PROYECTO DE CAMBIO Y MODERNIZACIÓN DE EQUIPOS PARA ESTACIONES BASE DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES EN DISTINTAS CIUDADES DEL EJE CAFETERO

Autor: Juan Esteban Quimbayo Garavito
Código:20171005089

Anteproyecto de trabajo de grado para optar a título de Ingeniero Electrónico

Modalidad de grado: **Pasantía.**
HUAWEI TECHNOLOGIES Co., Ltd.

Director interno: Gustavo Adolfo Puerto Leguizamón
Director externo: Julián Mauricio Valdivieso Romero

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica



Bogotá, 2023

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO **2**
2. OBJETIVOS **4**
2.1 Objetivo general 4
2.2 Objetivos Específicos 4
3. MARCO TEÓRICO **5**
3.1 Espectro radioeléctrico. 5
3.2 Radio access technology (RAT) 6
3.3 Tecnología 2G GSM 6
3.4 Tecnología 3G UMTS 7
3.5 Tecnología 4G LTE 8
3.6 Técnicas de duplexación 8
3.6.1 Time Division Duplexing (TDD) 9
3.6.2 Frequency Division Duplexing (FDD) 9
3.7 Estación base o radio base 10
4. PLAN DE TRABAJO **11**
4.1 Primera fase 11
4.2 Segunda fase 12
4.3 Tercera fase 12
4.4 Cuarta fase 12
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES **13**
6. RESULTADOS ESPERADOS **13**
7. DESARROLLO DE ACTIVIDADES **14**
7.1 Capacitaciones 14
7.2 Caracterización del estado actual de los sitios. 18
7.3 Realización de pruebas de sincronismo de reloj. 22
7.4 Elaboración de los LLD para los escenarios propuestos. 30
8. ANALISIS DE RESULTADOS **34**
9. EVALUACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS **36**
10. CONCLUSIONES **37**
11. REFERENCIAS **37**

1. RESUMEN EJECUTIVO

Las telecomunicaciones se han convertido en algo imprescindible para las personas, las empresas y las Administraciones Públicas, y su importancia se podría multiplicar según el número de usuarios del que se disponga. Cuantos más usuarios haya conectados a los sistemas de telecomunicaciones, mayores son las posibilidades y las necesidades de comunicación. Las empresas están cambiando la forma de hacer sus negocios, utilizando los últimos avances en tecnología como los teléfonos inteligentes o las tabletas que, junto con el servicio de Internet, han permitido la comunicación con clientes en todo el mundo, la comercialización y la promoción de los productos [1].

Huawei Technologies es un proveedor líder en el mercado mundial de infraestructuras de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y dispositivos inteligentes. Gracias a las soluciones integradas en los cuatro dominios claves (redes de telecomunicaciones, tecnología de la información, dispositivos inteligentes y servicios en la nube),teniendo aproximadamente 195.000 empleados y operando en más de 170 países y regiones, sirviendo a más de tres mil millones de personas en todo el mundo [2].

En Huawei technologies se manejan distintas líneas de producto, entre las que se encuentran, Corporate, Enterprise, Consumer, Cloud y Carrier, esta última enfocada a ofrecer soluciones a las empresas que prestan servicios de redes inalámbricas (Wireless Network), redes fijas (Fixed Network), Red central (Core Network), servicio y software, potencia digital, entre otros [3].

Específicamente en el área de redes inalámbricas, Huawei ofrece soluciones para redes de telefonía móvil a distintas empresas en Colombia como lo son Claro, Movistar, Tigo y WOM, para quienes brinda servicios de venta y soporte de equipos para procesamiento y transmisión de señales en banda base implementacion de estaciones SingleRAN, donde a través de la innovación de software y hardware, la innovación de la forma de estación base, el intercambio de recursos de espectro, la evolución de la arquitectura de red, construye una red inalámbrica simplificada donde conviven más de una RAT (Radio Access Technology) [4], implementación del servicio MAE (MBB Automation Engine) con tres capacidades principales de administración, control y análisis de redes, iMaster MAE interpreta la intención del servicio y las aplicaciones desde la capa superior en términos de diferentes escenarios, como la planificación, construcción, optimización, mantenimiento y provisión de servicios de la red. Además, puede garantizar continuamente la conectividad de la red y la gestión del SLA del servicio, para realizar el circuito cerrado en el dominio MBB (Mobile Broadband) [5].

Teniendo en cuenta esto, y en el marco de los intereses por parte de Huawei para aumentar el número de clientes que hagan uso de sus dispositivos, se busca con esta pasantía iniciar el proyecto de cambio y actualización de equipos de procesamiento de señales en banda base y transmisión radioeléctrica, para estaciones base de telecomunicaciones móviles del operador móvil Movistar en distintas ciudades del eje cafetero. Actualmente, estas estaciones base se encuentran activas y presentan equipos de la marca Ericsson, los cuales serán actualizados a equipos proveídos por Huawei.

Esta solución le permite a Movistar mejorar las afectaciones que se pueden estar presentando en las distintas estaciones base, producto de factores tales como la deriva en los instrumentos. Esta situación comúnmente se presenta en equipos que llevan bastante tiempo en funcionamiento, como pueden ser los equipos de procesamiento de señales a intervenir. Una afectación, como el corrimiento de la señal portadora o la variación del ancho de banda de la señal, puede llegar a acarrear multas para el operador. Esto, debido a que el uso del espectro y de sus bandas es estrictamente regulado por el MINTIC, con el fin de que no exista ningún tipo de solapamiento que afecte la integridad de la información de una banda de transmisión vecina o, se haga uso de una porción mayor de espectro de la que el operador ha adquirido.

Adicionalmente, dependiendo de los escenarios presentados en las distintas estaciones base, se ofrecerán mejoras con respecto al consumo de energía. Esto, debido a los avances intrínsecos al desarrollo por parte de Huawei en los últimos años, en los cuales se ha evolucionado en este aspecto, así como al despliegue de antenas modernas, las cuales están en capacidad de manejar distintas tecnologías de radio acceso en distintas bandas de transmisión, permitiendo una menor cantidad de antenas para cumplir con los requerimientos del cliente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Acompañar el correspondiente proceso de caracterización, planificación y posterior despliegue de los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de cada una de las estaciones base teniendo en cuenta las especificaciones y parámetros de calidad establecidos por Huawei y Movistar.

2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar cada uno de los escenarios actuales de las estaciones base y realizar los esquemas de diseño de bajo nivel (LLD por sus siglas en inglés) con la documentación suministrada por los ingenieros en sitio.

2. Evaluar las antenas que se pueden reutilizar con base en la información obtenida por los ingenieros en sitio, número de puertos disponibles y bandas de funcionamiento.

3. Realizar los esquemas LLD con los escenarios propuestos al cliente en el diseño para cada una de las estaciones base con el número y los equipos necesarios para el despliegue.

4. Analizar cada una de las capacidades de los equipos y tarjetas escogidas en el diseño para cumplir con los requerimientos de funcionamiento de cada estación base.

5. Realizar pruebas de sincronismo de reloj entre las distintas estaciones base y las fuentes de Ipclock IEEE1588V2 para comprobar su correcto funcionamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Espectro radioeléctrico.

Los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos utilizan ondas electromagnéticas que pueden propagarse en el aire o en el vacío. Los campos son lugares en el espacio donde existen ondas electromagnéticas y conforman lo que conocemos como el espectro electromagnético, es decir "el conjunto de todas las ondas electromagnéticas, distribuidas y clasificadas en rangos o bandas de frecuencias".

El espectro radioeléctrico es la porción de espectro electromagnético utilizado por sistemas de radiocomunicaciones. Se considera un recurso natural conformado por el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz [6].

La gestión del espectro radioeléctrico es un elemento estratégico de desarrollo del sector TIC. Los permisos para el uso del espectro radioeléctrico, a través de mecanismos de selección objetiva, son el proceso mediante el cual el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones otorga ese permiso, dentro del territorio nacional, en las bandas y rangos de frecuencias según la disponibilidad y planeación del espectro, generando enormes beneficios sociales y económicos para el país [7].

3.2 Radio access technology (RAT)

Las tecnologías de acceso por radio (RAT por sus siglas en inglés) son el método de conexión física subyacente para una red de comunicación basada en radio. Los teléfonos modernos pueden admitir varias RAT en un dispositivo, como Bluetooth, Wi-Fi, NFC (comunicaciones de campo cercano) y 3G, 4G o LTE y 5G [8].

3.3 Tecnología 2G GSM

Las siglas GSM corresponden al nombre en inglés del Sistema Global de Comunicaciones Móviles. Se trata de un estándar muy utilizado desde principios de siglo y también se conoce como 2G debido a que supuso un salto de las comunicaciones analógicas a las digitales.

La banda de frecuencia en la que opera el GSM difiere según el territorio. En Europa se utiliza el espectro radioeléctrico de 900 y 1800 MHZ, mientras que en Estados Unidos la banda es la de 1900. Esto hace que no todos los móviles GSM puedan funcionar en todo el mundo, a no ser que su tecnología esté preparada para conectarse a todas las bandas [9]. Para este tipo de redes se tenían velocidades máximas de subida de 20Kbps y velocidades máximas de bajada de 40Kbps.

La red GSM consta de estación móvil, subsistema de estación base (BTS), controladora (BSC), red (MSC) y subsistema de operación [10].

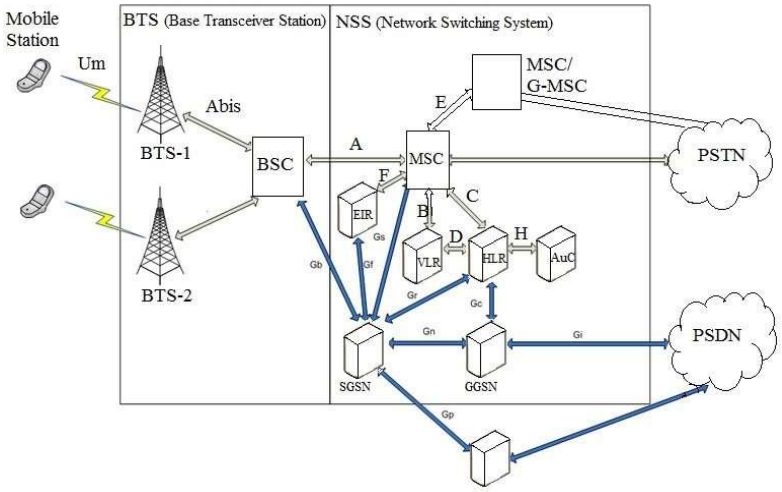


Figura 1. Arquitectura de una red GSM [11]

En GSM, el móvil GSM dedica una frecuencia y un intervalo de tiempo a la comunicación en cada dirección. De ahí el nombre de acceso múltiple por división de tiempo/frecuencia. También se conoce como sistema basado en FDMA/TDD [10].

3.4 Tecnología 3G UMTS

Sistema universal de telecomunicaciones móviles (Universal Mobile Telecommunications System o UMTS) es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación, sucesora de GPRS, debido a que la tecnología GPRS (evolución de GSM) propiamente dicha no podía evolucionar para prestar servicios considerados de tercera generación [12].

Aunque UMTS admite tanto voz como datos de manera similar a GSM, ciertos estándares, por ejemplo, HSPA, estaban destinados principalmente a aumentar las capacidades de velocidad de datos de los terminales móviles/dongles de UMTS hasta los 2Mbps [10].

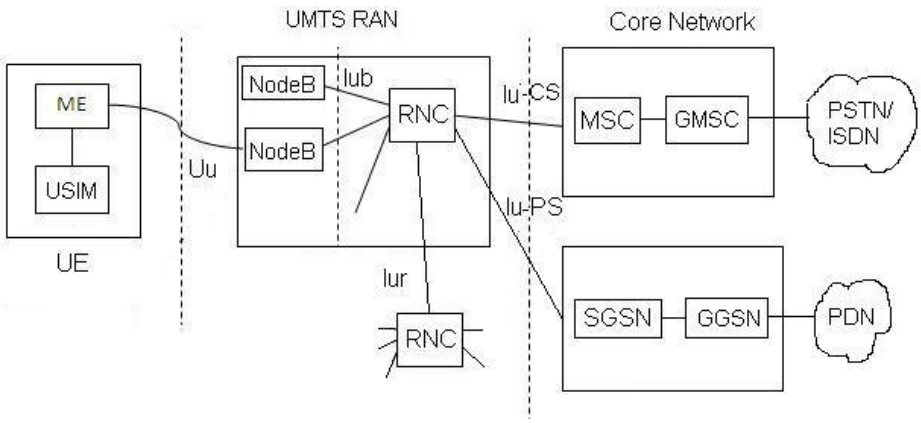


Figura 2. Arquitectura de una red UMTS [13].

Hay tres componentes principales en la arquitectura de red UMTS , los equipos de usuario se componen de equipos móviles (ME) y USIM. La red de acceso de radio está compuesta por NodeB y RNC. Core Network se compone de módulos funcionales de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes [13].

En UMTS se utiliza CDMA (Code Division multiple access) como técnica de acceso multiple. En CDMA, se asignan códigos pseudoaleatorios (es decir, códigos PN) en forma de códigos Walsh para la comunicación. Estos se conocen como códigos de propagación [10].

3.5 Tecnología 4G LTE

El estándar LTE ha sido publicado por 3GPP como una extensión de UMTS (basado en el estándar 3GPP) y Tecnologías 1xEV-DO (basado en el estándar 3GPP2). LTE está diseñado principalmente para aplicaciones de datos de alta velocidad tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. La red LTE ofrece una velocidad de datos de aproximadamente 300Mbps en el enlace descendente y aproximadamente 75 Mbps en el enlace ascendente [14].

LTE utiliza dúplex por división de frecuencia (FDD) o dúplex por división de tiempo (TDD). Mientras que FDD hace uso de bandas separadas para transmitir datos de enlace ascendente y descendente, TDD utiliza intervalos de tiempo en la misma frecuencia tanto para enlace ascendente como descendente. Las redes FDD y TDD LTE se han desplegado en todos los continentes [15].

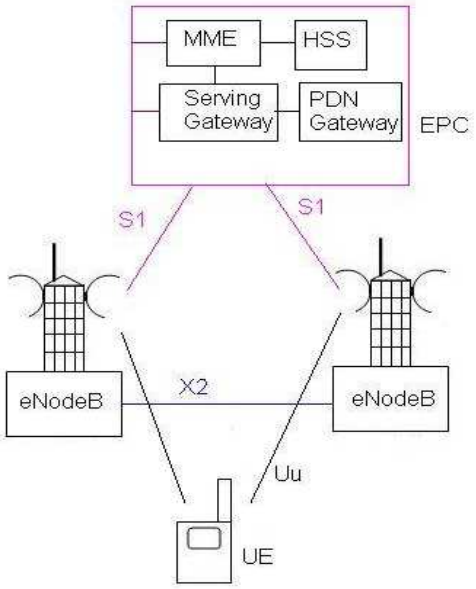


Figura 3. Arquitectura de una red LTE [14].

Como se muestra en la figura LTE SAE (System Architecture Evolution) consta de UE, eNodeB y EPC (evolved packet core). Se diseñan varias interfaces entre estas entidades que incluyen Uu entre UE y eNodeB, X2 entre dos eNodeB, S1 entre EPC y eNodeB. eNodeB tiene funcionalidades tanto de RNC como de NodeB según la arquitectura UMTS. LTE es una red completamente basada en IP [14].

3.6 Técnicas de duplexación

Dúplex es un término utilizado en telecomunicación para definir a un sistema que es capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea [16].

3.6.1 Time Division Duplexing (TDD)

La duplexación por división de tiempo (Time-Division Duplexing, TDD) es una técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre el mismo canal usando acceso múltiple por división de tiempo [16].

La duplexación por división de tiempo tiene una gran ventaja en los casos en los que hay asimetría entre la velocidad del uplink y el downlink. Según aumenta la cantidad de data en el uplink, más capacidad de comunicación puede ser destinada a este, y si por el contrario el

tráfico se vuelve más ligero, se puede reducir su capacidad. Lo mismo puede hacerse con el downlink [16].

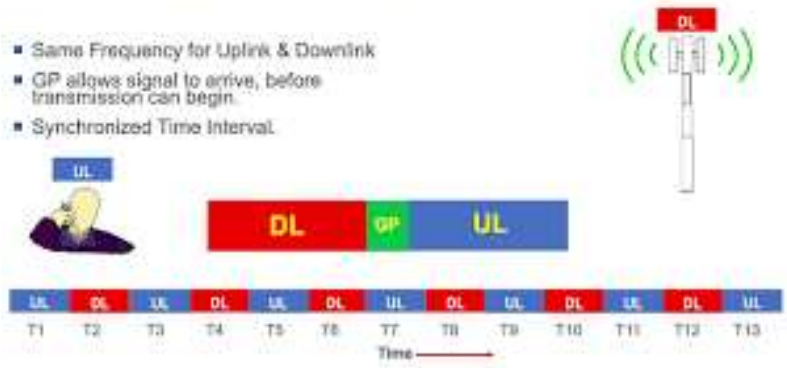


Figura 4. Esquema de funcionamiento TDD

3.6.2 Frequency Division Duplexing (FDD)

La duplexación por división de frecuencia (Frequency-Division Duplexing, FDD) significa que el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras. La estación debe ser capaz de enviar y recibir al mismo tiempo, y hace esto alterando ligeramente la frecuencia a la que envía y recibe. Este modo de operación es referido como modo dúplex o modo complemento [16].

Las sub-bandas de uplink y downlink están separadas por el complemento de frecuencia. La duplexación por división de frecuencia puede ser eficiente en el caso de tráfico simétrico. En este caso la duplexación por división de tiempo tiende a desperdiciar ancho de banda durante el cambio de transmisión a recepción, tiene una mayor latencia inherente, y puede requerir circuitería más compleja [16].

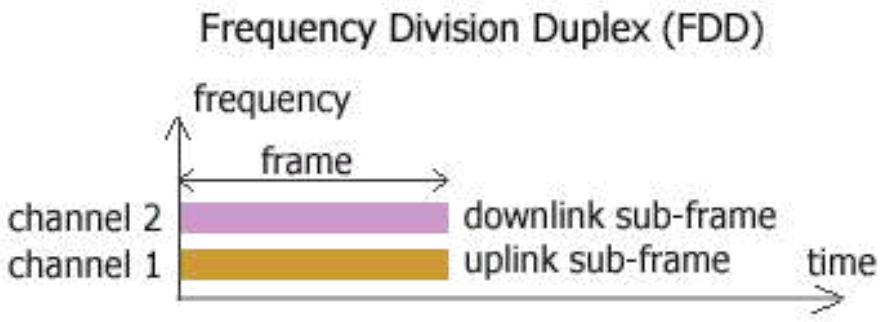


Figura 5. Esquema de funcionamiento FDD

3.7 Estación base o radio base

Una estación base es un elemento de red de comunicaciones móviles fundamental, quizá el más importante, se trata de un equipamiento fijo distribuido por el territorio terrestre para cubrir el área a la que se pretende prestar el servicio de cobertura. Se caracterizan por su altura elevada para mejorar la cobertura de telefonía móvil, consiguiendo alcances de varios kilómetros al estar situadas por encima de todos los edificios, así como utilización de antenas sectoriales (3 o más, de 120º o menos, según la torre) a las que se ha aplicado un tilt o inclinación para que la señal de radio llegue a los vehículos y personas situados a varios kilómetros a la redonda [17].



Figura 6. Estación base de telefonía móvil. Adaptado de "Estaciones base, los elementos fijos de las redes móviles" .Stelladoradus. https://www.stelladoradus.es/estaciones-base-los-elementos-fijos-de-las-redes-moviles/ .



Figura 7. Estación RNC de móviles. Adaptado de "Componentes electrónicos y conectores en informática | ANTONIO MELGAREJO PEÑA | EducaMadrid". EducaMadrid. https://www.educa2.madrid.org/web/antonio.melgarejo/componentes_electronicos_en_informatica/-/visor/equipos-instalados-en-las-estaciones-base-de-telefonia-movil-2g-a-5g.

Elementos de una estación base de telefonía móvil

Se compone inicialmente de una caseta donde se encuentran los equipos de radio de la estación base, que pueden convertirse rápidamente para sustituir antiguos equipos de telefonía móvil 2G, 3G o 4G a 5G. Esta caseta tiene un conjunto de equipos de radioenlaces fijos de corto alcance, una parte de los mismos (las IDU's) se instala en el interior de la caseta, y otra parte, instalados en la parte superior de la torre de telefonía, las ODU's. Se trata de una caseta de hormigón armado, a modo de jaula de Faraday, y con distintos puntos de conexión a tierra de la misma. La torre, tiene múltiples ODU's: como corresponde a una RNC (Radio Network Controller), donde cada uno de los radioenlaces está conectado a una estación base, que puede estar situada a varios kms. alrededor de esta RNC. Estos enlaces de radio en la banda de 18, 38 Ghz u otras bandas asignadas a la compañía de telefonía, se utilizan para llevar a cabo la gestión de la red, ya que los datos se envían a través del cableado de fibra óptica que normalmente se encuentra en la propia caseta de telefonía móvil. Las antenas sectoriales de móviles situadas en la parte media de la torre, son las que dan la cobertura a los móviles que se encuentren dentro del área de cobertura de esta

estación y pertenezcan a este operador de telefonía móvil. Suelen tener un alcance de entre 500-600 mts., dependiendo de la línea de vista en la zona [17].

4. PLAN DE TRABAJO

Con el propósito de cumplir los objetivos específicos, se propone la implementación de 4 fases, donde se contemplan y se desarrollan las actividades pertinentes en un periodo de 10 semanas.

4.1 Primera fase

Inicialmente se realiza una capacitación por parte de la empresa, para familiarizarse con la infraestructura y entrenarse con los procesos operativos necesarios para la ejecución del proyecto, esta etapa de entrenamiento corresponde a la primera fase del plan de trabajo.

4.2 Segunda fase

Para esta fase se tendrán los procesos correspondientes a la caracterización de cada uno de los sitios (estaciones base) a partir de la documentación obtenida por parte del ingeniero en sitio. De esta documentación se deben obtener los datos del número de antenas presentes en el sitio, tecnología de radio acceso sobre la cual está trabajando cada una de las antenas, número de sectores en servicio, bandas sobre las cuales están trabajando cada una de las antenas, número de puertos disponibles, número de RRU's (Radio Remote Unit) presentes, a que antena y que sector están supliendo cada una de ellas. Una vez identificada esta información, se procederá a realizar los esquemáticos de diseño de bajo nivel (LLD), los cuales se enviarán al área de radiofrecuencia (RF) en Huawei para realizar la evaluación de las configuraciones existentes en los sitios.

4.3 Tercera fase

Durante el desarrollo de esta fase se planea realizar las pruebas de sincronismo preliminares para comprobar el estado de los dos enlaces con las fuentes de ipclock IEEE1588V2, uno principal y otro de respaldo con dos estaciones base de prueba. Estos IPclock serán a los cuales se enlazarán cada una de las estaciones base pertenecientes a la red del eje cafetero y deberán asegurar el sincronismo en toda la red. Para estas pruebas se busca ver que las estaciones tester estén apuntando correctamente a la dirección ip de las fuentes de reloj, después de estos se monitorearán las alarmas de estos dos sitios en busca de alguna falla en el enlace, como lo pueden ser caídas del enlace, fallos de sincronismo, entre otros.

4.4 Cuarta fase

Una vez finalizada la evaluación de todos los escenarios por parte del área de RF (Radiofrecuencia) y Wireless, se formulará una propuesta de diseño en la que se especificarán los equipos y tarjetas necesarias para cumplir con los requerimientos del cliente. Posterior a esto, se realizarán los correspondientes diagramas LLD con los equipos propuestos y en la disposición que se tiene planeada en el diseño. Para exponer de la mejor forma la proyección de la implementación y justificar cada una de la selección de equipos al cliente, se requiere analizar las capacidad de cada uno de los equipos, como son bandas de trabajo, tecnologías de radio acceso soportadas y potencia necesaria: por lo que se estudiará cada uno de estos equipos con este fin.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Capacitaciones										
2. Caracterización										
3. Elaboración LLD's de configuraciones actuales										
4. Pruebas preliminares de sincronismo										
5. Desarrollo de propuesta										
6. Elaboración LLD's de configuraciones proyectadas										
7. Presentación de propuesta										

6. RESULTADOS ESPERADOS

Con el desarrollo de esta pasantía se espera entregar los diseños y soluciones ofrecidas por parte de Huawei al operador Movistar, para el cambio de los equipos de transmisión y procesamiento de señales en las más de 200 estaciones base del eje cafetero para las que se tiene previsto este proyecto. Para cada una de estas estaciones base se debe especificar según lo proyectado, cuantas antenas serán cambiadas o en su defecto, reusadas, número de puertos disponibles, sector y tecnologías de radio acceso que estarán cubriendo además de las bandas sobre las cuales estarán operando. Adicionalmente, se deberán presentar el número de RRU's proyectadas, consumos totales de potencia proyectados y soluciones adicionales de potencia en caso de ser necesarios. Finalmente, por parte de esta pasantía, se espera llegar a la primera parte de la etapa de despliegue de este proyecto en algunas de las ciudades que se tienen proyectadas.

7. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

7.1 Capacitaciones

Como se indicó previamente, las primeras dos semanas de esta pasantía se dedicaron a la toma de las capacitaciones necesarias en cada uno de los productos ofrecidos por Huawei en sus soluciones wireless y cada uno de los procesos necesarios para realizar su configuración y realizar su posterior puesta en funcionamiento en su respectiva estación de radio base.

Dentro de los equipos que se abordaron y fueron necesarios para la realización de esta pasantía se encuentran los siguientes:

BASE BAND UNIT (BBU)

La BBU (Base Band Unit) es una unidad que procesa y transporta la banda base en los sistemas de telecomunicaciones. La unidad de banda base se ubica en un gabinete Wireless y cuenta con diferentes tarjetas que funcionan para diferentes tecnologías (GSM, UMTS, LTE) y que se conectan a las RRU del sitio a través de fibra óptica [18].

La BBU proporciona las siguientes funciones dentro de una estación base distribuida:

- Gestiona de forma centralizada todo el sistema de la estación base, incluida la operación y el mantenimiento, el procesamiento de señalización y el reloj del sistema.

- Procesa datos de banda base de enlace ascendente y descendente y proporciona puertos CPRI para comunicarse con los módulos de RF.
- Proporciona interfaces físicas entre la estación base y la red de transporte para el intercambio de información.
- Proporciona el canal OM (Operation Maintenance) para conectarse a la OMC (Operation Maintenance Center).
- Proporciona una interfaz de comunicación con el dispositivo de monitoreo ambiental para recibir y reenviar señales desde el dispositivo.

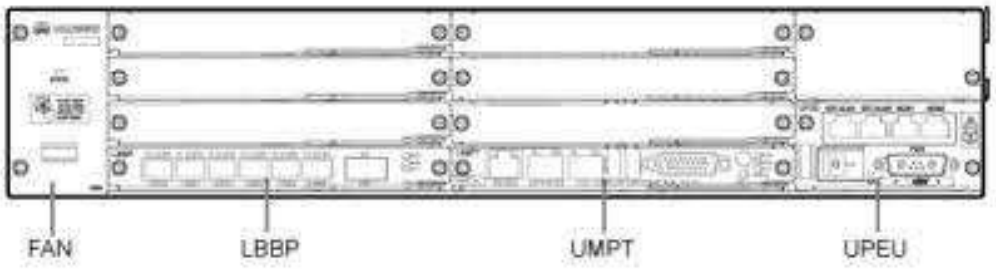


Figura 8. Esquematico BBU 5900

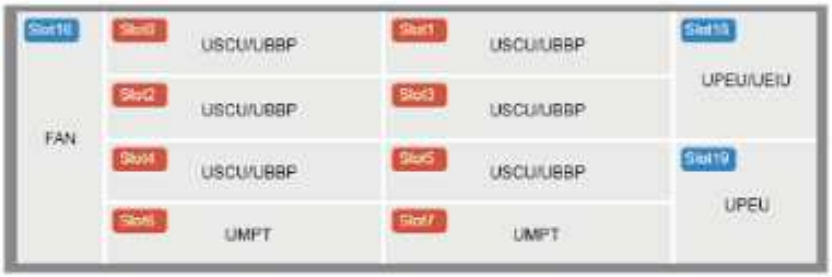


Figura 9. Distribución y numeración de los slots para BBU 5900



Figura 10. BBU 5900

Para el correcto funcionamiento de una unidad BBU son obligatorias algunas tarjetas de operación las cuales son:

Unidad FAN

Es la encargada de controlar la velocidad de los ventiladores destinados a la refrigeración de la BBU.

Esta unidad obligatoriamente debe ir instalada en el slot número 16 de la BBU.

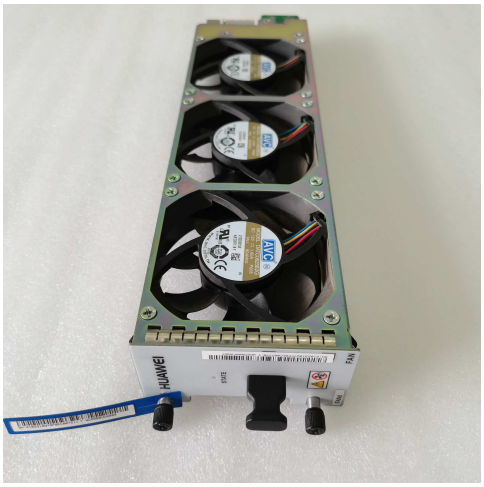


Figura 11. Unidad FAN

UPEU (Universal Power Environment Unit)

Es un módulo de potencia utilizado para convertir la potencia de entrada de -48 V en potencia de DC de +12 V y luego distribuir la potencia a otras placas en una BBU. Se puede configurar al menos una placa UPEU y un máximo de dos placas UPEU en una BBU3900 o BBU3910 [19].

La placa UPEU proporciona cuatro puertos de monitoreo/alarma para transmitir dos canales de señales RS485 y ocho canales de señales booleanas.

La placa UPEU debe configurarse en la ranura 18 o 19 de la BBU.



Figura 12. Tarjetas UPEU

UMPT (Universal Main Processing & transmission unit)

Es la unidad principal universal de procesamiento y transmisión. La placa permite la gestión y configuración de dispositivos, la supervisión del rendimiento, el procesamiento de señales y la gestión de recursos de radio [20] .

La UMPT realiza las siguientes funciones:

- Controla todos los tableros del sistema.
- Proporciona servicios de señales GPS para sincronizar el reloj.
- Permite el intercambio de señal entre la estación base y la red central.
- Comprueba el estado de los puertos eléctricos/ópticos, informa alarmas y gestiona la consulta de velocidad de transmisión.
- Proporciona un puerto USB, puertos de transmisión y un puerto de mantenimiento para realizar la actualización automática del software, transmitir señales y admitir el mantenimiento de BBU en el LMT o U2000 (Operation Maintenance Center).



Figura 13. Tarjeta UMPT

UBBP (Universal Base Band Processing unit):

Es la tarjeta que permite el procesamiento de la señal en banda base de las estaciones. Esta placa tiene la capacidad de ser compatible con todas las tecnologías RAT (GSM, UMTS, LTE, NR). Una UBBP realiza las siguientes funciones [18]:

- Proporciona puertos CPRI para la comunicación con módulos RF.
- Procesa señales de banda base de enlace ascendente y descendente.
- Admite la multiplexación de recursos de banda base entre diferentes modos, implementando así la simultaneidad multimodo

Esta placa se debe instalar el los slots del 0 a 5 en la BBU correspondiente.



Figura 14. Tarjeta UBBP

RRU (Remote Radio Unit)

Unidad radio remota utilizada para comunicarse con la BBU a través de un enlace de comunicación físico que comúnmente está dado por fibra óptica, y que también se comunica con los dispositivos de transmisión que son las antenas [21], es decir, la RRU es el dispositivo que modula con una frecuencia específica del espectro la señal recibida por el

UBBP en banda base y posteriormente la envía a la antena para su correcta transmisión por el medio aéreo.



Figura 14. RRU

7.2 Caracterización del estado actual de los sitios.

Después de haber recibido las capacitaciones respectivas, se inició con la etapa de caracterización de cada uno de los 207 sitios del eje cafetero que iban a ser intervenidos. Para esto, se partió de la información dada por el ingeniero en sitio, el cual hacía una visita a cada una de las estaciones base realizando un registro fotográfico y un pequeño informe donde se especificaba cada uno de los dispositivos (Antenas, RRU's, BBU y breakers de energización), tecnología RAT manejada y banda del espectro en uso, además de información de localización de la estación base.

TSSR – RF EXISTENTE

	ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	ANT 8	ANT 9	ANT 10	ANT 11	ANT 12
Tipo	Dual Band	Dual Band	Dual Band	Dual Band	irectional Antenn	Dual Band						
Modelo	AQU4518R25v06	AQU4518R25v06	AQU4518R25v06	no visible	C-BXD-65806580-M	BXD-65806580-I						
Número puertos	8	8	8	4	4	4						
Puertos disponibles	4	4	4	2	2	2						
Tipo de conector	4310	4310	4310	DIN	DIN	DIN						
Altura (m)	42	47	47	42	47	47						
Azimut (°)	90	200	300	50	170	260						
Tilt Mecanico	0	0	0	6	0	0						
Tilt Electrico	5	6	5	0	0	5						
Tilt Electrico 1900	0	0	0	0	0	0						
Tilt Electrico 850	5	6	5	6	5	5						
Tecnologia	UMTS,LTE,AWS	UMTS,LTE,AWS	UMTS,LTE,AWS	GSM	5	GSM						
Frecuencia	1900	1900	1900	850	1710-220	850						
Sector	S1	S2	S3	S1	S2	S3						
Comentarios	rtos disponible en bi	puertos libres para	puertos libres para	con 2 puertos	buen estado y	buen estado y						

	RRU 1	RRU 2	RRU 3	RRU 4	RRU 5	RRU 6	RRU 7	RRU 8	RRU 9	RRU 10	RRU 11	RRU 12
Modelo	2219	R1B	2219	R1B	2219	R1B						
Altura (m)	47	47	47	47	47	47						
Tecnologia	LTE,AWS	UMTS	LTE,AWS	UMTS	LTE,AWS	UMTS						
Sectores	S1	S1	S2	S2	S3	S3						

Página 1

Figura 15. Datos de configuraciones RF existentes en sitio R070-LA ROMELIA.



Figura 16. Antena 2 de R070-LA ROMELIA (UMTS, LTE, GSM)



Figura 17. Antena 5 de R070-LA ROMELIA (GSM)

GABINETE DE ENERGIA 1

NOMBRE DEL EQUIPO (Gabinete energía 1)	eltek	POTENCIA CONSUMO (Rectificador 1)	10936	CAPACIDAD MAX DC [vatios] (Rectificador 1)	4000
FABRICANTE (Rectificador 1)	ELTEK	CARGA ACTUAL DC [Amp] (Rectificador 1)	200	CANTIDAD MODULOS RECTIFICADORES	2
CAPACIDAD BREAKER AC EXISTENTE [Amp] (Rectificador 1)	50	VOLTAJE DE SALIDA DC [Volt] (Rectificador 1)	54,68	POTENCIA DE SALIDA DE CADA MODULO RECTIFICADOR	2000
# EQUIPOS CONECTADOS (Rectificador 1)	5	CANTIDAD DE BREAKERS INSTALADOS	9	CANTIDAD DE BREAKERS DISPONIBLES	0
CANTIDAD DE NUEVOS MODULOS RECTIFICADORES	0	MODELO DE NUEVOS MODULOS RECTIFICADORES	0	COMENTARIOS MODULOS:	e nuevos módulos r
CANTIDAD DE GRUPOS DE BATERIAS	1	CAPACIDAD DEL GRUPO DE BATERIAS (A)	600	COMENTARIOS BATERIAS	cuentra en buen est
SE REUSAN BREAKERS?	Sí	CAPACIDAD DE BREAKERS DE REUSO (A)	0	CANTIDAD DE BREAKERS DE REUSO:	0
SE REQUIEREN NUEVOS BREAKERS?	Sí	CANTIDAD DE BREAKERS NUEVOS	2	TIPO DE BREAKER NUEVO	Riel
MARCA NUEVO BREAKER	sneider	CAPACIDAD NUEVO BREAKER (A)	63		

Página 1

Figura 18. Información de energización existente.

Con esta información se procede a caracterizar el sitio realizando el LLD (Low Level Design).

Inicialmente para este LLD se necesita especificar las conexiones entre cada uno de los aparatos de RF, detallando cuántos sectores se están manejando, la tecnología RAT que procesa cada una de las RRUs y las antenas, en qué banda del espectro están trabajando y a cual de los sectores están asignados cada uno de los dispositivos. Esto se realiza teniendo en cuenta específicamente la tabla de la figura 15 , los registros fotográficos de las antenas y la información suministrada en las capacitaciones acerca de las conexiones de estos dispositivos. Una vez teniendo claro esto, se obtiene un diagrama de conexiones como el siguiente:

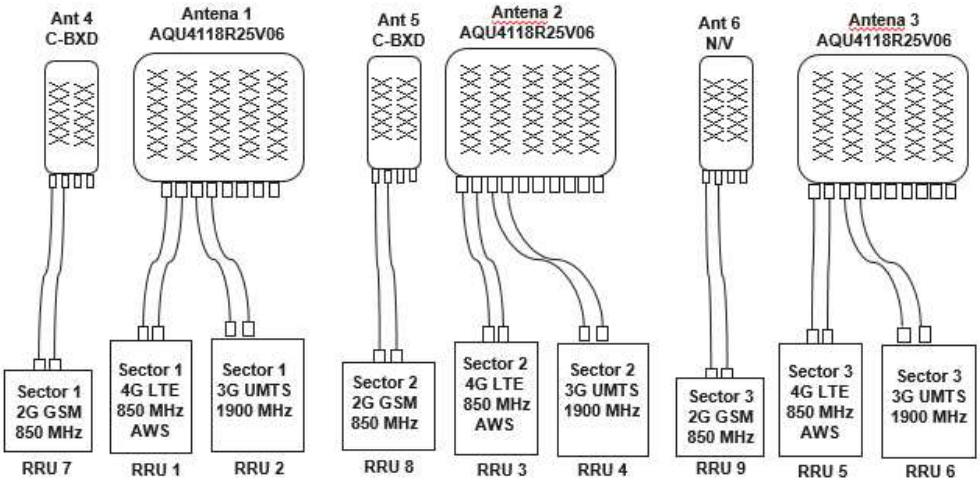


Figura 19. Diagrama de conexiones para R070-LA ROMELIA

En ocasiones, como con el sitio R070-LA ROMELIA, no se tenía registro claro de cuál era la RAT manejada por la antena, como se ve en la figura 15 para la antena 5, sin embargo, al irnos al registro fotográfico, se distingue que es una antena para tecnología 2G GSM, antenas que tienen la característica de ser alargadas, por esto fue necesario observar con cierta rigurosidad los registros de la tabla con los elementos de RF y comparar con sus registros fotográficos para comprobar que la información fuera correcta.

Después de tener el diagrama de conexiones finalizado, se realiza un esquemático en el cual se visualiza la disposición de los dispositivos (BBU, RRUs y antenas) en la estación base. Adicionalmente, se añade una fotografía del gabinete de energización con un comentario acerca de su estado y si existe la necesidad de añadir algún dispositivo en el momento que se realice el cambio a los dispositivos Huawei. Para finalizar el LLD, se inserta la información del sitio, su nombre y el escenario del “swap”.

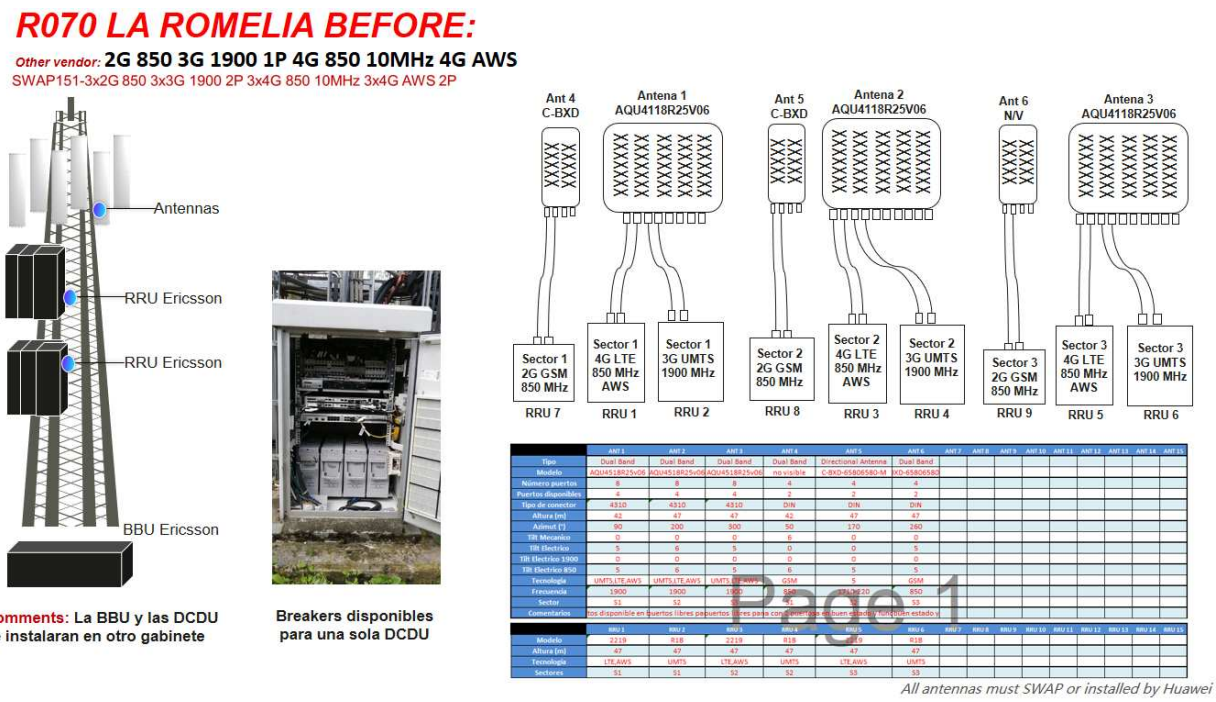


Figura 20. Diagrama LLD con configuración actual para R070-LA ROMELIA

Finalmente, a este LLD se le anexa un cuadro en donde se hace una síntesis de la información obtenida del sitio. Dentro de este cuadro es necesario añadir la información sobre las antenas que serán reutilizadas y cuáles deben ser desmanteladas y reemplazadas. Esto se realizaba teniendo en cuenta la información del número de puertos disponibles por antena y el tipo de conector de cada una, es decir, a partir de un número disponible mayor o igual a 8 y un tipo de conector 4.3.10, la antena es apta para ser reutilizada en el escenario, ya que se va trabajar sobre la misma banda del espectro que se está trabajando actualmente. La tabla realizada es como la siguiente:

ANTENNA CONFIRMATION		
Description	YES/NO	Qty
Reuse Antennas	YES	3
Swap Antennas	YES	3
New Antennas		
Connector Type	YES	4.3.10
Anntena Dismantling	YES	3
POWER SYSTEM SOLUTION		
Description	YES/NO	Reference
Reuse Power Cabinet	YES	ELTEK
New Power Cabinet	NA	
External Alarm	YES	
DCDU	YES	1
PDU	YES	1
Transmission Solution		
Description	YES/NO	Qty
Reuse Tx	NO	
New Tx	YES	1
Port Type	SC	

Figura 21. Tabla de síntesis para R070-LA ROMELIA

7.3 Realización de pruebas de sincronismo de reloj.

Una vez realizados y entregados al área de RF de Huawei los LLD de cada uno de las 207 estaciones base incluidas en el proyecto, se procedió a iniciar con una prueba de sincronismo de reloj. Para esta prueba se cambiará la fuente de reloj de dos estaciones base operativas, las cuales se van a referenciar a dos fuentes de reloj tipo Ipclock IEEE1588V2. Esta prueba tiene como objetivo comprobar el correcto funcionamiento de las fuentes de IPclock que darán el sincronismo a la red del proyecto en el eje cafetero y diagnosticar el estado del enlace.

Inicialmente es necesario conocer la función de un Ipclock y la configuración que se va a utilizar en los sitios para el sincronismo.

Reloj sobre IP

El reloj sobre IP es una solución rentable de reloj que se implementa conjuntamente a través del servidor de reloj IP y el reloj IP Clientes. En esta solución, el servidor de reloj IP obtiene el reloj de referencia de señales del sistema GPS o BITS, realiza bloqueo de fase y precisión retenible, y los transmite en forma de paquetes IP al reloj IP cliente para su referencia. Por lo tanto, la solución Clock over IP permite una buena mantenibilidad. Actualmente la solución de reloj IP popular es el reloj “1588V2 clock synchronization technology”.

Se transfieren mensajes IEEE1588 entre equipos primarios y secundarios. Para lograr sincronización en frecuencia o tiempo entre el equipo, se utilizan marcas de tiempo precisas

para calcular el desplazamiento de tiempo y frecuencia. IEEE1588 V2 admite tanto la sincronización de frecuencia como la sincronización de tiempo [22].

Para el proyecto, buscando la robustez de la red se usará una configuración "dual reference-clock backup", la cual nos permite tener un enlace a un servidor de IPclock principal y a otro de backup, en caso de que se llegue a presentar una falla en el servidor principal o en su enlace.

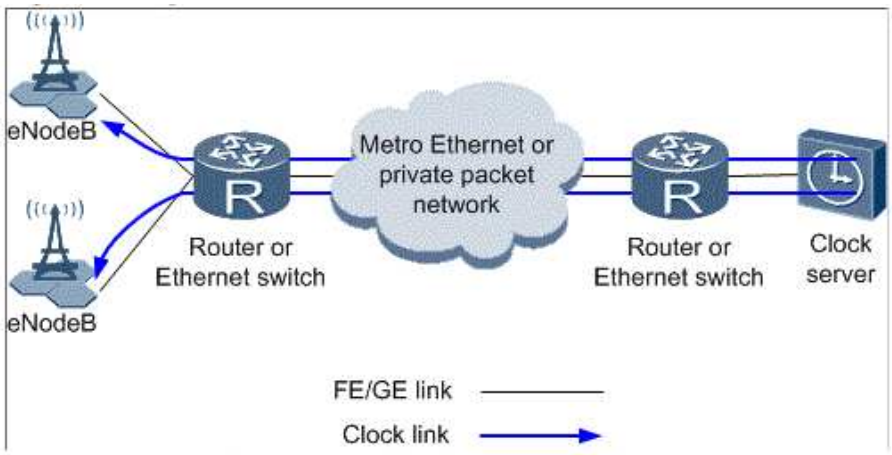


Figura 22. Modo "single-reference" para IP clock.

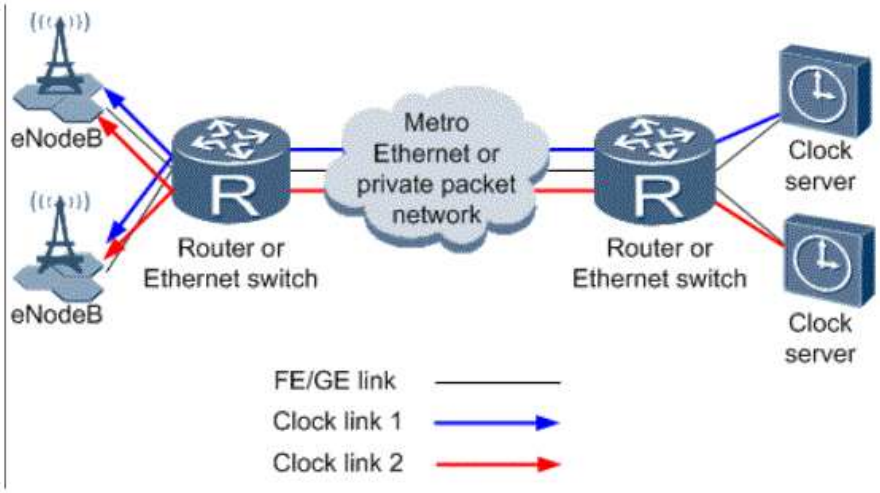


Figura 23.Modo "Dual-reference clock backup" para IP clock

Prueba de sincronismo.

Una vez comprendido el funcionamiento del IPclock y la configuración a usar, se inició con el procedimiento para cambiar los enlaces de los IPclock que actualmente estaban en

funcionamiento en las estaciones base, a los nuevos servidores. Estas pruebas se realizaron sobre las estaciones *TMED_550197* y *TMED_550040.*

Para conocer el estado actual de la estación base en términos de configuración de sincronización se ejecutan los siguientes comandos en el sistema de gestión y mantenimiento:

LST DEVIP (List Device IP): Con este comando se busca observar las distintas direcciones IP asociadas a los diferentes enlaces de la estación base, en este caso, se busca específicamente el encargado a la sincronización, identificado con la etiqueta "SYNC".

```
LD_TMED_550197_SR
++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 22:49:04
&M    #18955
%/*1883981366*/LST DEVIP:;%%
ETCODE = 0  Operation succeeded.

ist Device IP Configuration Data
--------------------------------
abinet No.  Subrack No.  Slot No.  Subboard Type  Port Type          Port No.  VRF Index  IP Address      Mask            Borrow IFIP  Control Mode  User Label

            0           7         Base Board     Ethernet Port      1         0          10.78.[redacted]  255.255.255.248  NULL         Manual Mode   IUB
            0           7         Base Board     Ethernet Port      1         0          10.99.[redacted]  255.255.255.252  NULL         Manual Mode   PKI
            0           7         Base Board     Ethernet Port      1         0          10.110.[redacted]  255.255.255.252  NULL         Manual Mode   IPSEC MOV
            0           7         Base Board     Ethernet Port      1         0          10.110.[redacted]  255.255.255.252  NULL         Manual Mode   SYNC
            0           7         Base Board     Ethernet Port      1         0          10.155.[redacted]  255.255.255.252  NULL         Manual Mode   IPSEC TIGO
            0           7         Base Board     Loopback Interface 0         0          10.110.[redacted]  255.255.255.240  No           Manual Mode   S1 MOV
            0           7         Base Board     Loopback Interface 0         0          10.110.[redacted]  255.255.255.240  No           Manual Mode   X2 MOV
            0           7         Base Board     Loopback Interface 1         0          10.110.[redacted]  255.255.255.240  No           Manual Mode   OM
            0           7         Base Board     Loopback Interface 1         0          10.155.[redacted]  255.255.255.240  No           Manual Mode   S1 TIGO
            0           7         Base Board     Loopback Interface 2         0          10.155.[redacted]  255.255.255.240  No           Manual Mode   X2 TIGO
Number of results = 10)
```

Figura 24. Resultados para comando LST DEVIP

LST IPCLKLINK (List IPclock Link): Con este comando se ven los enlaces existentes de IPclock y los servidores a los que están apuntando.

```
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 22:49:22
O&M    #18957
%%/*1883981370*/LST IPCLKLINK:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

List IP Clock Link Configuration
--------------------------------
                     Link No.  =  0
                Protocol Type  =  PTP
                  Device Type  =  OC_SLAVE
                  Cabinet No.  =  0
                  Subrack No.  =  0
                     Slot No.  =  7
               Clock Net Mode  =  Unicast
                 Profile Type  =  1588V2
                      IP mode  =  IPv4
                  Client IPv4  =  10.110.[redacted]
                    VRF Index  =  0
                  Server IPv4  =  10.119.[redacted]
                       Domain  =  0
Phase Deviation Report Switch  =  OFF
             Compensation(ns)  =  0
                   Delay Type  =  E2E
                     Priority  =  4
          IP Clock Sync Mode  =  FREQ
    Clock Server Description  =  NULL

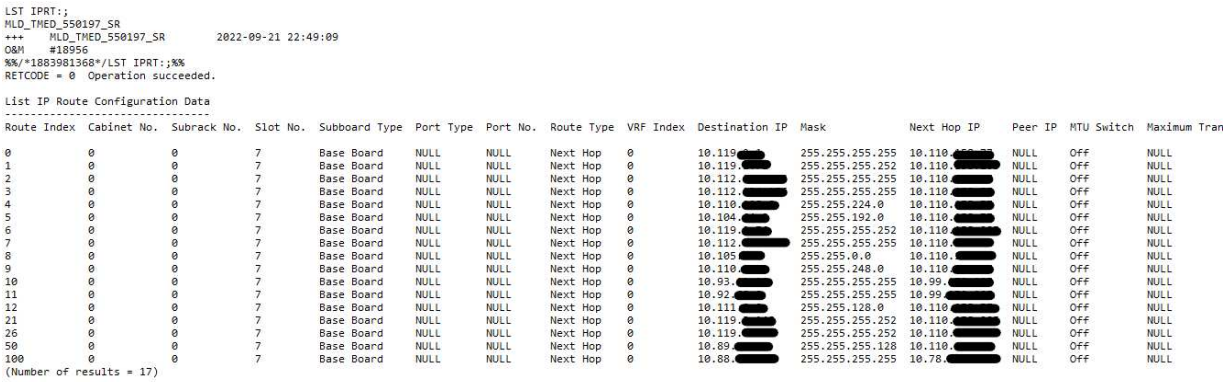
                     Link No.  =  1
                Protocol Type  =  PTP
                  Device Type  =  OC_SLAVE
                  Cabinet No.  =  0
                  Subrack No.  =  0
                     Slot No.  =  7
               Clock Net Mode  =  Unicast
                 Profile Type  =  1588V2
                      IP mode  =  IPv4
                  Client IPv4  =  10.110.[redacted]
                    VRF Index  =  0
                  Server IPv4  =  10.119.[redacted]
                       Domain  =  0
Phase Deviation Report Switch  =  OFF
             Compensation(ns)  =  0
                   Delay Type  =  E2E
                     Priority  =  4
          IP Clock Sync Mode  =  FREQ
    Clock Server Description  =  NULL
```

Figura 25. Resultados para comando LST IPCLKLINK

Después de esto, con la información de direccionamiento IP de los nuevos servidores de IPclock, se procede a añadir esta información a la tabla de enrutamiento IP del dispositivo con los siguientes comandos:

ADD IPRT (Add IP route): Con este comando se agregaba un nueva dirección de enrutamiento. Este comando recibe como entrada el número del slot, la dirección IP de destino, la máscara y la dirección IP de siguiente salto.

LST IPRT (List IP route): Una vez agregado el enrutamiento, se debe observar si se realizó el cambio satisfactoriamente, por eso con este comando que nos permite ver la tabla de enrutamiento, confirmamos estos cambios.



```
LST IPRT:;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 22:49:09
O&M    #18956
%%/*1883981368*/LST IPRT:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

List IP Route Configuration Data
--------------------------------
Route Index  Cabinet No.  Subrack No.  Slot No.  Subboard Type  Port Type  Port No.  Route Type  VRF Index  Destination IP  Mask            Next Hop IP     Peer IP  MTU Switch  Maximum Tran
0            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.119.[redacted]  255.255.255.255  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
1            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.119.[redacted]  255.255.255.252  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
2            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.112.[redacted]  255.255.255.255  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
3            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.112.[redacted]  255.255.255.255  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
4            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.110.[redacted]  255.255.224.0    10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
5            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.104.[redacted]  255.255.192.0    10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
6            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.119.[redacted]  255.255.255.252  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
7            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.112.[redacted]  255.255.255.255  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
8            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.105.[redacted]  255.255.0.0      10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
9            0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.110.[redacted]  255.255.248.0    10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
10           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.93.[redacted]   255.255.255.255  10.99.[redacted]   NULL     Off         NULL
11           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.92.[redacted]   255.255.255.255  10.99.[redacted]   NULL     Off         NULL
12           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.111.[redacted]  255.255.128.0    10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
21           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.119.[redacted]  255.255.255.252  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
26           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.119.[redacted]  255.255.255.252  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
50           0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.89.[redacted]   255.255.255.128  10.110.[redacted]  NULL     Off         NULL
100          0            0            7         Base Board     NULL       NULL      Next Hop    0          10.88.[redacted]   255.255.255.255  10.78.[redacted]   NULL     Off         NULL
(Number of results = 17)
```

Figura 26. Tabla de enrutamiento del dispositivo con comando LST IPRT

Una vez añadido el enrutamiento a las direcciones IP de los nuevos servidores de reloj se procede a eliminar los enlaces IPclock actuales y a añadir los nuevos. Esta acción se realiza inicialmente en el enlace principal (Link No = 0) y luego al enlace de backup (Link No =1). Así que para el enlace principal, se usaron los siguientes comandos:

RMV IPCLKLINK (Remove IPclock Link): Este comando se usa para eliminar un enlace de reloj. Tiene como entrada el número del enlace que se va a remover, en este caso, por ser el principal, es el número 0.

```
RMV IPCLKLINK:LN=0;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 23:14:43
O&M    #19018
%%/*1883981418*/RMV IPCLKLINK:LN=0;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.
```

Figura 27. Comando RMV IPCLKLINK para eliminar el enlace de reloj

DSP IPCLKLINK (Display IPclock Link): Usamos este comando para confirmar que la acción de eliminar fue satisfactoria ya que este comando nos despliega el estado de los enlaces de reloj existentes.

```
DSP IPCLKLINK:;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 23:15:26
O&M    #18996
%%/*1883981402*/DSP IPCLKLINK:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

Display IP Clock Link State
---------------------------
                Link No.  =  1
    Link Available State  =  Available
       Link Active State  =  Activated
Clock Server Description  =  NULL
(Number of results = 1)
```

Figura 28. Comando DSP IPCLKLINK para ver el estado de los enlaces de reloj

ADD IPCLKLINK (Add IPclock Link): Una vez se confirma que se eliminó el enlace, se procede a añadir el nuevo enlace con este comando. Tiene como parámetros de entrada el número del slot de la BBU asociado al sincronismo, versión de IP, dirección del cliente del reloj, la dirección IP del servidor de reloj, el tipo de IPclock, entre otros.

```
ADD IPCLKLINK:LN=0,ICPT=PTP,SN=7,CNM=UNICAST,IPMODE=IPV4,CIP="10.110.[redacted]",SIP="10.119.[redacted]",DELAYTYPE=E2E,PROFILETYPE=1588V2;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 23:13:40
O&M    #19005
%%/*1883981408*/ADD IPCLKLINK:LN=0,ICPT=PTP,SN=7,CNM=UNICAST,IPMODE=IPV4,CIP="10.110.[redacted]",SIP="10.119[redacted]",DELAYTYPE=E2E,PROFILETYPE=1588V2;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.
```

Figura 29. Adición de un enlace de reloj mediante el comando ADD IPCLKLINK

Después realizamos estas mismas acciones para el enlace de backup y una vez finalizado confirmamos con el comando *DSP IPCLKLINK* que se hayan añadido correctamente los dos enlaces de reloj.

```
DSP IPCLKLINK:;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 23:24:40
O&M    #19050
%%/*1883981454*/DSP IPCLKLINK:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

Display IP Clock Link State
---------------------------
                Link No.  =  0
    Link Available State  =  Available
       Link Active State  =  Activated
Clock Server Description  =  NULL

                Link No.  =  1
    Link Available State  =  Available
       Link Active State  =  Deactivated
Clock Server Description  =  NULL
(Number of results = 2)
```

Figura 30. Resultado comando DSP IPCLKLINK después de añadir el nuevo enlace de reloj

Como se observa en la figura, para la configuración “dual reference-clock backup”, se deja el enlace de backup desactivado, esto para que únicamente se active en caso de una falla del enlace principal.

Después de esto confirmamos que la configuración de direccionamiento ingresada para cada uno de los enlaces sea la correcta con el comando *LST IPCLKLINK*.

```
LST IPCLKLINK:;
MLD_TMED_550197_SR
+++    MLD_TMED_550197_SR        2022-09-21 23:25:09
O&M    #19052
%%/*1883981458*/LST IPCLKLINK:;%%
RETCODE = 0  Operation succeeded.

List IP Clock Link Configuration
--------------------------------
                    Link No.  =  0
                Protocol Type  =  PTP
                  Device Type  =  OC_SLAVE
                  Cabinet No.  =  0
                  Subrack No.  =  0
                     Slot No.  =  7
               Clock Net Mode  =  Unicast
                 Profile Type  =  1588V2
                      IP mode  =  IPv4
                  Client IPv4  =  10.110.[redacted]
                    VRF Index  =  0
                  Server IPv4  =  10.119.[redacted]
                       Domain  =  0
Phase Deviation Report Switch  =  OFF
             Compensation(ns)  =  0
                   Delay Type  =  E2E
                     Priority  =  4
          IP Clock Sync Mode  =  FREQ
     Clock Server Description  =  NULL

                    Link No.  =  1
                Protocol Type  =  PTP
                  Device Type  =  OC_SLAVE
                  Cabinet No.  =  0
                  Subrack No.  =  0
                     Slot No.  =  7
               Clock Net Mode  =  Unicast
                 Profile Type  =  1588V2
                      IP mode  =  IPv4
                  Client IPv4  =  10.110.[redacted]
                    VRF Index  =  0
                  Server IPv4  =  10.119.[redacted]
                       Domain  =  0
Phase Deviation Report Switch  =  OFF
             Compensation(ns)  =  0
                   Delay Type  =  E2E
                     Priority  =  4
```

Figura 31. Configuración final de enlaces de reloj para TMED_550197

Finalizada la configuración, es necesario confirmar que se haya establecido el enlace con los servidores de reloj, para esto, se valida que exista flujo ICMP con una prueba ping entre la estación base y la dirección IP del servidor de reloj.

```
PING:SN=7,SRCIP="10.110.[redacted]",DSTIP="10.119.[redacted]",CONTPING=DISABLE,APPTIF=NO;
MLD_TMED_550197_SR

PING 10.119.[redacted] : 32  data bytes
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=1 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=2 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=3 ttl=62 time=3 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=4 ttl=62 time=2 ms
--- 10.119.[redacted] ping statistics ---
4 packet(s) transmitted
4 packet(s) received
Percent 0.00 packet lost
round-trip min/avg/max = 2/2/3 ms
Packet(s) transmitted from port type = ETHPORT, port number = 1.
13 reports in total
---    END
```

Figura 32. PING para comprobar que se establece enlace con los servidores de reloj.

Una vez lista y puesta en funcionamiento la configuración para la estación *TMED_550197,* se realiza el mismo proceso anteriormente descrito en la estación *TMED_550040* para cambiar los enlaces a los nuevos servidores de reloj.

Para concluir con la prueba de sincronismo, al siguiente día, se realiza una prueba de ping extendido que nos permite diagnosticar el estado del enlace y ver si existe alguna pérdida de paquetes. Para esto, se hace un ping con 100 paquetes y se analizan las estadísticas. Además de esto, se inicia con un monitoreo por medio del sistema de gestión y mantenimiento en busca de cualquier alarma que se pueda presentar por temas de sincronismo.

```
PING TEST 550197
PING:SN=7,SRCIP="10.110.[redacted]",DSTIP="10.119.[redacted]",CONTPING=DISABLE,NUM=100,APPTIF=NO;
MLD_TMED_550197_SR

PING 10.119.[redacted] : 32  data bytes
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=1 ttl=62 time=3 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=2 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=3 ttl=62 time=1 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=4 ttl=62 time=1 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=5 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=6 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=7 ttl=62 time=1 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=8 ttl=62 time=3 ms
```

Figura 33. Prueba de PING extendido para diagnosticar el estado del enlace.

```
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=91 ttl=62 time=3 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=92 ttl=62 time=1 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=93 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=94 ttl=62 time=3 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=95 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=96 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=97 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=98 ttl=62 time=2 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=99 ttl=62 time=3 ms
Reply from 10.119.[redacted] bytes=32 Sequence=100 ttl=62 time=1 ms
--- 10.119.[redacted] ping statistics ---
100 packet(s) transmitted
100 packet(s) received
Percent 0.00 packet lost
round-trip min/avg/max = 1/2/20 ms
Packet(s) transmitted from port type = ETHPORT, port number = 1.
109 reports in total
---    END
```

Figura 34. Resultados y estadísticas para la prueba de PING extendido

7.4 Elaboración de los LLD para los escenarios propuestos.

Una vez evaluados por parte del área de RF cada uno de los esquemas LLD que caracterizan el estado tecnológico actual de las 204 estaciones base, este área procedió a enviar una BOQ (Bill of Quantities), en donde se establecen los equipos necesarios en cada uno de los escenarios de configuración presentes en el proyecto. Con este documento se procede analizar las características de los equipos elegidos para realizar la propuesta de modernización en las estaciones base.

Scenario Summary

Scope	Scenario	PhaseID	PhaseName	Quantity
New	SWAP151-3x2G 850 3x3G 1900 2P 3x4G 850 10MHz 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP153-3x2G 850 3x3G 1900 2P 3x4G 850 10MHz 3x4G 1900 5MHz 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP158-3x2G 850 3x3G 850 1P 1x3G 1900 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP16-1x3G 1900 1P 3x4G 850 5MHz 4x4G 1900 10MHz 4x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP163-3x2G 850 3x3G 850 1P 2x3G 1900 1P 3x4G 850 5MHz 3x4G 1900 10MHz 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP168-3x2G 850 3x3G 850 1P 3x3G 1900 1P 3x4G 1900 10MHz 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP17-1x3G 1900 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP171-3x2G 850 3x3G 850 1P 3x3G 1900 1P 3x4G 850 5MHz 3x4G 1900 10MHz 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP174-3x2G 850 3x3G 850 1P 3x3G 1900 1P 3x4G 850 5MHz 4x4G 1900 10MHz 4x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1
	SWAP189-3x2G 850 3x3G 850 1P 3x4G AWS 2P	Phase1	Phase	1

Figura 35. Resumen parcial de los escenarios presentes en las estaciones del proyecto

SWAP151-3x2G 850 3x3G 1900 2P 3x4G 850 10MHz 3x4G AWS 2P		Qty.
Hardware		
Main Equipment		
WD2M0BBU5900	BBU5900 Box	1
WD2DUMPTGA21	Universal Main Processing & Transmission Unit (2 Electrical FE/GE&2 Optical GE/XGE,UMPTga2)	1
WD2DUBBPG1A0	Universal Baseband Processing Unit g1a	2
WD5M855904LA	RRU5904w for Multi-Mode 850MHz(4*60W)	2
WD5MAP550200	RRU5502 for Multi-mode AWS+PCS (4*80W)	3
WD2EDCDU16D2	DC Power Distribution Unit DCDU16D-02	1
TD1MDCDU12B0	DC Power Distribution Unit	1

Figura 36. BOQ para escenario “SWAP151”

Es necesario precisar que un escenario se refiere a la configuración de servicio del sitio y vienen denominados de la siguiente forma:

SWAPXXX-”CONFIGURACION DEL SITIO”

Para explicar un poco mejor que representa estos escenarios se toma como ejemplo el primer escenario presentado en la figura 35, donde:

“SWAP151” : Es el nombre del escenario.

La configuración del sitio se especifica como:

3X2G 850: Se tiene 3 sectores con tecnología 2G operando en la banda de 850MHz.

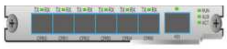
3X3G 1900 2P: Se tiene 2 puertos asignados a 3 sectores con tecnología 3G operando en la banda de 1900MHz.

3X4G 850 10MHz: Se tiene 3 sectores con tecnología 4G operando en la banda de 850MHz, la cual tiene un ancho de banda de 10MHz.

3X4G AWS 2P: Se tiene 2 puertos asignados a 3 sectores con tecnología 4G operando en la banda AWS (2100MHz).

Con esto claro, se procede analizar las características de los equipos elegidos para realizar la propuesta de modernización en las estaciones base. Después de esto, se pone la información relevante para el cliente en una tabla que permita darle un vistazo a sus características más relevantes.

High Capacity Multi-mode BBU

Board	Appearance	Key Specification
BBU5900		Full Configuration: 2*MPT+6*BBP
UMPTga2		
UBBPg1a		Modes: UL co-BBP/LM co-BBP/UM co-BBP/LTco-BBP/ULM co-BBP/TM co-BBP/LTMco-BBP WCDMA: 6 cells; 4T4R
UBBPg2		Modes: UL co-BBP/UM co-BBP/LM co-BBP/LTco-BBP/TM co-BBP/ULM co-BBP/LTMco-BBP/LN (FDD) co-BBP/LMN (FDD) co-BBP WCDMA: 6 cells; 4T4R

Note: "G" is short for GSM, "U" for UMTS, "L" for LTE FDD, "T" for LTE TDD, "M" for LTE NB-IoT,and "N" for NR. In addition, "N(FDD)" is short for NR FDD and "N(TDD)" is short for NRTDD

Figura 37. Características de BBU 5900 y tarjetas elegidas en el proyecto.

Environmental Friendly Blade RRU

Band	AWS	AWS&1900MHz	850MHz	1900MHz
Module	RRU5901	RRU5502	RRU5904w	RRU5904w
Appearance				
Power	4*40W	4*80W	4*60W	4*60W
Instantaneous BW	45MHz	40MHz	45MHz	45MHz
Weight/Volume	15Kg/12L	25Kg/24L	22Kg/18L	22Kg/18L
TR No.	4T4R	4T4R	4T4R	4T4R

Figura 38. Características para RRUs usadas en el proyecto.

Después de su correspondiente análisis, se procede a iniciar con la elaboración de los diagramas LLD con las configuraciones proyectadas para cada sitio.

A partir de la BOQ y del entendimiento de las características de cada una de los equipos, se establecen las conexiones de cada uno de los elementos de RF, a que sector darán servicio, la RAT de funcionamiento, banda de transmisión, los slots de la BBU en los que se deben instalar cada una de las tarjetas de funcionamiento, los puertos de la UBBP que se van a usar y en qué configuración se usarán, UL (UMTS and LTE), GUL (GSM, UMTS and LTE), UO (UMTS Only) o LO (LTE Only).

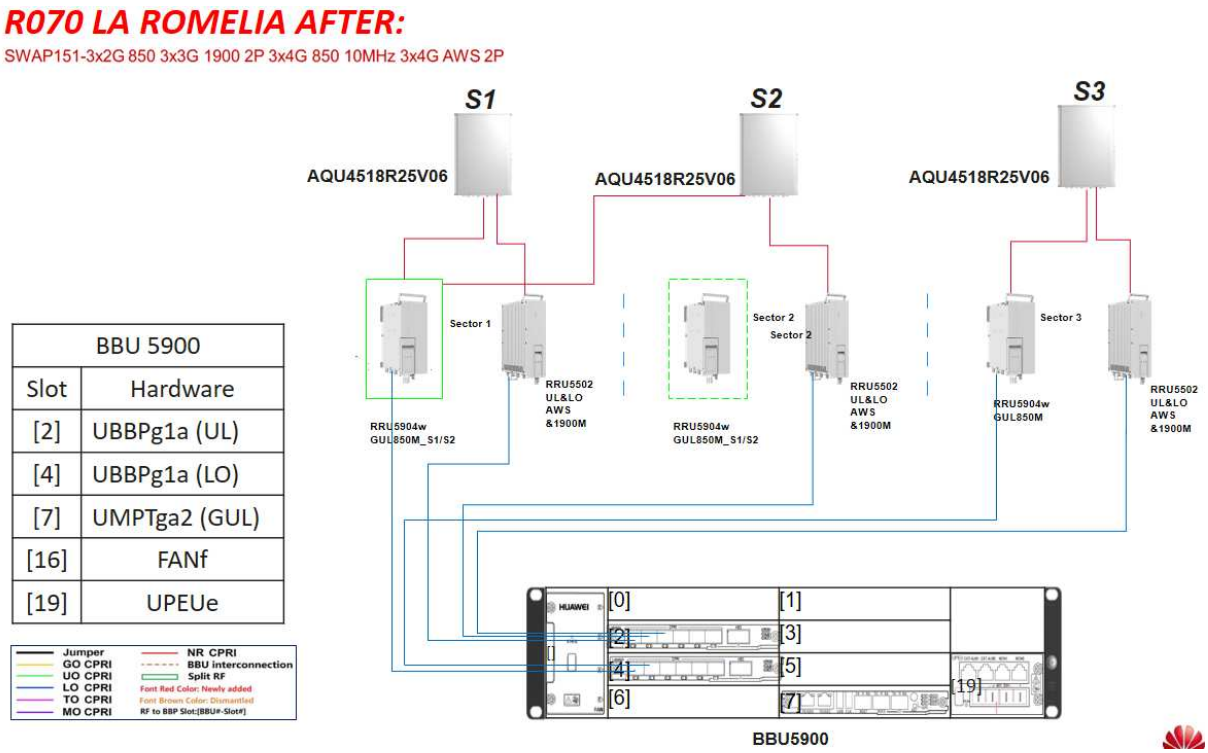


Figura 39. Diagrama LLD con los equipos proyectados para R070-LA ROMELIA

Adicional a este diagrama LLD, se realiza un segundo esquema, en el cual se detalla a forma de guía para los técnicos de instalación en cada una de las estaciones, las conexiones explícitas y los puertos de las antenas a los cuales se deberán conectar.

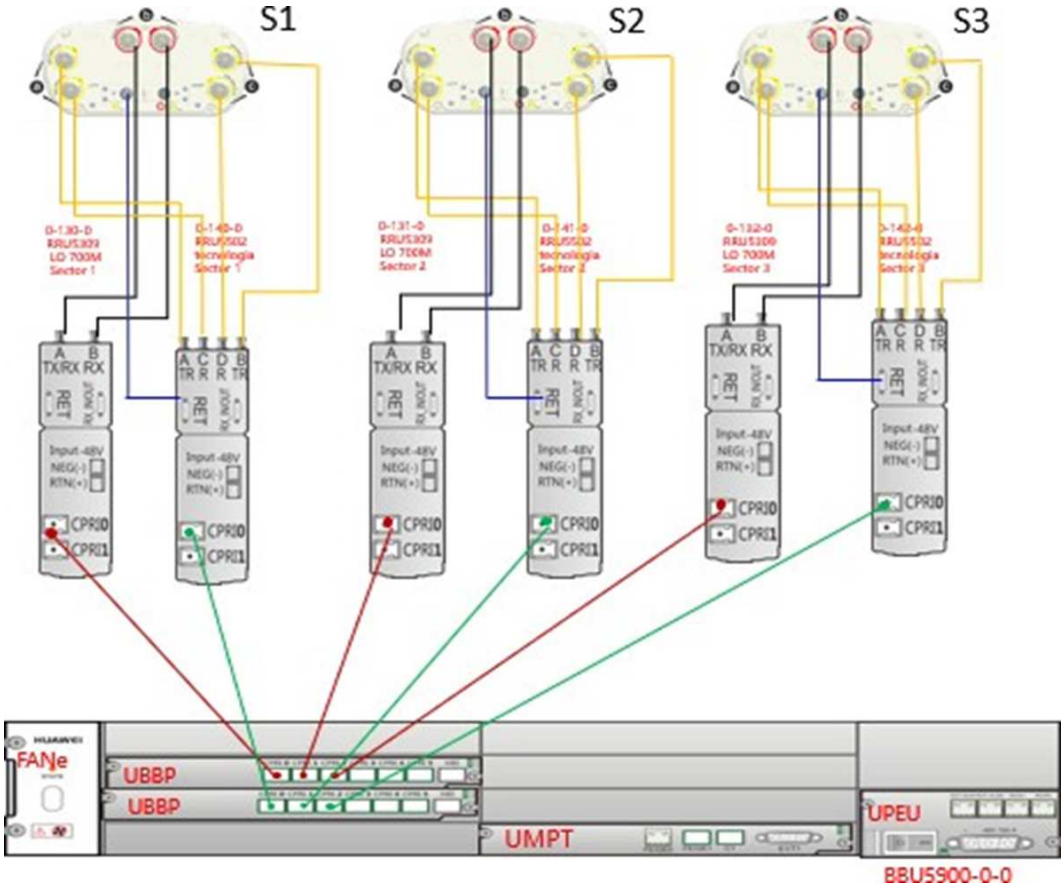


Figura 40. Diagrama guia para instalación en estacion base

Una vez finalizados estos documentos para cada uno de los 204 sitios proyectados en esta actualización de equipos, se procede a agendar una reunión con los encargados del proyecto por parte de Movistar, en la cual se expone la propuesta realizada en cada una de las estaciones base para ser sometida a aprobación, la cual fue recibida satisfactoriamente.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

Huawei Technologies es una empresa reconocida a nivel mundial por su tecnología y su compromiso en generar valor en cada uno de sus proyectos. Por esta razón, cada una de las etapas de sus proyectos son de gran importancia para la compañía y deben llevarse a cabo con la mayor calidad y eficiencia. En particular, durante esta pasantía, el objetivo era ampliar la cartera de equipos tecnológicos de radio base de Huawei distribuidos en Colombia para el operador móvil Movistar. Esto implicaba actualizar las estaciones base que contaban con equipos de la marca Ericsson.

Como parte de las etapas de levantamiento, caracterización, propuesta y preparación, en las cuales se enfocan las actividades desarrolladas durante esta pasantía, se generó una presentación con los diagramas LLD de los 204 sitios del proyecto, los cuales cuentan con la información de caracterización del estado tecnológico, identificación y configuración de distintos equipos de RF presentes en las estaciones base.

Esta información fue dada a el área de RF, la cual a partir de este documento, pudo evaluar cada uno de los escenarios para formular una propuesta de modernización de equipos que permitan seguir dando servicio de telefonía móvil a Movistar en condiciones óptimas y con las configuraciones de transmisión, cobertura y uso del espectro establecidas, pero que a su vez, le permitan dar una mayor calidad y facilidad de expandir los servicios ofrecidos.

Una vez el área de RF tiene esta propuesta de equipos por escenario, se procede a generar el documento con los diagramas LLD para cada uno de los 204 sitios con la infraestructura proyectada de equipos Huawei. Del mismo modo que con los LLD anteriores, estos diagramas cuentan con la información de la configuración de los equipos de RF, especificación de referencias y conexiones de cada uno de las tarjetas de funcionamiento y una guía gráfica para técnicos con los puertos explícitos para cada conexión al momento de la instalación en sitio. Con estos documentos se hizo la presentación de la propuesta a los encargados del proyecto por parte de Movistar.

Finalmente se entregó un informe con el procedimiento y los comandos que se ejecutaron en el sistema de gestión y mantenimiento para hacer el cambio de los servidores de reloj IP de sincronismo IEEE1588V2 en dos estaciones base del eje cafetero. Complementario a esto, se realizó un informe con la prueba de ping extendido para diagnosticar el estado del enlace, comentarios y recomendaciones de observaciones realizadas durante las actividades de monitoreo posteriores a estos cambios de servidores de IP clock. Esto con el fin de evaluar la estabilidad del enlace con estos servidores, ya que una vez se desplieguen los nuevos equipos Huawei, estos dispositivos deberán apuntar a estos servidores para el sincronismo de la red.

9. EVALUACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

A continuación se procederá a evaluar el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos para este proyecto de pasantía:

Objetivo específico 1. *Caracterizar cada uno de los escenarios actuales de las estaciones base y realizar los esquemas de diseño de bajo nivel (LLD por sus siglas en inglés) con la documentación suministrada por los ingenieros en sitio.*

Como se pudo observar en la sección 7.2 de este documento, este objetivo se cumplió a cabalidad presentando como referencia uno de los 204 sitios realizados en la figura 20, correspondiente al sitio "R070- LA ROMELIA".

Objetivo específico 2. *Evaluar las antenas que se pueden reutilizar con base en la información obtenida por los ingenieros en sitio, número de puertos disponibles y bandas de funcionamiento.*
El desarrollo de este objetivo se dio también en la sección 7.2 del documento, donde se especificó que al momento de sintetizar la información obtenida por los ingenieros en sitio, era necesario evaluar la reutilización de las antenas presentes y el resultado de dicha evaluación se puede ver en la información de la figura 21.

Objetivo específico 3. *Realizar los esquemas LLD con los escenarios propuestos al cliente en el diseño para cada una de las estaciones base con el número y los equipos necesarios para el despliegue.*
El cumplimiento de este objetivo se especifica en la sección 7.4 de este documento, donde se explica el proceso para la realización de estos diagramas y dando como referencia en la figura 39 el documento generado para el sitio "R070- LA ROMELIA", uno de los 204 que se realizaron para cada estación base.

Objetivo específico 4. *Analizar cada una de las capacidades de los equipos y tarjetas escogidas en el diseño para cumplir con los requerimientos de funcionamiento de cada estación base.*
En la sección 7.4 del documento se especifica que una vez recibida la BOQ con los equipos proyectados en cada estación base, se procedió a analizar las características de estos equipos y las características más relevantes para el cliente se sintetizaron en los cuadros presentados en las figuras 37 y 38, por lo que este objetivo fue cumplido satisfactoriamente.

Objetivo especifico 5. *Realizar pruebas de sincronismo de reloj entre las distintas estaciones base y las fuentes de Ipclock IEEE1588V2 para comprobar su correcto funcionamiento.*
Este objetivo y su cumplimiento se desarrolla en la sección 7.3 de este documento, en el cual se muestra el proceso necesario, junto con los comandos usados para crear los enlaces que apunten a los nuevos servidores de IPclock, los cuales darán la señal de sincronismo a los dispositivos de la estación base. Para esta prueba se realizó el proceso únicamente en dos estaciones, pero la red completa deberá apuntar a estos servidores en un futuro para garantizar el sincronismo de la misma.

10.CONCLUSIONES

La tecnología en telecomunicaciones móviles ha revolucionado la forma en que las personas viven y trabajan en la actualidad. Desde el entretenimiento hasta el ámbito laboral y educativo, los dispositivos móviles y la conectividad a internet en cualquier espacio son esenciales para realizar nuestras actividades cotidianas. La necesidad de una conexión estable y eficiente a internet es cada vez mayor, y es por eso que los proyectos de modernización y renovación tecnológica son necesarios para satisfacer esta creciente demanda.

Además, en términos económicos, estos proyectos de modernización y actualización permite que los proveedores de equipos de radiofrecuencia puedan ver un negocio no únicamente en el despliegue de nuevas estaciones base, sino también en brindar servicios de esta naturaleza, lo que da un segmento de mercado más amplio que permita seguir generando valor a la compañía, como en este caso particular, Huawei. Estos procesos de modernización y actualización de equipos también hace que los operadores móviles mejoren la calidad de sus servicios, lo que finalmente, le dará ventajas competitivas en el mercado, atrayendo más usuarios a usar sus servicios generando así que este tipo de proyectos sean rentables tanto para la empresa proveedora de los equipos como para el operador móvil contratante. En este sentido, el proyecto abordado en el documento representa una solución efectiva para las necesidades tanto económicas de Huawei, como para la calidad y eficiencia en los servicios de conectividad prestados por el operador Movistar a sus usuarios.

En el desarrollo de esta pasantía y de cada uno de sus objetivos, fue posible entender las etapas de planificación, caracterización y propuesta de diseño de un proyecto de las características descritas en el documento, permitiendo conocer así, cada uno de los procesos necesarios y su importancia para el correcto desarrollo del proyecto.

Además de esto, la pasantía permitió tener una experiencia práctica en el campo de las telecomunicaciones, lo que da una opción de comprender mejor cómo se aplican los conocimientos teóricos y las habilidades adquiridas en la etapa de formación universitaria a un entorno de trabajo real. Estas herramientas nos permitirán formar un criterio para aprender a identificar las necesidades y los requisitos actuales en el mundo laboral que conduzcan a adquirir nuevas habilidades y conocimientos prácticos en el ámbito profesional.

11. REFERENCIAS

[1]"La telecomunicación, un mundo lleno de beneficios". ISP Grup. https://www.ispgrup.cat/la-telecomunicacion-mundo-beneficios/#:~:text=La%20telecomunicación%20contribuye%20al%20desarrollo,vital%20para%20cualquier%20ámbito%20empresarial. (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[2]"Corporate Information - Huawei". huawei. https://www.huawei.com/en/corporate-information (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[3]"Huawei Carrier- A leading global ICT solutions provider". huawei. https://carrier.huawei.com/en/ (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[4]"SingleRAN". huawei. https://carrier.huawei.com/en/products/wireless-network/SingleRAN (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[5]"Autonomous Driving Mobile Network". huawei. https://carrier.huawei.com/en/products/wireless-network/mae (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[6]"Permisos para el uso del espectro radioeléctrico | Colombia Ágil". Inicio | Colombia Ágil. https://www.colombiaagil.gov.co/tramites/intervenciones/permisos-para-el-uso-del-espectro-radioelectrico#:~:text=El%20espectro%20radioeléctrico%20es%20la,por%20debajo%20de%203000%20GHz. (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[7]"Espectro radioeléctrico - MINTIC - Vive Digital". https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-19509.html (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[8]"RAT – Radio access technology". 5G Training and 5G Certification. https://www.5gworldpro.com/glossary/rat-radio-access-technology/ (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[9]"¿Qué es GSM y cómo funciona?" Universidad Internacional de Valencia. https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-gsm-y-como-funciona (accedido el 10 de noviembre de 2022).

[10]"GSM vs UMTS | difference between GSM and UMTS". RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. https://www.rfwireless-world.com/Terminology/GSM-vs-UMTS.html (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[11]"GSM Network Interfaces | Um,A,Asub,Abis,B,C,D,E,F,G interface". RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/gsm-network-interfaces.html (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[12]Colaboradores de los proyectos Wikipedia. "Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Universal_de_Telecomunicaciones_Móviles (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[13]"UMTS network architecture | RAN core-network UE | UMTS tutorial". RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-Network-Architecture.html (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[14]"LTE Architecture | LTE network architecture". RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LTE-network-architecture.html (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[15]"Full LTE architecture and components". YateBTS. https://yatebts.com/documentation/concepts/lte-concepts/#:~:text=A%20standard%20LTE%20system%20architecture,also%20known%20as%20an%20EPC. (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[16]Colaboradores de los proyectos Wikipedia. "Dúplex (telecomunicaciones) - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Dúplex_(telecomunicaciones)#:~:text=La%20duplexación%20por%20división%20de,múltiple%20por%20división%20de%20tiempo. (accedido el 19 de noviembre de 2022).

[17]"Estacion Base de telefonia Movil Una estación base o BTS". Silex System Telecom | Radiofrecuencia & Broadcast. https://silexst.com/estacion-base-de-telefonia-movil/#:~:text=Una%20estación%20base%20o%20BTS%20(Base%20Transceiver%20Station)%20es%20un,prestar%20el%20servicio%20de%20cobertura. (accedido el 20 de marzo de 2022).

[18]"Huawei BBU Boards Introduction - Huawei Enterprise Support Community". Huawei Enterprise Support Community. https://forum.huawei.com/enterprise/en/huawei-bbu-boards-introduction/thread/860567-100305 (accedido el 23 de abril de 2023).

[19]"UPEU/ board,BBU slot 18/19 - Huawei Enterprise Support Community". Huawei Enterprise Support Community. https://forum.huawei.com/enterprise/en/upeu-board-bbu-slot-18-19/thread/844117-100305 (accedido el 27 de abril de 2023).

[20]"Huawei UMPTB2 | Universal main processing & transmision unit | UMPTB2". www.batna24.com/en. https://www.batna24.com/en/p/huawei-umptb2-universal-main-processing-transmision-unit-rmngm (accedido el 27 de abril de 2023).

[21]Remote Radio Unit. (2017). Glosario. Avaliable: https://www.exfo.com/es/recursos/glosario/remote-radio-unit/.

[22]"What is the IPCLK of the eNodeB? - Huawei Enterprise Support Community". Huawei Enterprise Support Community. https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-is-the-ipclk-of-the-enodeb/thread/467797-100305 (accedido el 27 de abril de 2023).