y AAU.

Fuente: Hecho por el autor.

10.3.1 CONEXIONES DE CABLE PARA DESACOPLAMIENTO UL Y DL

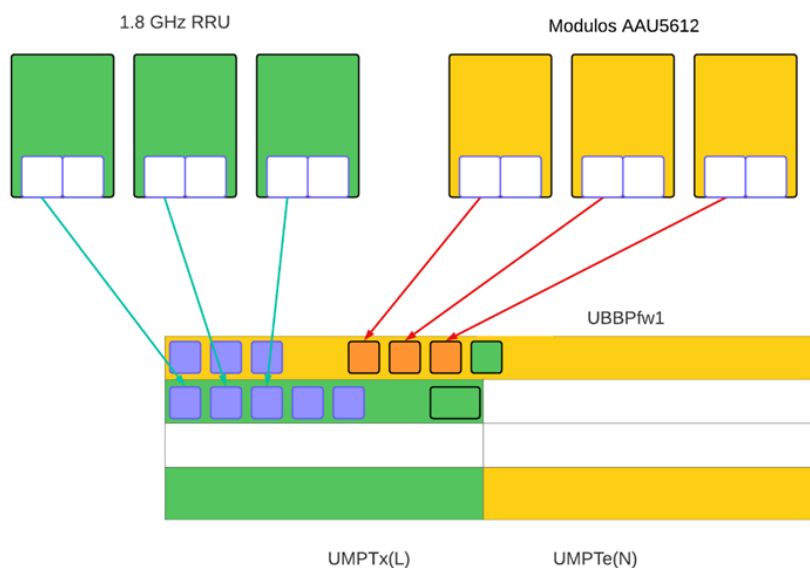


Figura 19. Conexión de cable para desacoplamiento UL y DL.

Fuente: Hecho por el autor.

Tanto LTE como NR se despliegan en un BBU5900. Tiene algunas restricciones como, la tarjeta BBP LTE debe ser una UBBPd o UBBPe y no puede ser una LBBPc. La tarjeta de control principal LTE debe ser una UMPTa, UMPTb o UMPTe, y no puede ser una LMPT. No es necesario conectar la tarjeta de control principal de la BBU LTE al puerto CI de la tarjeta de control principal de la BBU NR.

Los datos CPRI recibidos de la banda de 1,8 GHz se envían a la tarjeta BBP LTE. A continuación, se envía una copia de los datos a la tarjeta BBP NR a través del backplane. La tarjeta LTE BBP realiza el procesamiento de banda base para el enlace ascendente y descendente, y la tarjeta NR BBP realiza el procesamiento de banda base para el enlace ascendente.

10.3.2 COMPONENTE RRU FDD 1800 MHz UTILIZADA PARA EL DESACOPLAMIENTO UL Y DL

Como permiten enviar y recibir señales de radio entre la estación base y los dispositivos móviles, las RRU son partes esenciales de la arquitectura de las redes móviles. Tecnologías avanzadas como la formación de haces, combinadas con su pequeño tamaño y bajo consumo de energía, contribuyen a aumentar la capacidad y el calibre de los servicios de comunicaciones móviles.

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

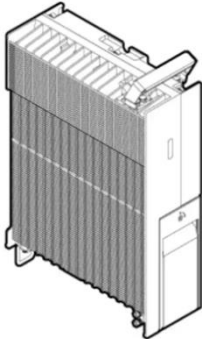
Ilustración	Elemento	Especificaciones
 Figura 20. Ilustración RRU Fuente: <i>Fccid.io</i>, 2013. https://fccid.io/QISRRU394-2-850/User-Manual/Installation-Manual-1845073	Módulo	1800 MHz RRU [42]
	Volumen/Peso	12 L/15 kg [42]
	Canal de Tx/Rx	4T4R [42]
	Potencia de transmisión	4x40 w [42]
	Número de portadores GL	G8L1 [42]
	Número de portadores LO	2 [42]
	Número de portadoras NR de enlace ascendente	1 [42]
	Ancho de banda SUL	20 MHz [42]
	Ancho de banda de portadora LTE (MHz)	5/10/15/20 [42]

Tabla 12. Especificaciones de la RRU.

10.4 SOLUCION DE FUENTE DE ALIMENTACION AAU5612, EPU DE RUTA UNICA

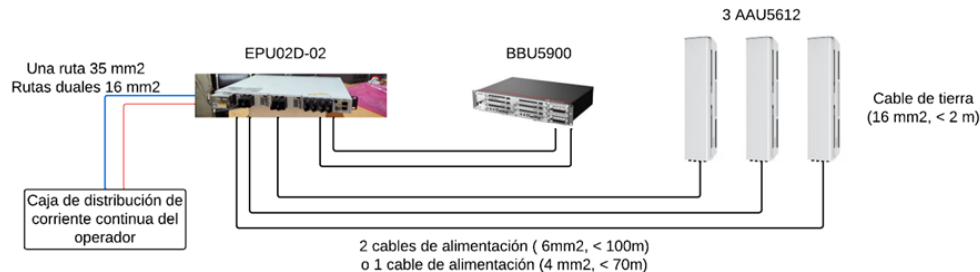


Figura 21. Solución de fuente de alimentación para la AAU5612.

Fuente: Hecho por el autor.

10.5 ARMARIO INTERIOR ILC29 (Ver.E) INSTALADO EN EL SULEO

En el sector de las telecomunicaciones se denomina "armario interior" a una estructura o recinto creado para almacenar y proteger equipos y componentes de telecomunicaciones dentro de un edificio o instalación. Estos armarios se utilizan para alojar equipos de telecomunicaciones, incluidos servidores, conmutadores, enrutadores, paneles de parcheo y otros dispositivos asociados, en un entorno seguro y organizado. [32]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.

El ILC29 (Ver.E) soporta BBU5900s, y se instala contra una pared y en el suelo. El ILC29 tiene una versión CMCC y una versión global, que difieren en el número de ventiladores en un ILC20 antes de la entrega.



Figura 23. Ilustración ILC29 (Ver.E)

Fuente: adj118, “5G基站组成,” 知乎专栏, 2020. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/140934109>

10.6 INTRODUCCION A BTS5900

Se trata de una unidad de estación base, la BTS5900. La BTS5900 es una estación base que se utiliza en redes de telecomunicaciones móviles, especialmente en tecnologías como 4G LTE y 5G, para dar cobertura de red inalámbrica a dispositivos móviles como teléfonos móviles y otros dispositivos conectados. [33]

La transmisión y recepción de señales, el procesamiento de señales, la gestión de recursos de radio, la interfaz de red, la diversidad de bandas y frecuencias, la gestión y supervisión remotas, la eficiencia energética y la capacidad de densificación son solo algunas de las características y capacidades de una estación base BTS5900. [33]

Las estaciones base, como la BTS5900, son elementos cruciales en las redes de telecomunicaciones móviles y desempeñan un papel fundamental a la hora de ofrecer a los consumidores servicios de comunicaciones móviles, es vital recordarlo. En función de la tecnología y los requisitos de red del operador, su diseño y capacidad pueden cambiar. [33]

Este equipo fue seleccionado por la empresa ya que es la última tecnología que poseen para poder implementar la solución de red.



Figura 24. Ilustración BTS5900

Fuente: “Estación base macro para interiores BTS3900 - Productos de Huawei,” *Huawei Enterprise*, 2022.
<https://e.huawei.com/es/products/wireless/gsm-r/radio-access-network/bts3900>

11. CONCLUSIONES

A pesar de los beneficios de las redes 5G NSA 3X, existen importantes desafíos y factores que deben tenerse en cuenta. Estos se refieren a los aspectos técnicos, operativos, de seguridad y de privacidad de la red, así como al requisito de una infraestructura adecuada.

Al momento de implementar la red 5G, se debe tener en cuenta el contexto en cual se va a implementar la solución, ya que el número de habitantes, la ciudad, el operador, y demás, son factores que se deben analizar antes de realizar la implementación.

Los operadores deben estar preparados para la gran inversión que es la instalación de las nuevas redes de quinta generación, ya que tener que instalar nuevos nodos, redes de acceso, red central, entre otros, requiere de nuevos equipos que soporten las nuevas capacidades y servicios que va generar estas redes de quinta generación.

La coordinación entre operadores de telecomunicaciones, reguladores y proveedores de equipos debe ser efectiva para el despliegue de redes 5G NSA 3X. Para garantizar la implementación y el mantenimiento efectivos de estas redes, también se requieren inversiones sustanciales en infraestructura y capacitación.

Es necesario que las tecnologías que se implementen en la nueva red 5G soporten las capacidades de velocidad, usuarios, dispositivos y demás que van a estar conectados a esta red, ya que esta promete no solo más velocidad, capacidad y menos latencia sino también que los usuarios van a estar conectados a todo momento en todo lugar.

REFERENCIAS

- [1] Universidad Internacional de Valencia. “Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G”. VIU Internacional. Accedido el 3 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- [2] Sectorial, “Redes de Cuarta y Quinta Generación: Presente y Futuro en Colombia,” *Sectorial.co*, Apr. 02, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.sectorial.co/articulos-especiales/item/224552-redes-de-cuarta-y-quinta-generaci%C3%B3n-presente-y-futuro-en-colombia> (accessed Jul. 05, 2023).
- [3] “Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles - Tecnologías para el desarrollo de aplicaciones móviles,” *Gitbook.io*, 2015. [En línea]. Disponible: <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/sistemas-de-telefonía-y-comunicaciones-moviles> (accessed Jul. 05, 2023).
- [4] “¿Qué es 4g? | Lenovo Colombia,” *Lenovo.com*, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.lenovo.com/co/es/faqs/pc-vida-faqs/que-es-4g/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F> (accessed Jul. 05, 2023).
- [5] “Tecnología 4G revolucionará la forma de acceder a Internet – Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información,” *Telecomunicaciones.gob.ec*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/tecnologia-4g-revolucionara-la-forma-de-acceder-a-internet/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [6] admin, “5G System Overview,” *3gpp.org*, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview> (accessed Jul. 05, 2023).
- [7] Telecopacora, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA 5G, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnolog%25C3%25ADa-5g/thread/667224986231914496-667212896691695616> (accessed Jul. 05, 2023).
- [8] Virginia and Virginia, “5G vs 4G: Ventajas y desventajas de la nueva generación,” *Amplificadores de señal móvil en España*, Sep. 19, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.amplificadordesenal.es/5g-vs-4g-ventajas-y-desventajas-de-la-nueva-generacion/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [9] “What makes 5G different?,” *Cisco*, Apr. 2023. [En línea]. Disponible: https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/what-is-5g.html (accessed Jul. 05, 2023).
- [10] “Release 15,” *3GPP*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15> (accessed Jul. 05, 2023).
- [11] Zaheer new, What are the differences between SA networking and NSA networking?, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-are-the-differences-between-sa-networking-and-nsa-networking/thread/667283168941719552-667213871523442688> (accessed Jul. 05, 2023).
- [12] “5G Non-Stand Alone vs. 5G Stand Alone: Esta es la diferencia,” *GSMA Latin America*, Jan. 31, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.gsma.com/latinamerica/es/5g-non-stand-alone-vs-5g-stand-alone-esta-es-la-diferencia/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [13] Diego Coronel, Arquitectura de una red 5G en sus distintas implementaciones, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/arquitectura-de-una-red-5g-en-sus-distintas-implementaciones/thread/667224522518052864-667212896691695616> (accessed Jul. 05, 2023).
- [14] “Ventajas y desventajas de la tecnología 5g | BBVA Suiza,” *BBVA.CH*, Jun. 27, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.bbva.ch/noticia/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnologia-5g/> (accessed Jul. 05, 2023).

- [15] “¿Qué es el 5G? - Explicación de la tecnología 5G - AWS,” *Amazon Web Services, Inc.*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://aws.amazon.com/es/what-is/5g/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [16] J. Rojas, “¿Qué es el 5g, para qué sirve y cómo funciona?,” *Telefónica*, Jul. 27, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/que-es-el-5g-y-para-que-sirve-y-como-funciona/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [17] Sociedad Española de Protección Radiológica, “LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN TELEFONÍA MÓVIL: PREGUNTAS Y RESPUESTAS”, 2011. [En línea]. Disponible: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiCuZ2utNCAAxULj4kEHYs_BsUQFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fwww.sepr.es%2Farchi-vo-doc%2Frecursos%2Fotros%2F1865-las-radiaciones-no-ionizantes-en-telefon-ia-movil-pdf%23%3A~%3Atext%3DS%25C3%25AD%252C%2520las%2520RF%2520de%2520tele-fon%25C3%25ADa%2520infrarroja%2520o%2520la%2520visible\).&usq=AOvVaw1RbrpxkdyjcvPb1ySJYUvj&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiCuZ2utNCAAxULj4kEHYs_BsUQFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fwww.sepr.es%2Farchi-vo-doc%2Frecursos%2Fotros%2F1865-las-radiaciones-no-ionizantes-en-telefon-ia-movil-pdf%23%3A~%3Atext%3DS%25C3%25AD%252C%2520las%2520RF%2520de%2520tele-fon%25C3%25ADa%2520infrarroja%2520o%2520la%2520visible).&usq=AOvVaw1RbrpxkdyjcvPb1ySJYUvj&opi=89978449) (accessed Aug. 09, 2023).
- [18] What are the differences between SA networking and NSA networking?, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-are-the-differences-between-sa-networking-and-nsa-networking/thread/667283168941719552-667213871523442688> (accessed Aug. 09, 2023).
- [19] “Release 15,” 3GPP, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15> (accessed Aug. 09, 2023).
- [20] “Release 16,” 3GPP, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-16> (accessed Aug. 09, 2023).
- [21] Tchioffo Kodjo, “5G — Quinta generación de tecnologías móviles - ITU PP-18 - Plenipotentiary Conference,” ITU Plenipotentiary Conference 2018 (PP-18), 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.itu.int/web/pp-18/es/backgrounder/5g-fifth-generation-of-mobile-technologies> (accessed Aug. 09, 2023).
- [22] Mintic.gov.co, 2022. [En línea]. Disponible: https://mintic.gov.co/micrositios/plan_5g//764/w3-channel.html (accessed Aug. 09, 2023).
- [23] J. Flores, “Qué es el 5G y cómo nos cambiará la vida,” *www.nationalgeographic.com.es*, Jun. 28, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-es-5g-y-como-nos-cambiara-vida_14449 (accessed Aug. 09, 2023).
- [24] “Introducing 3GPP,” 3GPP, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.3gpp.org/about-us/introducing-3gpp> (accessed Aug. 15, 2023).
- [25] “Tecnología 5G: La revolución de la conectividad inalámbrica,” *Linkedin.com*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://es.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADa-5g-la-revoluci%C3%B3n-de-conectividad-inal%C3%A1mbrica-atomic-32> (accessed Sep. 08, 2023).
- [26] “Presentando la tecnología y redes 5G (definición, características, 5G vs 4G y casos de uso),” *Thales Group*, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latin-america/dis/movil/inspiracion/5g#:~:text=La%205G%20alcanza%20un%20m%C3%A1ximo,puede%20obtener%20con%20la%204G> (accessed Sep. 09, 2023).
- [27] P. Castells, J. Joiner y A. Adamowicz. “5G en América Latina Liberando el potencial”. GSMA. Accedido el 9 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2023/06/290623-5G-in-Latam-ESP.pdf>
- [28] Portafolio, “Wom anuncia nuevo piloto 5G con la Universidad Distrital,” *Portafolio.co*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/operador-wom-anuncia-nuevo-piloto-5g-con-la-universidad-distrital-francisco-jose-de-caldas-584813> (accessed Sep. 11, 2023).

- [29] M. Cordeiro, "Huawei presenta casos de uso 5G en Brasil con su camión educativo," DPL News, Oct. 20, 2022. [En línea]. Disponible: <https://dplnews.com/huawei-presenta-casos-de-uso-5g-en-brasil-con-su-camion-educativo/> (accessed Sep. 11, 2023).
- [30] ycict, "AAU, RRU, BBU," ycict, Apr. 21, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.ycict.net/es/aau%E3%80%81rru%E3%80%81bbu/> (accessed Sep. 11, 2023).
- [31] "Estación base macro para interiores BTS3900 - Productos de Huawei," Huawei Enterprise, 2022. [En línea]. Disponible: <https://e.huawei.com/es/products/wireless/gsm-r/radio-access-network/bts3900> (accessed Sep. 11, 2023).
- [32] Sergio De Luz, "Aprende qué es un armario rack y qué modelos puedes comprar," RedesZone, Apr. 27, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/que-es-armario-rack-modelos/> (accessed Sep. 11, 2023).
- [33] "Racks y Gabinetes - SUBSISTEMA DE TELECOMUNICACIONES," 1library.co, 2014. [En línea]. Disponible: <https://1library.co/article/racks-y-gabinetes-subsistema-de-telecomunicaciones.z3jml39y> (accessed Sep. 11, 2023).
- [34] "What is the Huawei BBU5900? - Infinity Supply," Infinity Supply, Jun. 08, 2021. [En línea]. Disponible: <https://infinity-supply.com/what-is-the-huawei-bbu5900/> (accessed Sep. 11, 2023).
- [35] "Subasta 5G en Colombia se adjudicará el 20 de diciembre - Subasta 5G en Colombia se adjudicará el 20 de diciembre," MINTIC Colombia, 2023. [En línea]. Disponible: <https://mintic.gov.co/porta/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/276491:Subasta-5G-en-Colombia-se-adjudicara-el-20-de-diciembre> (accessed Sep. 11, 2023).
- [36] "Empieza en firme el proceso de subasta 5G en Colombia - Empieza en firme el proceso de subasta 5G en Colombia," MINTIC Colombia, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mintic.gov.co/porta/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/277264:Empieza-en-firme-el-proceso-de-subasta-5G-en-Colombia> (accessed Sep. 11, 2023).
- [37] "AAU5612 Technical Specifications(V100R016C10_01) (PDF)-En," Scribd, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.scribd.com/document/511445589/AAU5612-Technical-Specifications-V100R016C10-01-PDF-En#> (accessed Sep. 19, 2023).
- [38] Andrés Moreno, "Introducción a Huawei BBU5900" Huawei.com, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%C3%B3n-a-huawei-bbu5900/thread/667241498770554880-667212889045479424> (accessed Sep. 19, 2023).
- [39] Andrés Moreno, "HCIA-LTE | Componentes en la BBU", Huawei.com, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/hcia-lte%E4%B8%A8componentes-en-la-bbu/thread/667229643041816576-667212889045479424> (accessed Sep. 19, 2023).
- [40] Andrés Moreno, "HCIA-LTE | Especificaciones de la UBBP", Huawei.com, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/hcia-lte%E4%B8%A8-especificaciones-de-la-ubbp/thread/667229644027478016-667212889045479424> (accessed Sep. 19, 2023).
- [41] Andrés Moreno, "Puertos de la tarjeta UMPTe", Huawei.com, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/puertos-de-la-tarjeta-umpte/thread/667228536802525184-667212889045479424> (accessed Sep. 19, 2023).
- [42] Andrés Moreno, "Introducción a Huawei RRU parte 2", Huawei.com, 2023. [En línea]. Disponible: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%C3%B3n-a-huawei-rru-parte-2/thread/667228917674688512-667212889045479424> (accessed Sep. 19, 2023).