



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**  
**Departamento de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones.**

**Tesis monográfica para optar al título de Ingeniero Electrónico.**

**Método para la realización de un Swap en una red 3G en la ciudad de León**

**Autores:**

Br. Sofía Del Rosario López García      2012-41299

Br. Luís Antonio Hernández Rocha      2012-41703

**Tutor:**

TeknL. Norman Vargas Chévez

Marzo 2021

Managua, Nicaragua



## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis primeramente a Dios, por haberme brindado la sabiduría necesaria para poder culminar con este trabajo monográfico.

También dedico esta tesis monográfica a mi madre, Maura García Hernández, por su apoyo incondicional durante todos estos años de estudio.

Así mismo a mi hija, Camila Valentina Mairena López, por ser mi principal motivación para seguir adelante.

Por último, dedico este trabajo a mis hermanos Leónidas López García y Hayda López García, por confiar en mí y apoyarme durante todo este proceso.

*Sofía López García*

A Dios principalmente, por haberme brindado la sabiduría necesaria para poder culminar con este trabajo monográfico.

A mis padres por todo el apoyo que me han dado para culminar mi carrera.

A mis hermanos por estar conmigo y apoyarme siempre.

*Luis Hernández Rocha*

## **Agradecimiento**

A nuestro tutor, TeknL. Norman Vargas Chevez, por su disposición, dedicación y orientación durante el desarrollo de este trabajo monográfico.

A nuestra Alma Mater, Universidad Nacional de Ingeniería, centro de prestigio donde hemos cursado la carrera de Ingeniería Electrónica.

A nuestros familiares, quienes nos han dado su apoyo, cariño y comprensión durante todos estos años. Gracias por impulsarnos a buscar la superación.

A nuestros amigos y compañeros, que de alguna manera nos han brindado su apoyo e ideas.

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Diagramas de esquemas de modulación: a) QPSK; b) 16QAM; c) 64QAM .....	8
<b>Figura 2.</b> Estructura y diagrama de propagación de una antena sectorial DBXLH-6565C-VTM .....	10
<b>Figura 3.</b> Arquitectura e interfaces de una red WCDMA .....	12
<b>Figura 4.</b> Terminal móvil (ME) y tarjeta de identificación de usuario (USIM) ..	12
<b>Figura 5.</b> Nodo B .....	13
<b>Figura 6.</b> Ericsson RBS 6201 Macro Multi Standard Base Station en un Nodo B .....	14
<b>Figura 7.</b> Descripción de partes de un gabinete 2106 Ericsson .....	15
<b>Figura 8.</b> Ericsson RBS 3106 – Celular .....	16
<b>Figura 9.</b> Descripción de partes del gabinete Ericsson RBS 3106 – Celular ...	17
<b>Figura 10.</b> Componentes de una RBS Ericsson PBC 05 .....	19
<b>Figura 11.</b> Red de acceso de radio terrestre .....	21
<b>Figura 12.</b> DBS3900 .....	22
<b>Figura 13.</b> Gabinete 9100 Base Station .....	22
<b>Figura 14.</b> Equipo 9412 eNodeB Compact .....	23
<b>Figura 15.</b> Enclosure 6150 20kW .....	23
<b>Figura 16.</b> Línea temporal de los pasos en el proceso del swap. ....	25
<b>Figura 17.</b> Flujograma de un SWAP. ....	27
<b>Figura 18.</b> Conexiones típicas de los equipos antes y después de swap. ....	29
<b>Figura 19.</b> Conexiones típicas de los equipos antes y después de swap. ....	29
<b>Figura 20.</b> Foto tomada de una caseta que contiene tecnología GSM. ....	41
<b>Figura 21.</b> Foto tomada del interior de una Caseta con tecnología GSM. ....	41
<b>Figura 22.</b> Ciclo de la red comunicaciones. ....	44
<b>Figura 23.</b> Equipos para un Drive Test. ....	46
<b>Figura 24.</b> Proceso de verificación de un Swap.....	47
<b>Figura 25.</b> Archivos generados por la aplicación .....	50
<b>Figura 26.</b> Archivo de medidas .....	50
<b>Figura 27.</b> Archivo de eventos .....	51
<b>Figura 28.</b> Ubicación de las Antenas en la ciudad de León. ....	52
<b>Figura 29.</b> Drive Test realizado en la ciudad de León (Vista Satelital).....	53
<b>Figura 30.</b> Drive Test realizado en la ciudad de León (GNet Look) .....	53
<b>Figura 31.</b> Nivel de señal dBm.....	54
<b>Figura 32.</b> Medición y datos mostrados por aplicación G-Netrack.....	55
<b>Figura 33.</b> Área con baja intensidad de señal.....	56
<b>Figura 34.</b> Representación de celdas vecinas. ....	58
<b>Figura 35.</b> Soft handover y hard handover. ....	60
<b>Figura 36.</b> Equipos de Seguridad. ....	61

<b>Figura 37.</b> Diagrama interior de cabina RBS 3106 .....	<b>62</b>
<b>Figura 38.</b> Foto del interior de una RBS 3106.....	<b>63</b>
<b>Figura 39.</b> Mounting kit de una antena. ....	<b>64</b>
<b>Figura 40.</b> Cambio de Tilt Eléctrico.....	<b>64</b>
<b>Figura 41.</b> Conexión Jumper.....	<b>66</b>
<b>Figura 42.</b> Disposición de equipos en OFB (Outdoor) .....	<b>67</b>
<b>Figura 43.</b> Unidad principal RBS6601 con DUG/DUL.....	<b>69</b>
<b>Figura 44.</b> Unidad principal RBS 6601 con DUW. ....	<b>70</b>
<b>Figura 45.</b> Empaque de BBU .....	<b>72</b>
<b>Figura 46.</b> Ejemplo de accesorios de sujeción para los equipos. ....	<b>72</b>
<b>Figura 47.</b> Montaje de cuellos en el Polo.....	<b>73</b>
<b>Figura 48.</b> Instalación de accesorios de sujeción en la OFB. ....	<b>73</b>
<b>Figura 49.</b> Sujeción del OFB al Polo.....	<b>74</b>
<b>Figura 50.</b> Componentes de una RRU.....	<b>74</b>
<b>Figura 51.</b> Montaje de instalaciones fijas.....	<b>75</b>
<b>Figura 52.</b> Asegurar la placa de montaje de la RRU.....	<b>75</b>
<b>Figura 53.</b> Placa de fijación en el módulo RRU .....	<b>76</b>
<b>Figura 54.</b> Ejemplo de conexión Tera Term.....	<b>77</b>
<b>Figura 55.</b> Comando en Tera Term para establecer IP de comunicación con el ordenador. ....	<b>78</b>
<b>Figura 56.</b> Configuración en el ordenador para la conexión con el terminal. ...	<b>79</b>
<b>Figura 57.</b> Mensaje de confirmación de paquetes cargados en Tera Term.....	<b>79</b>
<b>Figura 58.</b> Carga de Licencia de operación.....	<b>80</b>
<b>Figura 59.</b> Ventana de Element Manager para carga de scripts en RBS. ....	<b>80</b>
<b>Figura 60.</b> Ventana de selección de scripts a cargar. ....	<b>81</b>
<b>Figura 61.</b> Drive Test Post-Swap. Fuente Gnet Look .....	<b>82</b>
<b>Figura 62.</b> Área con baja intensidad de señal (Medición Pre Swap).....	<b>82</b>
<b>Figura 63.</b> Área con mejor intensidad de señal posterior al Swap.....	<b>83</b>
<b>Figura 64.</b> Estado de contadores para el RRC_SR. ....	<b>86</b>
<b>Figura 65.</b> Estado de Contadores para la ERAB. ....	<b>87</b>
<b>Figura 66.</b> Mediciones Pre-Swap (izquierda) - Mediciones Post-Swap para Accesibilidad (derecha).....	<b>89</b>
<b>Figura 67.</b> Porcentaje de intensidad de la Señal. ....	<b>90</b>
<b>Figura 68.</b> Eventos durante mediciones de Accesibilidad ( Vista Google Earth ) .....	<b>92</b>
<b>Figura 69.</b> Eventos durante mediciones Retenibilidad ( Vista Google Earth ) .....	<b>94</b>
<b>Figura 70.</b> Eventos durante mediciones throughput (Vista Google Earth) .....	<b>97</b>
<b>Figura 71.</b> Handover intra-frequency e intra-eNB. ....	<b>98</b>
<b>Figura 72.</b> Escenario 1 para handover Intra-Frequency e Intra-Enb.....	<b>98</b>
<b>Figura 73.</b> Escenario 2 para handover intra-Frequency e Intra-eNB. ....	<b>99</b>
<b>Figura 74.</b> Estado de contadores E-RAT Handover Out Success Rate.....	<b>100</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Comparación entre hardware de distintos fabricantes. ....	<b>44</b>
<b>Tabla 2.</b> Conexión Antena - RRU.....	<b>66</b>
<b>Tabla 3.</b> Disipación de calor dependiendo configuración.....	<b>69</b>
<b>Tabla 4.</b> RRU 22. ....	<b>70</b>
<b>Tabla 5.</b> RRU W .....	<b>70</b>
<b>Tabla 6.</b> RRU 01 .....	<b>71</b>
<b>Tabla 7.</b> RRU 11 .....	<b>71</b>
<b>Tabla 8.</b> RRU 61 .....	<b>71</b>
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de los KPI's en 3G y LTE. ....	<b>84</b>
<b>Tabla 10.</b> Análisis de Histograma RxLev. ....	<b>90</b>
<b>Tabla 11.</b> Lista de llamadas cortas con intensidad de señal medida. ....	<b>91</b>
<b>Tabla 12.</b> Conteo de Eventos durante mediciones de Accesibilidad.....	<b>92</b>
<b>Tabla 13.</b> Conteo de eventos durante la medición de datos Pre Swap.....	<b>93</b>
<b>Tabla 14.</b> Conteo de eventos durante la medición de datos Post Swap.....	<b>94</b>
<b>Tabla 15.</b> Datos de mediciones Previo y Posterior al Swap.....	<b>96</b>
<b>Tabla 17.</b> Conteo de eventos durante mediciones de datos. ....	<b>96</b>
<b>Tabla 16.</b> Análisis de Histograma RxLev en mediciones de datos.....	<b>96</b>

## Índice de Contenido

<b>Capítulo I: Fundamentos Teóricos De Telefonía Móvil</b> .....	<b>1</b>
1. <b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
2. <b>Antecedentes</b> .....	<b>2</b>
3. <b>Justificación</b> .....	<b>3</b>
4. <b>Planteamiento del Problema</b> .....	<b>4</b>
5. <b>Objetivos</b> .....	<b>5</b>
OBJETIVO GENERAL .....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
6. <b>Diseño Metodológico</b> .....	<b>6</b>
7. <b>Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
<b>Capítulo II: Método Para la realización de un Swap en una red 3G</b> .....	<b>25</b>
1. <b>Introducción</b> .....	<b>25</b>
2. <b>Swap.</b> .....	<b>25</b>
3. <b>Tareas Pre-Swap</b> .....	<b>27</b>
4. <b>Visita del sitio y levantamiento de datos</b> .....	<b>28</b>
5. <b>Levantamiento de información del sitio.</b> .....	<b>30</b>
6. <b>Identificación del tipo de Swap que se va a realizar.</b> .....	<b>40</b>
7. <b>Razones por las que se realiza un swap en un sitio pero que mantenga la misma tecnología de tercera generación (3G).</b> .....	<b>42</b>
<b>Capítulo III: Medición y evaluación de parámetros lógicos durante el Swap</b> .....	<b>46</b>
1. <b>Mediciones de campo (Drive Test)</b> .....	<b>46</b>
2. <b>Drive Test Pre-Swap</b> .....	<b>48</b>
3. <b>Equipos utilizados para el Drive Test</b> .....	<b>48</b>
4. <b>Diseño de radio.</b> .....	<b>56</b>
<b>Capítulo IV: Tareas durante el Swap.</b> .....	<b>61</b>
1. <b>Confirmar en sitio los equipos instalados y mencionados en el levantamiento de sitio.</b> .....	<b>61</b>
2. <b>Armado de antenas</b> .....	<b>64</b>
3. <b>Modificar parámetro de Tilt Mecánico y Azimut de las antenas.</b> .....	<b>65</b>

4. Instalación de nuevo hardware con su gabinete y propuesta de nuevo equipo a instalar. -----	67
5. Recomendaciones para desembalaje de los equipos.-----	71
6. Carga de Scripts para Initial Tuning-----	76
Capítulo V: Evolución de la red posterior al proceso de Swap.-----	81
1. Drive Test Post-Swap.-----	81
2. Indicadores de desempeño en la red celular.-----	84
3. Accesibilidad -----	85
4. Retenibilidad-----	92
5. Desempeño o integridad del servicio -----	95
Capítulo Vi: Conclusiones.-----	101
Capítulo VII: Recomendaciones -----	103
CAPITULO VIII: Referencias -----	104



## Capítulo I: Fundamentos teóricos de Telefonía Móvil

### 1. Introducción

La modernización de las redes de telefonía celular es un proceso indispensable a realizar debido al crecimiento del tráfico de dato y voz. El desarrollo de nuevas tecnologías y las mejoras continuas de las actuales tecnologías a nivel de software, firmware y hardware con mayores capacidades son esenciales en este proceso de modernización.

La renovación de equipos por equipos de mayor capacidad a través de la realización de Swap es esencial en la actualización de las tecnologías existentes, para cumplir con los requerimientos de los usuarios de mejor throughput para la transmisión de grandes volúmenes de información a altas velocidades en las redes 3G, sin embargo, no existe trabajos de monografía orientado a la realización de swap para redes 3G en la UNI.

A pesar de la importancia del swap en las redes de telefonía celular existe un vacío de documentación, desde la perspectiva académica, de trabajos monográfico en la UNI orientados a la realización de Swap que instruya a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. El propósito del presente proyecto académico es abordar cada una de las etapas a seguir para la realización de un swap de la tecnología 3G en la ciudad de León.

## 2. Antecedentes

Mediante la revisión de literatura en el repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, no se encontraron trabajos documentales que antecedan directamente el objetivo de nuestro estudio. En cambio, se hallaron trabajos monográficos que abordan aspectos importantes relacionados con la descripción de las etapas de un SWAP.

Destacaremos algunos de estos trabajos, tales como:

- *“Diseño de una estación base para su integración en una red celular basada en tecnologías GSM/UMTS”* [2014], donde el objetivo es diseñar una estación base, con el fin de mejorar la capacidad de las redes existentes. Se describe los procedimientos en aspectos legales y técnicos. En lo legal aborda sobre los requerimientos que el operador debe cumplir para la instalación de una nueva estación base. En la parte técnica se explica el proceso de planificación de la red de radio y detalla las etapas para diseño y puesta en operación de la nueva estación base.
- *“Estudio técnico de la Tecnología IMS para la Implementación de Servicios Multimedia en Redes 3G”* [2013], en este documento se presenta de forma teórica los elementos y procedimiento para la planificación de una red 3G, además de describir el impacto que supone la implementación de una plataforma IMS para mejora de trasmisión de información multimedia. Se explica la arquitectura, componentes y características que se utilizan en este tipo de redes.
- *“Implementación de guías de laboratorio para realizar mediciones y análisis de eventos en la banda de 850 MHz de la tecnología WCDMA”* [2016], se explica la importancia de la creación de guías de laboratorio con fin de facilitar el proceso de enseñanza en el área de telecomunicaciones. Las guías de laboratorio se enfocan en la planificación, análisis y optimizaron de una red para mejorar su competitividad y rendimiento, todo mediante el uso de los softwares Netimizer y Actix.



### 3. Justificación

El desarrollo de las telecomunicaciones en Nicaragua, ha venido experimentando grandes cambios en los últimos años, aumentando las necesidades de los usuarios de comunicarse y estar conectados con el resto del mundo. Esto genera una problemática constante a los operadores de telefonía, dado que no podrían brindar un servicio que cumpla con la demanda del mercado.

Debido a este apresurado crecimiento tecnológico, los operadores se encuentran en un permanente proceso de optimización y modernización de sus tecnologías y de esta manera mejorar los servicios que ofrecen.

Como parte de las mejoras continua de servicio de los operadores se encuentra la realización de cambios de equipos con fines de ampliar capacidades y modernizar las redes de telefonía celular existentes. Es muy común que estos cambios en la red (Swap) en un ciclo en la red, pues la tecnología avanza de forma exponencial y cada día se desarrollan nuevos hardware con mayor capacidad y menor consumo de energía. Durante el SWAP se contemplan las etapas de medición de campo Pre-Swap, planificación, optimización y medición de campo Post-Swap.

La carencia de estudios realizados en nuestra Alma Mater acerca de este tema, nos motiva a llevar a cabo un trabajo documental donde se describe el proceso de modernización de la red de telefonía móvil. El presente trabajo monográfico se aborda desde un enfoque académico tiene como objetivo abordar cada una de las etapas para la realización de un swap. Desde la perspectiva académica en la UNI no hemos encontrado monografías que explique cada una de las etapas de un Swap, para el mejoramiento de redes celulares y así poder disponer de una fuente actualizada y completa para futuros estudios que deseen realizar los estudiantes de las carreras de electrónica y de telecomunicaciones. Complementando los conocimientos de los estudiantes de años terminales, logrando una mejor preparación para el campo laboral.



#### 4. Planteamiento del Problema

A pesar de la importancia de la realización de swap en las redes de telefonía celular existe un vacío de documentación desde la perspectiva académica sobre trabajos de monográfico en la UNI orientados a la realización de Swap en 3G que orienten a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. El propósito del presente proyecto académico es abordar cada una de las etapas a seguir para la realización de un swap con la tecnología 3G en la ciudad de León.

El despliegue de redes celulares implica la realización de distintas actividades como planificación, optimización, inicialización de sitios (ITR), Drive test, integración, ampliación de capacidades física las cuales han sido documentada a través de proyectos de culminación de estudio en la UNI sin embargo no hemos identificado trabajo de monografía en la UNI en la cual se describa y explique el proceso de realización de Swap en Nicaragua.

El propósito del presente trabajo de monografía es explicar y describir los procesos de cada una de las fases para la realización de un swap de una red celular 3G el cual se realiza con el objetivo de modernización y ampliación de las capacidades existentes y que regularmente conduce a mejores servicios a los clientes de la red 3G en Nicaragua.



## 5. Objetivos

### Objetivo General

- Proponer un método con fines académicos para la realización técnica de un swap en una red 3G desplegada en la ciudad de León

### Objetivos Específicos

- Proponer un formato para la realización de reporte de inspección de sitios para reportar información del sitio y las capacidades a nivel de hardware en el mismo para la realización de un Swap en una red 3G existente en la ciudad de León.
- Realizar propuesta técnica de hardware a nivel de nodo B para la realización del swap 3G
- Determinar los parámetros lógicos y valores a configurar a nivel de nodo B y RNC previo a la realización del swap para la inicialización de los sitios
- Definir e identificar los principales indicadores de desempeño a monitorear durante la realización del swap
- Presentar escenarios de mediciones de drive test de indicadores de desempeño como throughput, accesibilidad y retenibilidad previo y posterior al swap 3G.

## 6. Diseño Metodológico

El método que se utilizará en este proyecto es de tipo experimental dado que, consistirá en el análisis del desempeño de un cluster de (13 sitios) 3G de la empresa claro, ubicados en un área de alto tráfico de voz y datos de la ciudad de León. Así mismo también se propone realizar un diseño de la red existente con el fin de demostrar mediante simulación y predicciones el trabajo de mejora y optimización ejecutado durante un swap. De esta manera podremos proponer un método de trabajo para la realización de swap.

Para llevar a cabo los objetivos propuestos en este trabajo monográfico se realizarán las siguientes etapas:

Primera etapa: Se realizarán una ruta en los sitios de la ciudad de León, para la recolección de datos a través de Drive test (DT) con ayuda de la aplicación G-NetTrack Pro, con el objetivo de recolectar información para la planificación de la red con sus mejoras.

Segunda etapa: Los Logfiles generados por la aplicación G-NetTrack Pro serán cargados en la aplicación G-NetLook para luego ser importados en la herramienta de planificación.

Tercera etapa: Se evaluarán los datos obtenidos con el propósito de saber la calidad del servicio, analizando parámetros como: cobertura, accesibilidad, retención, velocidad de transmisión de subida y de bajada, cambio de celda, calidad de voz, etc.

Cuarta etapa: Se procederá de realizar las modificaciones propuestas en el software de planificación, para constatar la optimización en las predicciones de la red mejorada.

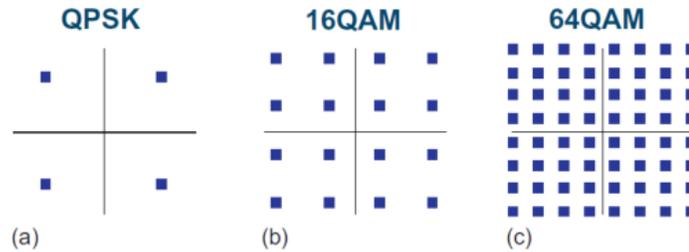
Etapa Final: Con los resultados obtenidos en el proceso de análisis y mejoras del cluster, se procederá a la redacción del documento que contenga la descripción detallada de un plan de trabajo para la realización de un swap.

## 7. Marco Teórico

**Swap:** Es el proceso de migración de tecnología, se ejecuta cuando ya existe una tecnología implantada con anterioridad y se pretende modernizar el equipo y/o mejorar la calidad del servicio prestado. Como en este tipo de obras lo que se cambia es el equipo hardware de la estación base por otro más moderno, pero manteniendo la tecnología de comunicaciones, se le suele denominar AUTOSWAP (si el equipo final es el mismo que el previo) o SWAP (si el equipo final es diferente que el previo). [1]

**Esquemas de modulación:** En sistemas de comunicación actuales, la señal analógica previa a ser transmitida es mapeada a una señal digital, y es hasta entonces que dicha señal es modulada por algún método de modulación según las características del sistema. Los esquemas de modulación usados en sistemas de comunicación inalámbricos en redes celulares de tercera generación son QPSK (Rel 99), 16-QAM (Rel 5) y 64-QAM (Rel 7). [2]

- **QPSK:** Es un esquema utilizado para el DL en los primeros diseños del estándar 3G de comunicaciones móviles (WCDMA y CDMA2000), el alfabeto de modulación consiste en cuatro señales alternativas diferentes, las cuales se ilustran como cuatro diferentes puntos en un plano bidimensional. Con esto, QPSK permite que se comuniquen hasta 2 bits de información durante cada intervalo de símbolo de modulación.
- **16QAM:** Se trata de una extensión del QPSK, en donde 16 señales alternativas diferentes están disponibles. El uso de 16QAM permite que hasta 4 bits de información se comunican por cada intervalo de símbolo.
- **64QAM:** Se da una mayor extensión donde 64 señales alternativas diferentes permiten que se comuniquen hasta 6 bits de información por intervalo de símbolo. Al mismo tiempo, el BW de la señal transmitida es, al menos en principio, independiente del tamaño del alfabeto de modulación y depende principalmente de la tasa de modulación — eso es, el número de símbolos de modulación por segundo. [3]



**Figura 1. Diagramas de esquemas de modulación: a) QPSK; b) 16QAM; c) 64QAM [3]**

**Relación de vecindades:** La configuración de vecindades que son celdas adyacentes es necesaria para que sepa que canales buscar cuando estemos en movimiento y necesitemos hacer un traspaso de llamada de una estación a otra (handover). [4]

Cada celda 2G, debe tener definidas vecinas tanto 2G-2G como 2G-3G, y de la misma forma, cada celda 3G debe tener definidas vecindades 3G-3G como 3G-2G, 3G-LTE y LTE – 3G. A las relaciones entre celdas con la misma frecuencia, las llamaremos vecinas intra-frequency. A las vecindades entre distintas frecuencias, las llamaremos vecinas inter-frequency. [5]

**Initial Tuning:** Es una técnica de optimización de redes celulares que comprenden pruebas de análisis, cambios físicos y lógicos necesarios para la puesta a punto de una estación celular nueva en una red enfocado en la consecución de los objetivos de diseño de la misma sin afectar el entorno de red y garantizando la mejor calidad al cliente de la operadora.

Entre los principales objetivos del proceso de IT están:

- Corregir problemas de instalación de hardware.
- Corregir problemas de parámetros sobresalientes en la integración de las nuevas estaciones celulares.
- Mejorar el diseño y la experiencia del usuario final. [6]

**Drive Test:** Es una parte esencial del proceso de optimización es la mejor forma de localizar y analizar un problema geográficamente. Es para probar el rendimiento a través de las calles con un coche, para tomar medidas. [7]

**Antenas:** Es el elemento final de una estación base, que tiene como función convertir la potencia RF (radiofrecuencia) e irradiar información en forma de ondas de radio. [8] [9]

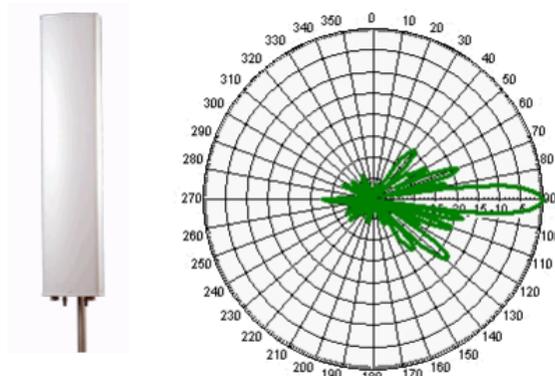
En Nicaragua, y otras partes del mundo, utilizan antenas sectoriales, estos por sus características combinadas (direccional- omnidireccional), logrando con estos una mayor manipulación del haz de radiación. [8]

Las antenas definen físicamente la celda, por eso su elección según sus características técnicas deberá satisfacer las necesidades del diseño. Los parámetros más importantes a tener en cuenta son:

- Ganancia
- Ancho horizontal y vertical
- Longitud, espacio disponible en la localización (torre o mástil) a ubicar
- Tecnologías soportadas [9]

**Antenas sectoriales:** Son antenas directivas pero la diferencia con los otros tipos de antenas es que éstas irradian principalmente en un área específica. El ancho de haz es mayor que en las antenas direccionales, variando entre los 60° y los 180° (Ver figura 2). También la ganancia de estas antenas suele ser menor y, por tanto, se utilizan para enlaces a distancias más cortas que las antenas directivas, teniendo una ganancia de aproximadamente 22 dB. [5]

**Configuración de antenas Multibandas:** son aquellas que disponen de arrays de antenas de múltiples bandas distintas. De este modo se puede utilizar una misma antena para radiar en bandas de frecuencias distintas y, por tanto, tecnologías diferentes. Son antenas muy utilizadas en entornos urbanos donde varios operadores comparten un mismo emplazamiento. [10]



**Figura 2. Estructura y diagrama de propagación de una antena sectorial DBXLH-6565C-VTM [11]**

**3G Tercera Generación:** 3G es la generación que se basa en la transmisión de voz y datos a través de la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), esta se presenta como la diferencia más notoria respecto a la red GSM. Además, otra característica que se ha incluido en la segunda versión de UMTS, es el cambio de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes. [5]

Esta nueva tecnología se impone ofreciendo mayores servicios como son: transferir tanto voz como datos en una misma comunicación (una llamada de teléfono o una videollamada) o bien de transferir datos y no voz (mails, mensajes instantáneos, descarga de datos...). [12]

**HSPA:** HSPA es una combinación de dos protocolos, el HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y el HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), desarrollados para ampliar y mejorar las redes 3G existentes utilizando el protocolo WCDMA. Es por tanto una mejora del estándar UMTS, empleada en las conexiones de Internet móvil. HSPA utiliza de forma más eficiente el espectro radioeléctrico que tienen asignados las operadoras, mejorando la velocidad y la latencia en la transferencia de datos. [12]

**HSDPA:** Tecnología considerada 3.5G que consiste en un nuevo canal compartido en el DL que mejora la capacidad de transferencia de datos y permite alcanzar velocidades teóricas en dicho canal de hasta 14Mbps (1.8, 3.6, 7.2 y 14

Mbps). HSDPA también disminuye la latencia (y por tanto el tiempo de ida y vuelta para la transmisión de información en las aplicaciones) e incrementa la eficiencia espectral, sus principales utilidades son el acceso a internet con mayor ancho de banda y un mayor uso de aplicaciones en tiempo real. [12]

**HSUPA:** Tecnología considerada como 3.75G o 3.5G Plus que permite alcanzar una velocidad en el canal ascendente de hasta 5.76Mbps. Se considera una evolución o complemento del HSDPA ya que usa un canal dedicado en el UL (el E-DCH, Enhanced Dedicated Channel).

La combinación de estas dos tecnologías abrió un amplio abanico de posibilidades en lo referente a servicios IP multimedia móvil. Sólo puede haber cobertura HSPA en zonas con 3G y aun así no todas las zonas con 3G soportan HSPA completo ya que a veces sólo soportan HSDPA. [12]

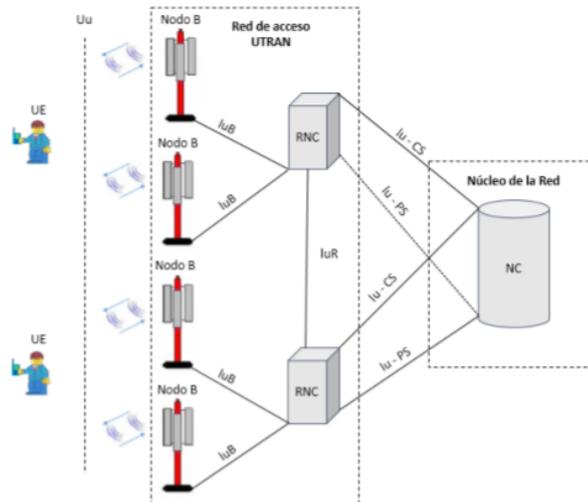
**HSPA+:** Evolución de HSPA, que puede conseguir velocidades de hasta 84 Mbps en DL y 22 Mbps en UL. Este aumento de velocidad lo consigue usando una modulación con más niveles, 64QAM, que permite transportar más información en el mismo ancho de banda y modular la señal con mayor precisión, además emplea la técnica de un arreglo de antenas conocida como MIMO, y con HSPA+ se da paso a la cuarta generación. [12] [13]

**Arquitectura 3G:** La red WCDMA se define en cuatro sistemas (Ver esquema de la figura 3): UE (User Equipment), Nodo B, RNC (Radio Network Controller) y NC (Core Network). [14]

### Interfaces en UMTS

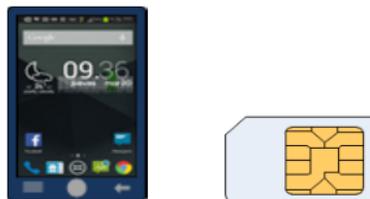
- **Interfaz Uu:** Es el interfaz de radio que se encuentra entre el UE y el Nodo B.
- **Interfaz Iub:** Interfaz entre los Nodos B y el RNC que permite el transporte de las tramas radio hasta el RNC.
- **Interfaz Iur:** Permite la ejecución de traspasos suaves. Proporciona funciones de macro diversidad.
- **Interfaz Iu – PS:** Se encuentra entre la RNC y la NC. Permite al transporte del Packet Switched.

- **Interfaz Iu – CS:** Se encuentra entre la RNC y la NC. Permite al transporte del Circuit Switched. [14]



**Figura 3. Arquitectura e interfaces de una red WCDMA [14]**

**UE (User Equipment):** Se compone del terminal móvil, ME (Mobile Equipment), y de la tarjeta de identificación del usuario llamada ahora USIM (Universal Subscriber Identity Module). [15]



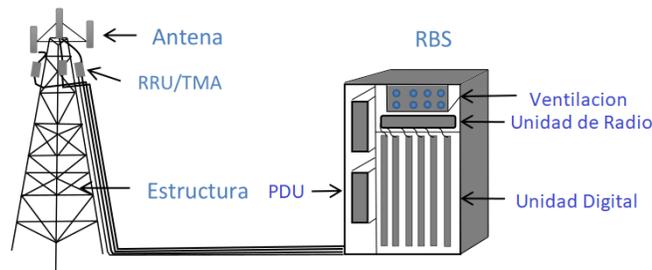
**Figura 4. Terminal móvil (ME) y tarjeta de identificación de usuario (USIM) [2]**

**UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network):** La red de acceso UTRAN se compone de varios elementos, una o más estaciones base llamados Nodos B, controladores de radio RNC (Radio Network Controller) y las interfaces de comunicaciones entre los diferentes elementos de la red UMTS. [7]

**Nodo B:** El nodo B es el componente que proporciona recursos de radio, codificación de canal, modulación y demodulación de señal de radio frecuencia, maneja la transmisión y recepción de radio hacia y desde la UE (User Equipment). [8]

Entre sus funciones esta:

- Amplificar
- Modular
- Interfaz a la red [14]



**Figura 5. Nodo B [16]**

### Hardware de un NodoB

Está compuesto por un sistema de soporte, unidad digital y unidades de radio, este sistema se muestra la figura 5.

**Sistema de soporte:** Proporciona el entorno mecánico para la parte digital y radio, contiene la fuente de alimentación y distribución, gestión de alarmas externas, y el control climático.

**Unidad digital:** Proporciona procesamiento de banda base, terminación de transmisión, interfaz de radio, y las funciones de control. [8]

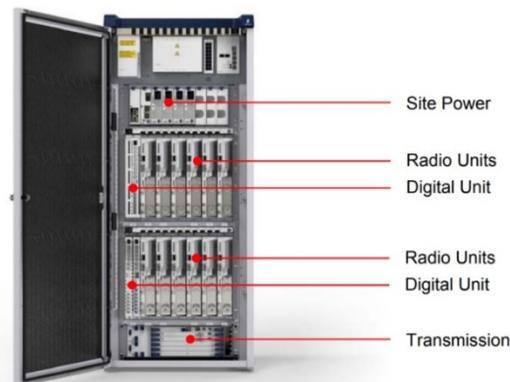
**DUW:** Esta unidad es la controladora del estándar WCDMA (UMTS). Proporciona conmutación, gestión de tráfico, temporización, procesado en banda base e interfaz radio. Tiene capacidad máxima de 768 channel elementos en el DL y 512 en el UL. [17]

**Unidad de radio:** El hardware de radio proporciona la modulación y demodulación de señales de banda base a varias bandas de Radio Frecuencia (RF). Las Unidades de Radio (RU) también son responsables de la amplificación de potencia y filtrado de RF. [8]

**Unidad de Banda Base (BBU):** Consiste en la unidad de procesamiento de banda base y la unidad de procesamiento de RF (RRU: Remote Radio Unit). La unidad de banda base se coloca en la sala de equipos o gabinete y se conecta con RRU a través de fibra óptica. La BBU es responsable de la comunicación a través de la interfaz física. [18]

**Unidad Remota de Radio (RRU):** La RRU es la unidad remota de radio. Puede localizarse remotamente de la RBS Main Unit (MU), hasta una distancia de 15 km. Las RRU están diseñadas para ser instaladas junto a las antenas de una RBS. [17]

**Unidad de distribución de poder (PDU):** La distribución de la alimentación de los equipos de radio y unidad digital se logra con una barra paralela que en ella se conectan los 24 o -48 VDC correspondientes para ser repartidos a cada elemento funcional, esta unidad se equipa con breaker de distintas capacidades de amperaje y como protector de lo que se conecte. [16]



**Figura 6. Ericsson RBS 6201 Macro Multi Standard Base Station en un Nodo B [19]**

**Software de un Nodo B:** La arquitectura de software del Nodo B consiste en la plataforma de conectividad de paquetes y la capa de programa de aplicación:

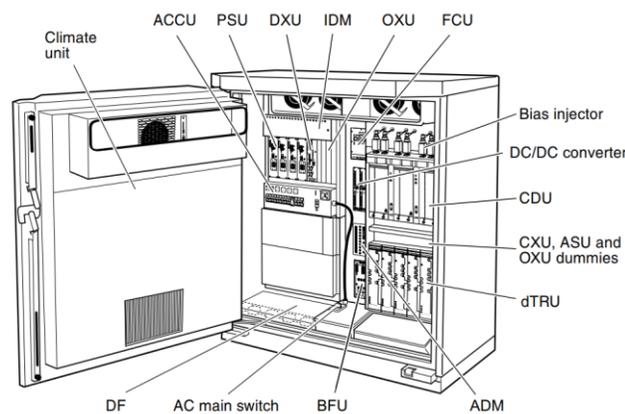
El CPP proporciona a la RBS un sistema distribuido de control en tiempo real, un sistema de gestión de elementos, un sistema de transporte de paquetes basado en ATM o IP sobre Ethernet que incluye el hardware necesario.

La capa de programa de aplicación; es el programa de aplicación que se ejecuta en la parte superior de la capa de plataforma común y define la función específica de un RBS. [8]

### RBS de Tercera Generación utilizados en Nicaragua

**RBS 2106:** Este modelo de RBS's fueron uno de los primeros en ser utilizados en Nicaragua, trabajaban en tecnología de segunda generación (2G) y operaban en la banda de 850 y 1900, hoy en día a pesar de ser tecnología segunda generación en el país se encuentran operativas muchas RBS's 2106, dichas estaciones operan a nivel de carretera.

La RBS 2106, un miembro de la familia RBS 2000, es una base de radio 12 TRX para aplicaciones en exteriores. RBS 2106 se puede configurar para omni celdas, o para celdas multisectoriales de hasta tres sectores. [20]



**Figura 7. Descripción de partes de un gabinete 2106 Ericsson [20]**

El RBS 2106 puede soportar las siguientes características esto se puede observar en la figura 7:

- 12 TRXs
- Co-ubicación (uso compartido de antena) con sistemas TDMA, WCDMA
- Transmisión discontinua / recepción
- Filtros dúplex
- Regulación de potencia dinámica
- Cifrado / Encriptado

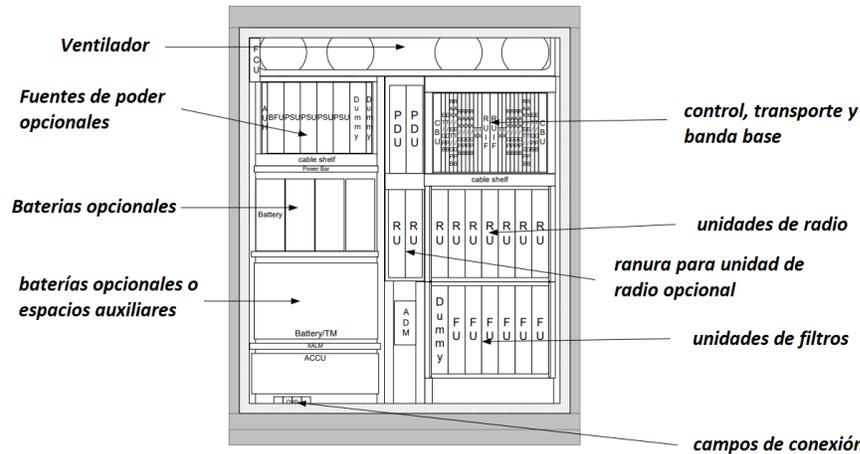
- EDGE (hardware preparado)
- Expansión por sincronización TG
- Alarmas externas
- Salto de frecuencia
- Batería de respaldo interna en tres variantes: una hora, media hora o ninguna
- Posicionamiento con GPS / LMU
- Sistema de fuente de alimentación: se puede conectar a fuentes de alimentación de CA de 200 - 250 V
- Configuraciones de radio compatibles con 800, 900, 1800 y 1900 MHz. [20]

**RBS 3106:** Con el transcurso del tiempo las RBS's 2106 fueron remplazadas por las nuevas RBS's 3106 en varios sectores de Nicaragua, Las RBS 3106 son nuevas, altamente eficientes, escalables y flexibles de Ericsson.

Estaciones base macro interiores y exteriores. Con hasta el doble de capacidad, potencia y eficiencia de sus predecesores, abordan principalmente la muy alta capacidad segmento. Las RBS3106 utilizan una estructura de hardware de nuevo diseño con el que también admiten la sectorización de doble banda y de orden superior configuraciones en un solo gabinete. [21]



Figura 8. Ericsson RBS 3106 – Celular



**Figura 9. Descripción de partes del gabinete Ericsson RBS 3106 – Celular [21]**

Características principales:

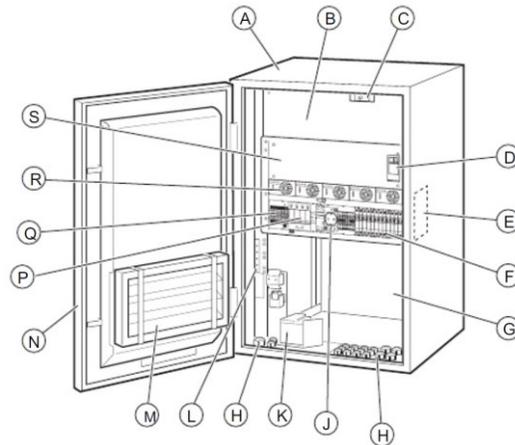
- Macrocobertura y macrocobertura extendida
- Gabinete al aire libre o de interior
- Hasta 6 sectores en un gabinete.
- Hasta dos bandas de frecuencia en un gabinete (banda dual)
- Hasta 4 operadores por sector
- Múltiples opciones de salida de potencia con hasta 60 W por portador de celda
- Hasta 1536/1536 elementos de canal en enlace ascendente / enlace descendente
- HSDPA y soporte mejorado de enlace ascendente
- Soporte para unidades de radio remotas (RRU)
- Diversidad Rx de 4 vías y diversidad Tx de 2 vías preparada
- Múltiples opciones de voltaje de suministro de energía. [21]

**RBS serie 6000:** Es una familia de RBS Multiestandar creado por Global System for Mobile Communications (GSM), WCDMA, y Long Term Evolution (LTE). El hardware es totalmente integrado, soporta las 3 tecnologías de los estándares anteriormente mencionados (2G, 3G, 4G). Existen modelos de RBS que no necesitarán de líneas de feeder para transmitir señales, esto se debe a que utilizan líneas de fibra óptica para transportar los datos hacia las RRU (Remote Radio Unit), para luego ser procesadas y enviadas al sistema radiante

(antena), luego ser transmitidos por ondas de radio. Existen diferentes modelos de RBS de la serie 6000 tanto de instalación interna como externa. Entre los modelos actualmente utilizados se tiene: 6101, 6102 y 6601. [8]

**RBS 6101:** El modelo de RBS 6101 es uno de los más utilizados por sus características dimensionales; son de instalación tipo outdoor (RBS de exterior). Dependiendo del tipo de radio que se utilicen, pueden contener más de 2 unidades digitales en su interior (DUW), de un máximo de 5 unidades digitales. Internamente pueden alojar un máximo de 6 radios, dando como resultado una configuración de radio 3x2 MIMO 2X2, debido a su dimensión limitada, no es posible instalar respaldo de baterías en su interior, razón por el cual se instala en conjunto con el gabinete BBS (Sistema de Respaldo de Batería). El uso de línea de feeder o línea de fibra óptica dependerá del tipo de radio que se utilicen, éstas pueden ser RU's (utilizan línea de feeder para el transporte de señal al sistema radiante) o RRU's (radios instalados cerca de la antena), las cuales requieren de fibra óptica para la recepción o envío de datos a la unidad digital. [8]

**RBS Ericsson PBC 05:** El sistema consta del gabinete principal PBC 05, que proporciona -48 V CC alimentación a todos los demás equipos RBS en el sitio al aire libre. El gabinete, a como se puede observar en la figura 10, tiene la opción de incluir una cadena de baterías de respaldo. Una opción adicional para instalar. Existen hasta dos sistemas de respaldo de batería más. El BBS 05 es una batería de respaldo sistema, y está diseñado para trabajar con el gabinete principal, pero también es posible conecte el gabinete principal a otros sistemas de batería de respaldo. Batería alternativa. Los gabinetes de respaldo pueden ser BBS 6301, BBS 6101 y BBS 6102. [22]



**Figura 10. Componentes de una RBS Ericsson PBC 05 [22]**

Posición	Función
A	Panel de techo de gabinete
B	Panel, detrás del cual hay conexiones de cables, ventiladores y la placa de control del ventilador
C	Interruptor de la puerta
D	Unidad controladora
E	Bloques de conectores en la pared interior para la placa de interfaz (IB2), alarmas y blindajes de cable
F	Disyuntores de corriente alterna
G	Compartimento para batería opcional o equipo opcional de 19 pulgadas
H	Entradas de cable con sellado ambiental
J	Servicio de salida
K	Calentador (opcional)
L	MET
M	Filtro para aire entrante
N	Puerta del armario
P	SPDs
Q	Terminal de entrada de CA
R	Rectificadoras
S	Unidad multifunción DC con disyuntores

**RNC (Radio Network Controller):** El RNC controla a uno o varios Nodos B. El RNC se conecta con el MSC (Mobile Switching Center) mediante la interfaz luCS o con un SGSN mediante la interfaz luPs. La interfaz entre dos RNC's es lógica y es la interfaz lur. Dentro de las funciones ejecutadas por el RNC están [6]:

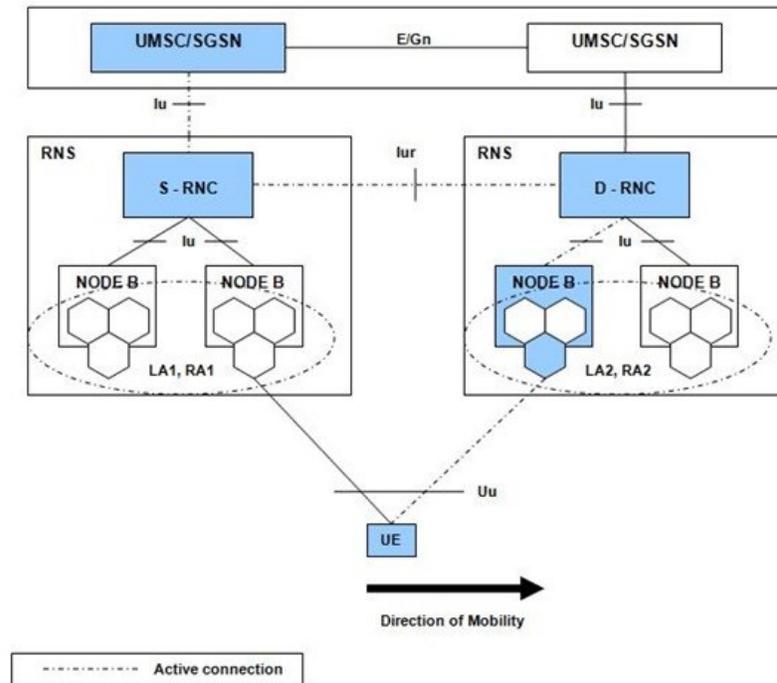
- El control de la carga y la congestión (saturación) de los diferentes Nodos B.
- El control de admisión y la asignación de códigos CDMA para nuevos enlaces de radio (acceso de un móvil en la zona de las células gestionadas).
- El control de potencia en bucle externo y el control del Handover.
- La secuenciación de transmisión de datos en modo paquete.
- La combinación/distribución de señales procedentes o con destino a los diferentes nodos B en una situación de macrodiversidad. [7]

Existen dos tipos de RNC:

**Serving RNC (RNC de servicios):** La cual es la puerta de entrada (Gateway) a la red, gestiona las conexiones de radio con el móvil, y es el punto de unión a la red troncal (Core Network) a través de la interfaz lu. Controla y ejecuta el Handover. [7]

**Drift RNC (RNC de compensación):** Cuya principal función es el enrutamiento de datos:

- El Drift RNC, por el orden de Serving RNC, gestiona los recursos de radio de las estaciones base que dependen del Drift RNC.
- Realiza la recombinación de enlaces debido a la macrodiversidad, varios enlaces de radio se establecen con las estaciones base que se le atribuye.
- Encaminar los datos de usuarios hacia la Serving RNC en el enlace ascendente y para sus estaciones base en el enlace descendente. [7]



**Figura 11. Red de acceso de radio terrestre [6]**

**Remote Radio Head:** Es un panel de control de radio de operador que conecta al transceptor (transmisor y receptor) de radio remoto eléctricamente o por una interfaz inalámbrica. En sistemas de telefonía inalámbricos este equipo es remoto a la estación base/eNodeB, se usa para extender la cobertura en áreas rurales o en túneles. Generalmente se conectan a la estación con fibra óptica y usa protocolos CPRI. Contiene la circuitería de la estación base que convierte las señales analógico-digital/digital-analógico para los enlaces de subida y bajada. [23]

**CN (Core Network):** Se encuentra basada en la topología de la red GSM/GPRS. Provee funciones de conmutación, enrutamiento, transporte y bases de datos para el tráfico de la red.

### Modelos De RBS de Cuarta Generación

**DBS3900:** Equipo marca HUAWEI (Ver figura 12) ofrece un Nodo B evolucionado (eNB), el cual soporta múltiples tecnologías de acceso de radio (GSM, UMTS, CDMA, TD-SCDMA y LTE), soporta un máximo de 3000 usuarios por eNB, en el enlace descendente se puede alcanzar 173Mbps con una

configuración MIMO 2x2, modulación 64 QAM y en un ancho de banda de 20 MHz, mientras que en el enlace ascendente se pueden alcanzar 84 Mbps con 1x2 SIMO, 64 QAM en 20 MHz por celda, su marca comercial es DBS390. [24]

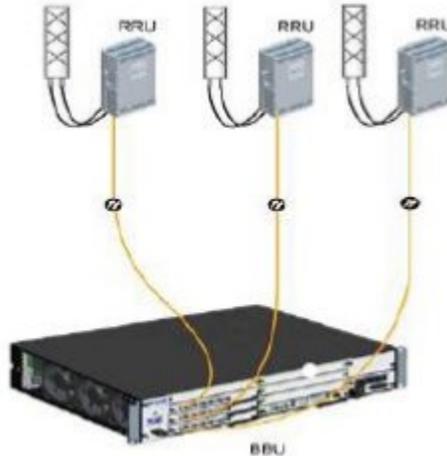


Figura 12. DBS3900 [24]

**9100 Estación Base Multi Estándar:** La Estación Base Multi-Standard Alcatel-Lucent 9100 (9100 MBS) es una gama de estaciones base multi-tecnología que ofrecen una gran escalabilidad y un rendimiento excelente radio en un diseño compacto esta se muestra en la siguiente figura. Los MBS 9100 permite a los proveedores de servicios desplegar GSM / EDGE, WCDMA / HSPA + y LTE, solos o simultáneamente. Incluye una amplia gama de armarios de estaciones base para cualquier tipo de cobertura, la capacidad y el medio ambiente. [24]

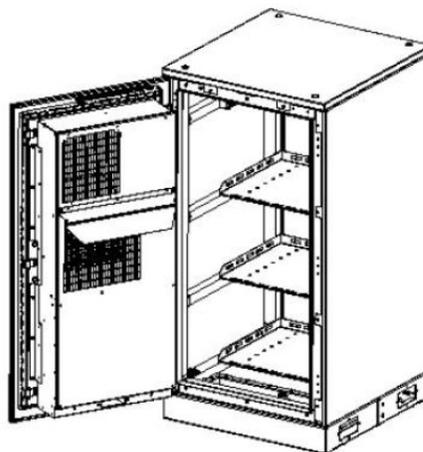


Figura 13. Gabinete 9100 Base Station [24]

**9412 eNodeB Compact:** El 9412 eNodeB Compact (Ver figura 14) es una solución de alta capacidad, sirve para desplegar redes LTE ofreciendo una mayor flexibilidad, está diseñado para integrarse en redes existentes. [24]



**Figura 14. Equipo 9412 eNodeB Compact [24]**

**9226 Base Station Compact:** La estación base de Alcatel-Lucent que permite a los operadores que brindan servicios inalámbricos migrar a la siguiente generación de la tecnología LTE con la máxima reutilización de equipos. [24]

**Enclosure\_6150 Ericsson:** Es un gabinete de sitio multi propósito, diseñado para soportar una multitud de equipos como ERS Baseband, Transport and 3PP vendors. También contiene un sistema de potencia altamente capaz y un back-up de baterías con un diseño simplificado y tamaño minimizado, este gabinete se muestra en la figura 15.



**Figura 15. Enclosure 6150 20kW [25]**



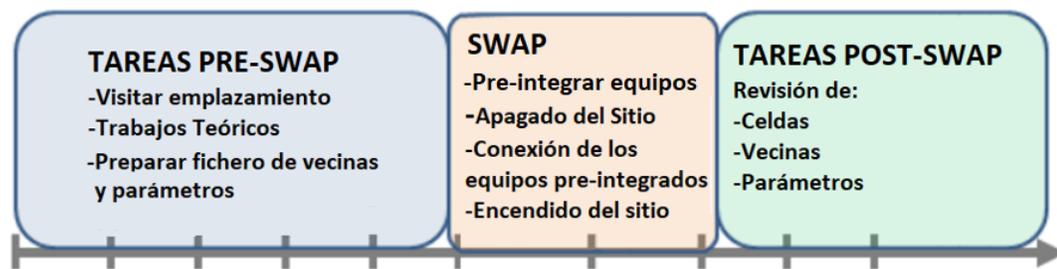
Siendo un gabinete dos en uno el Enclosure 6150 es una opción adecuada para todos los tipos de sitios donde es necesario una gran capacidad o el espacio para futuras expansiones, es ideal para modernizar sitios existentes o escenarios nuevos que logren satisfacer necesidades actuales y futuras. Este gabinete asegura las condiciones de protección ambiental óptimas para los equipos activo. El sistema completo también está integrado y verificado enteramente por Ericsson Radio System y asegura ser uno de los mejores en su clase. El gabinete puede soportar hasta 21 radios externos. [25]

## Capítulo II: Método para la realización de un Swap en una red 3G

### 1. Introducción

Existen múltiples factores o acciones que se tiene que considerar para realizar un SWAP, inicialmente es estrictamente requerido reportar la información del sitio con el que se estará trabajando para observar la composición del sistema

El proceso del swap no consiste únicamente en sustituir los equipos existentes por otros. Realizar un swap implica el realizar unas tareas de preparación previas, además del propio proceso de cambio y nueva definición de parámetros, por ultimo y no menos importante un seguimiento posterior de los cambios realizadas y comprobar el funcionamiento esperado, estas etapas se puede apreciar en la figura 16.



**Figura 16. Línea temporal de los pasos en el proceso del swap. [26]**

En este capítulo se abordará la importancia de contar con un formato de Inspección de Sitio. Este se debe realizar de forma general, dándonos un panorama general del estado del sitio y de los equipos instalados, (funcionando o con problemas esto lo denota los indicadores de cada equipo). En esta parte se deberán realizar todo tipo de pruebas de llamadas asociadas a las posibilidades habilitadas en el sistema.

El informe de la inspección de sitio contiene tanto información general como técnica y específica del lugar donde se pretende realizar un Swap.

### 2. Swap.

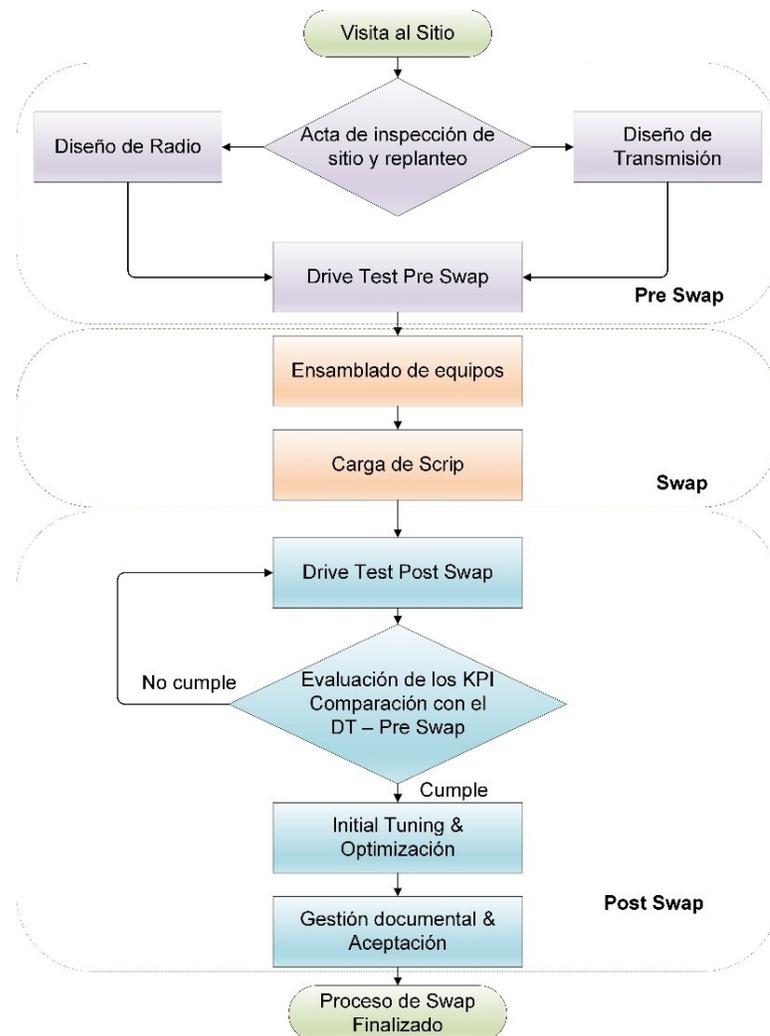
El proceso del Swap es la migración de tecnología, se ejecuta cuando ya existe una tecnología implantada con anterioridad y se pretende modernizar el equipo

y/o mejorar la calidad del servicio prestado. Como en este tipo de obras lo que se cambia es el equipo hardware de la estación base por otro más moderno, pero manteniendo la tecnología de comunicaciones, se le suele denominar AUTOSWAP (si el vendor 1 final es el mismo que el previo) o SWAP (si el vendor final es diferente que el previo). [5]

Basándonos en el diagrama mostrado en la figura 16. los pasos a seguir para que la obra se realice en la estación base, son los siguientes:

- Levantamiento de cómo está compuesto el sistema, el número de antenas que hay, el tipo de estas antenas, el sistema de cableado, las condiciones de la estación en el emplazamiento, el área de cobertura que radia la antena, etc. Una vez revisada la localización, se redacta lo que se conoce como “acta de replanteo” con los datos obtenidos en la observación del técnico
- Se estudia minuciosamente la situación en que se encuentra el actual sistema en el emplazamiento y se diseña el nuevo sistema radiante para conseguir el objetivo indicado por el cliente, que en este caso es el operador de red que está llevando a cabo el swap de la red.
- Un especialista en medidas de radiofrecuencias realizará las pruebas (Drive test).
- Se realiza el swap con todo el diseño desarrollado previamente, implantando el nuevo sistema en la localización definida y se ejecutan los cambios en todo el sistema que se hayan descrito en la hoja de replanteo conforme a lo especificado por el operador de red.
- Durante la realización del swap, se monitorizan los cambios a realizar, de forma que no haya problemas graves debido a la obra realizada.
- Se llevan a cabo de nuevo medidas de drive test que ayudan a comparar el estado del emplazamiento antes y después del swap realizado.
- Revisión de la obra Post-Swap. Gracias a las medidas obtenidas en los drive test previas y posteriores al swap, se realizan chequeos de los KPIs y se llevan a cabo los cambios convenientes para conseguir el resultado óptimo a petición del cliente, que es el operador de red. [9]

Resumiendo lo anterior como un diagrama de flujo, el método propuesto para realizar un Swap, es el mostrado en la siguiente figura.



**Figura 17. Flujograma de un SWAP.**

### 3. Tareas Pre-Swap

Antes de apagar un equipo de telefonía para proceder a la instalación de los nuevos equipos es importante realizar un conjunto de pasos previos que garanticen la correcta integración de los nuevos equipos y faciliten el proceso de swap. Estos pasos se realizan con el objetivo de que el tiempo de apagado de la estación sea el menor posible y la integración de los nuevos equipos se realice lo más correctamente posible de forma que el impacto en los usuarios y la red en general sea el mínimo posible.

#### 4. Visita del sitio y levantamiento de datos

En Nicaragua, los Swap son realizados por empresas subcontratadas. Estas empresas realizan un Test Site Survey, la inspección técnica que se realiza a una estación base existente o por ser construida, está relacionado con el estudio preliminar del mismo para la futura instalación de equipos. En esta etapa, todos los proveedores proceden a la ubicación física de cada equipo y la instalación no se da, sin antes generar un documento de Site Survey, aprobado por el supervisor de proyectos de la operadora, donde certifica que el área de instalación cumple con los requerimientos de los mismos. Una vez culminada la instalación de todas las partes, el supervisor genera un reporte con todas las observaciones correspondientes.

Estas compañías Subcontratadas están encargadas de ejecutar los trabajos asignados directamente en el sitio, realizando las visitas en el día y hora acordados, posterior a las visitas debe entregarse el formato de los reportes de Site Survey, estas compañías cuentan con el personal técnico y de ingeniería para realizar los trabajos que se les asignen.

Antes de entrar a detallar los pasos que se siguen a lo largo de un swap, se pretende realizar un repaso de cuál es la configuración típica que puede encontrarse en las estaciones de telefonía móvil antes de realizar el swap y como queda dicha configuración una vez realizado. Cabe mencionar que la cantidad de combinaciones y posibilidades son muy amplias y no es objeto de este proyecto repasar todas estas posibilidades, pero se mencionaran las más comunes ya que este proyecto es para fines educativos.

Un caso típico de swap es el que se muestra a continuación en la figura 18, en la que se pasa a utilizar un equipo que permute simultáneamente todas las tecnologías, con el consecuente ahorro de espacio. Otra posibilidad sería la que se muestra en la figura 19. En este caso se añade un nuevo servicio a una estación de telefonía, el 4G además del equipo SRAN que permiten ofrecer varias tecnologías. [27]

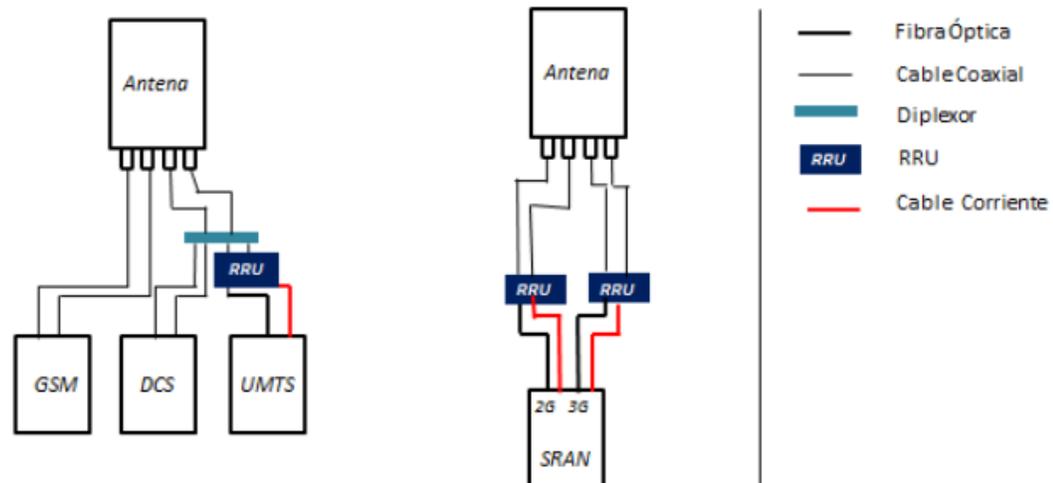


Figura 18. Conexiones típicas de los equipos antes y después de swap. [27]

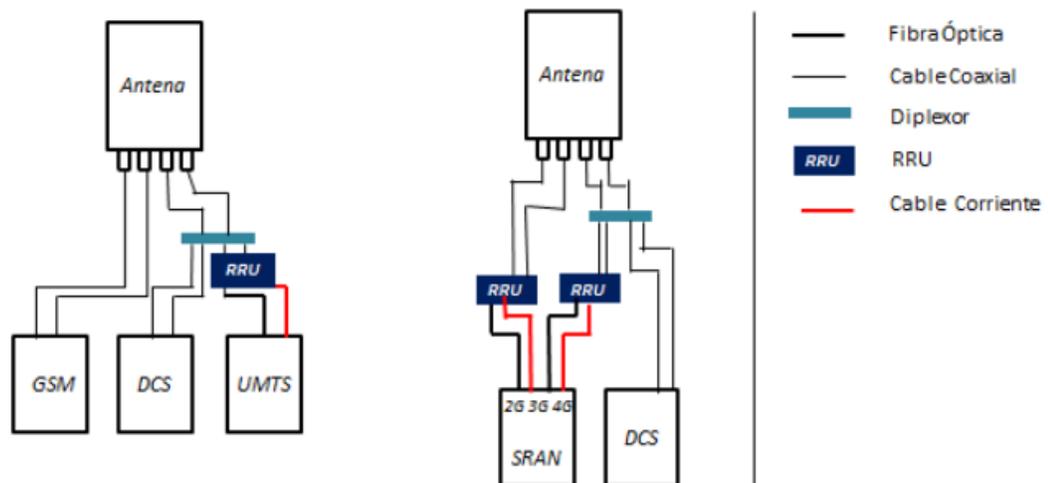


Figura 19. Conexiones típicas de los equipos antes y después de swap. [27]

Como puede verse en las figuras, antes del proceso de swap, en las estaciones de telefonía móvil se dispone de una tarjeta para proporcionar el servicio de telefonía para cada una de las tecnologías que pretende radiarse. Estas tarjetas se conocen como BBU (Base Band Unit) la configuración puede variar.

Tras el swap se eliminan parte de los equipos al conseguir unir las tecnologías en 2G y 3G en un único equipo. Además, se realizan otras mejoras. Las RRUs (Remote Radio Unit) que no son más que amplificadores, intentan situarse lo más

cerca posible de la antena para minimizar pérdidas. Se mantiene el cable coaxial en la conexión que va desde la antena hasta la RRU, pero se sustituye el coaxial que va desde dicha RRU hasta los equipos por fibra óptica, garantizando así mayor robustez y velocidad además de un ahorro económico. De nuevo destacamos que hay múltiples posibilidades que dependen del operador, ubicación, servicio que se quiera proporcionar, etc. y que únicamente se pretende con las figuras anteriores que el lector tenga una idea aproximada de las ventajas que se consiguen tras el swap y proporcionar una idea genérica de lo que podrían encontrarse en la realidad. [27]

##### **5. Levantamiento de información del sitio.**

Un técnico de antenas debe acudir al emplazamiento donde se encuentra la Estación Base, para observar cómo está compuesto el sistema, el número de antenas que hay, el tipo de estas antenas, el sistema de cableado, las condiciones de la estación en el emplazamiento, el área de cobertura que radia la antena, etc. Una vez revisada la localización, se redacta lo que se conoce como acta de replanteo con los datos obtenidos en la observación del técnico. El acta de replanteo contendrá todas las características del antiguo sistema y las posibles mejoras a realizar en la BTS al implantar el nuevo sistema.

##### **Formato de Inspección**

Para realizar cualquier tipo de obra en una estación base es necesario realizar este reporte de inspección del sitio, el cual es está compuesto por una lista de chequeo que incluye el nombre de los sitios, la fecha, altura de las antenas, latitud, longitud de los sitios ubicados en la zona de trabajo, azimut de los sectores, la configuración de los parámetros de radio, la ubicación del sitio, tipo de tecnología, estado físico del equipo, estado de la estructura, etc. Además de un reporte para recopilar la información y capacidades a nivel de hardware del mismo, el objetivo final es optimizar los servicios brindados por la compañía telefónica.



**Datos Generales:**

- Ubicación del Sitio
- Plano del Sitio
- Departamento – Ciudad

**Condiciones físicas del sitio:**

- Estado estructural de la torre y altura de mástiles respecto al módulo.
- Ubicación de mástiles y verticalidad 0° para cumplir con los azimut e inclinaciones necesarios para el módulo.
- Ubicación y dimensiones de escalerillas verticales y horizontales donde se ubicarán las guías de ondas, sean adecuados a la cantidad y calibre del feeder a instalar.
- Tipo de plataforma para anclado de bastidor, calidad y horizontalidad 0°.
- Altura de platinas

**Condiciones del sistema eléctrico del sitio:**

- Puntos de aterrizaje / barras instaladas en la torre y en piso según el módulo, aptos para tierra RBS, tierras TMA, etc.
- Estado de puertas y acceso a la estación.
- Abastecimiento de AC comercial o planta eléctrica para el funcionamiento del módulo.
- Cantidad de Breakers, marca, capacidad.
- Breakers en uso y disponibles, estado de los breakers.
- Censo de carga del sitio.
- Estado del sistema de alarmas.

**Condiciones a nivel de hardware:**

- Tipo de Antenas.
- Fabricante.
- Modelo.
- Dimensiones (ancho\*fondo\*alto).



- Peso estimado.
- Potencia Máxima.
- Potencia Nominal Estimada.
- Tipo de tecnología
- Sistema de Cableado (Tipo, Calibre, etc.).
- Cuadro Eléctrico
- Alimentación para los equipos.
- Luminaria.
- Sistema de respaldo energético
- Sistema de Alarmas
- Área de cobertura que radia la antena.
- Vecinas

Es muy común, que los swaps se realizan con el cambio de una marca de antenas por otra distinta, es decir, que el proveedor sea distinto. Pero no se cambiará únicamente la antena. Sino que, en algunos casos, dependiendo del estado precio del sistema y del objetivo marcado por el operador de red, pueden ser necesaria la implantación de nuevos amplificadores, transceptores, la ampliación de un sector en el nodo, etc.

A continuación, se presenta nuestra propuesta de formato de inspección de sitio y replanteo, donde se recopilan todos los datos básicos del sitio y se proponen los cambios a efectuar.



**Formato de Inspección de Sitio y replanteo.**

<b>I. Datos Generales:</b>			
Nombre del Sitio: _____		Fecha: ____ / ____ / ____	
ID del Sitio: _____	Departamento: _____	Ciudad: _____	
Dirección: _____			
Coordenadas:    Latitud: _____    Longitud: _____			
Inspectores: _____			
<b>II. Datos Eléctricos:</b>			
1. Gabinete	Nuevo <input type="checkbox"/>	Existente <input type="checkbox"/>	
2. Cableado de energía AC es calibre 6# AWG			N/A <input type="checkbox"/>
3. Los breaker están debidamente etiquetados			CUMPLE <input type="checkbox"/>
4. Existen breaker AC 2x60A en el panel eléctrico			FALTANTE <input type="checkbox"/>
5. Loza construida finalizada correctamente para el gabinete			
6. Loza nivelada correctamente para el gabinete			
7. Hay breaker de ____ Amps para Base Band			
8. Hay breaker de ____ Amps para RRU(s)			
9. Cantidad total de breakesrs: _____; Marca: _____; Capacidad: _____.			
10. Breakers disponibles: _____.			
11. Consumo actual: _____.			
9. Pruebas de voltaje:    L1: ____V;    L2: ____V;    L3: ____V;    Neutro: ____V			
Comentarios: _____			
<b>III. Datos de Transmisión:</b>			
1. Equipo de Tx en buen estado			CUMPLE <input type="checkbox"/>
2. Disponibilidad de tubería para enlace hasta gabinete RBS			FALTANTE <input type="checkbox"/>
3. Existe platina de cero lógico cerca del gabinete			
4. Medio de Tx en el sitio:    Radio Enlace <input type="checkbox"/>		Fibra Óptica <input type="checkbox"/>	
5. Equipo de Tx en:    Caseta de Tx <input type="checkbox"/>		RBS: _____	Otro: _____
6. Logitud de cable de Tx para:    GSM: _____ mts;		3G: _____ mts;	LTE: _____ mts;
7. Modelo de equipo de Tx instalado: _____		Interfaz: Óptico <input type="checkbox"/>	Electrico <input type="checkbox"/>
8. Longitud del Jumper: _____ . Tipo de Jumper: _____			
Comentarios: _____			



**IV. Torre, Sistema a Tierra y Escalerilla:**

1. Tipo de torre: Auto soportada  Poste  Monopolo  Ventada

2. Altura de la torre: \_\_\_\_\_ mts. N/A CUMPLE FALTANTE

3. Existe cable de Aluminio para aterrizaje del gabinete

4. Terminal doble ojo a la espera

5. Espacio en escalaria vertical

6. Espacio en escalaria horizontal

7. No hay obstrucciones que generen sombra a las antenas

8. Existen plantinas existentes para aterrizaje de equipos en torre

9. Altura de platinas: Inferior: \_\_\_\_\_ mts; Intermedia: \_\_\_\_\_ mts; Superior: \_\_\_\_\_ mts.

Comentarios: \_\_\_\_\_

**V. Sistema Radiante:**

1. Configuración de Sitio

Parametros	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Modelo de Atena	2G:	2G:	2G:
	3G:	3G:	3G:
	LTE:	LTE:	LTE:
Azimuth			
Altura			
Orientación			
Tilt. Electrico			
Tilt. Mecanico			

Sector 1				Sector 2				Sector 3			
Tecnol.	Frec.	Polo	VSWR	Tecnol.	Frec.	Polo	VSWR	Tecnol.	Frec.	Polo	VSWR
2G	850	A		2G	850	A		2G	850	A	
		B				B				B	
3G	850	A		3G	850	A		3G	850	A	
		B				B				B	
	1900	A			1900	A			1900	A	
		B				B				B	
LTE	850	A		LTE	850	A		LTE	850	A	
		B				B				B	
	1900	A			1900	A			1900	A	
		B				B				B	



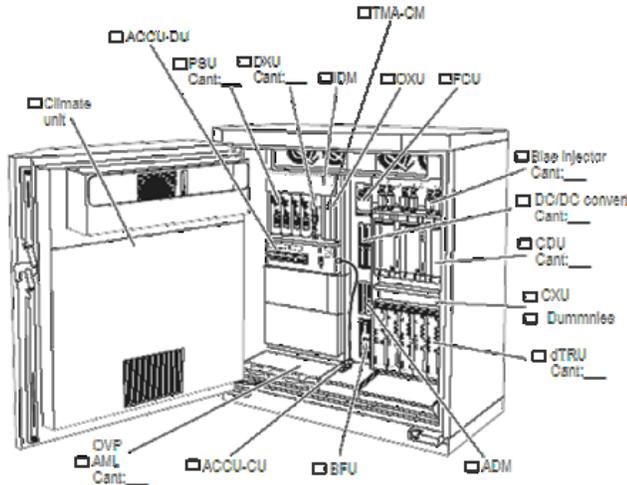
**VI. Cableado de Alarmas:**

1. Existe cable de alarmas dese la RBS hasta Motor Generador
2. Existe cable de alarmas dese la RBS hasta Tanque de Combustible
3. Estan conectadas correctamente en el Motor Generador
4. Estan conectadas correctamente en el Tanque de Combustible
5. Estas etiquetadas según el codigo de colores de la O&M

N/A	CUMPLE	FALTANTE
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□

Comentarios: \_\_\_\_\_

**VI**



DTRU libres : \_\_\_\_\_

RRU libres : \_\_\_\_\_

CDU-G libres : \_\_\_\_\_

Cantidad de TMA : Dobles \_\_\_\_\_  
Sencillos \_\_\_\_\_

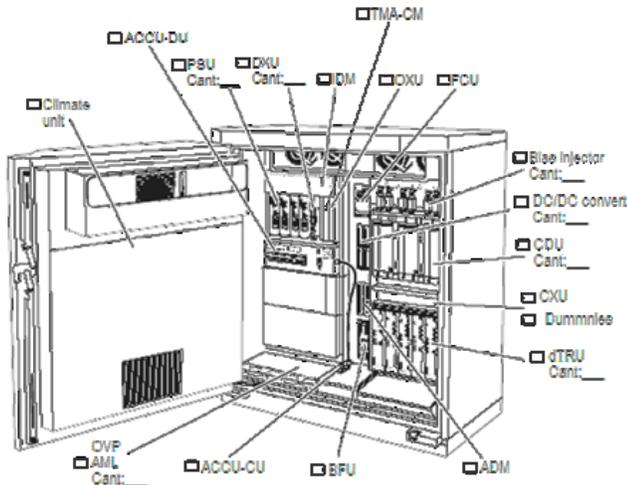
Tipo de Feeder: \_\_\_\_\_

Longitud de Feeder: \_\_\_\_\_

Tipo de Fibra: \_\_\_\_\_

Logitud de Fibra: \_\_\_\_\_

Comentarios: \_\_\_\_\_



DTRU libres : \_\_\_\_\_

RRU libres : \_\_\_\_\_

CDU-G libres : \_\_\_\_\_

Cantidad de TMA : Dobles \_\_\_\_\_  
Sencillos \_\_\_\_\_

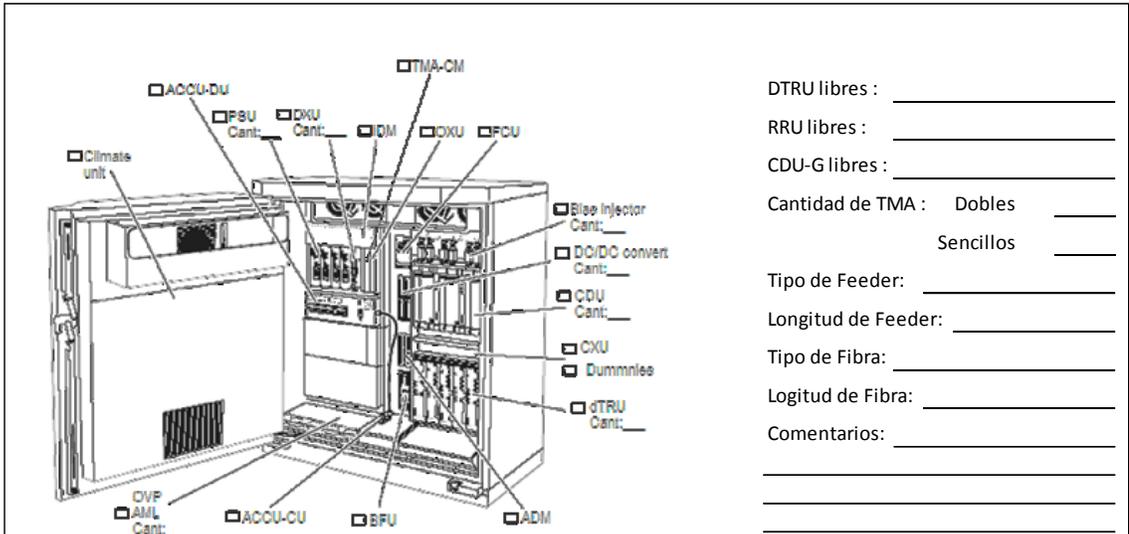
Tipo de Feeder: \_\_\_\_\_

Longitud de Feeder: \_\_\_\_\_

Tipo de Fibra: \_\_\_\_\_

Logitud de Fibra: \_\_\_\_\_

Comentarios: \_\_\_\_\_



**VIII. Propuesta de Instalación:**

1. Propuesta de cambios de configuración de Sitio:

Sector 1: Nº de Antenas: \_\_\_\_\_

Cell ID	Tecnología	Modelo de Antena	Frecuencia	Tilt. Electrico	Tilt. Mecanico	Altura	Azimuth

Sector 2: Nº de Antenas: \_\_\_\_\_

Cell ID	Tecnología	Modelo de Antena	Frecuencia	Tilt. Electrico	Tilt. Mecanico	Altura	Azimuth

Sector 3: Nº de Antenas: \_\_\_\_\_

Cell ID	Tecnología	Modelo de Antena	Frecuencia	Tilt. Electrico	Tilt. Mecanico	Altura	Azimuth



2. Marca y modelo del gabinete: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Tipo de tarjeta: DUG  DUW  DUS

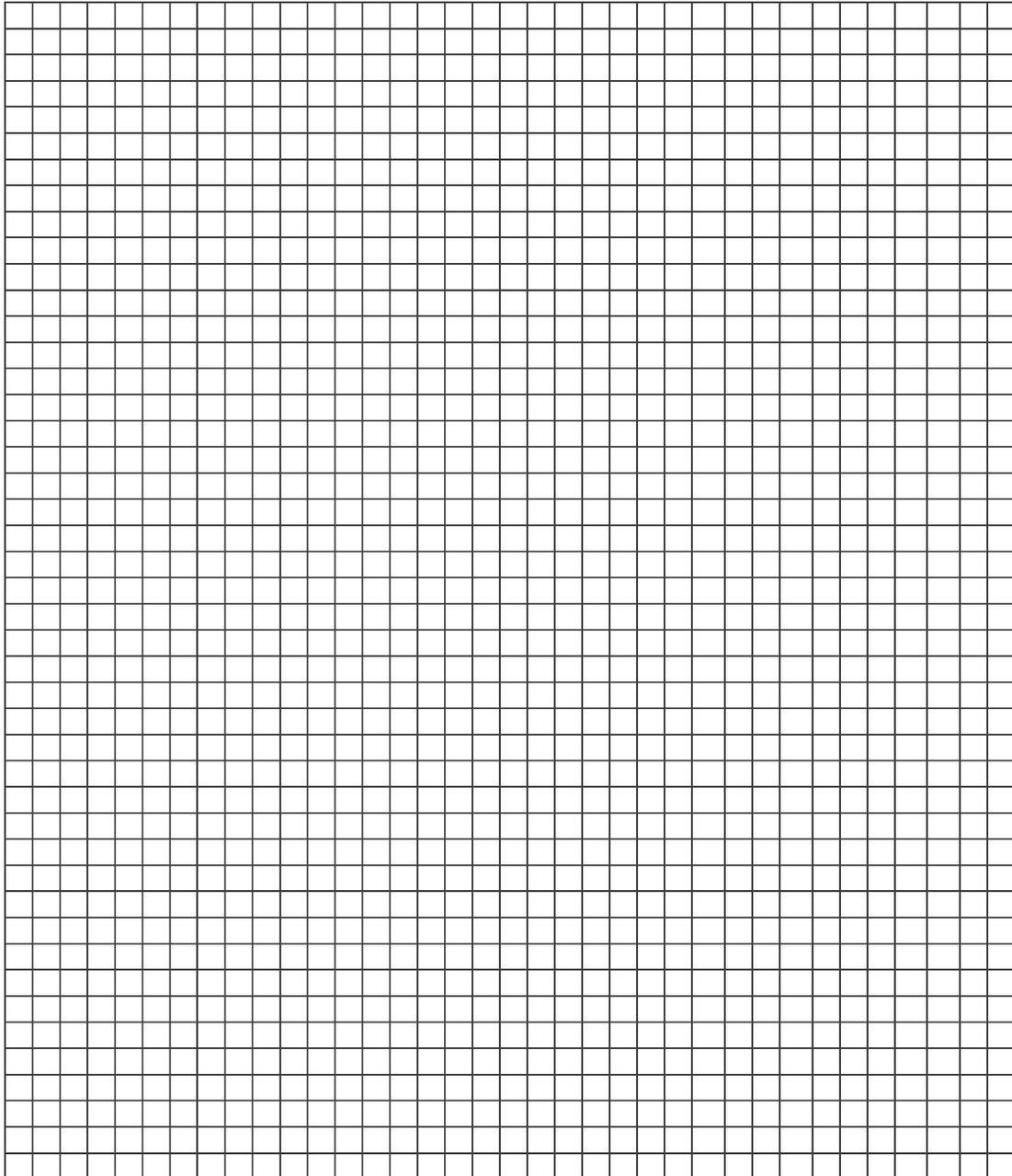
4. Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Reutilización de Equipos SI  NO   
Gabinete  BBU  RRU  Otros: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Sistema Electrico:  
Cambio de Breakers: SI  NO   
Cantidad: \_\_\_\_\_ Capacidad: \_\_\_\_\_ Marca: \_\_\_\_\_



IX. Plano de distribución de sitio:





Como se ha podido apreciar, en el formato anexamos una sección de replanteo, lo cual es una parte del documento que incluye todos los datos necesarios para conocer la situación de la locación, los componentes de la estación base, el tipo de antenas, los elementos del sistema radiante, las medidas de cada uno de los componentes, etc. En definitiva, todos los datos obligatorios para poder diseñar el nuevo sistema radiante y poder estudiar los posibles cambios a realizar para llevar a cabo el swap.

Durante la elaboración del formato nos encontramos con ejemplos donde generalizan y muestran una idea de cómo debe estar estructurada la recogida de información, sin embargo, como se menciona con anterioridad la información puede variar dependiendo el tamaño de la obra, regulaciones de la compañía, etc. Nosotros presentamos un formato más amplio, si bien es mucha más información la requerida, consideramos que es de mucha importancia recolectar cada pieza de información con el fin de obtener un resultado satisfactorio, resaltando también que esta guía tiene fines académicos, aunque se puedan saltar unos cuantos datos al momento de la recogida de datos, es importante que el lector entienda cada una de la información requerida, también no olvidemos que algunos datos son dependientes de otros y no podríamos avanzar durante el proceso completo si falta alguna información importante.

### **Tipo de Diseño.**

#### **Diseño de Radio**

Para el diseño de radio hay herramientas que permiten; desde la simulación, datos del sistema radiante, hasta la optimización del diseño. Esto, facilita en gran medida el diseño de radio y otros aspectos muy importantes para un mejor rendimiento. [8]

Un diseño radio consiste en crear las celdas que sean necesarias con las antenas correspondientes dependiendo de la zona que deben cubrir y definir las posibles vecindades de cada una de las celdas, teniendo en cuenta la distancia entre celdas y las frecuencias utilizadas en cada una de ellas. [5]

Para el diseño de las celdas, dependiendo si éstas son 2G o 3G, se deben definir una serie de parámetros básicos que, en conjunto, permiten que la celda sea única y pueda estar conectada a otras celdas con las que hacer handover. [5]

### **Diseño de Transmisión.**

En realidad, esta parte es un poco más sencilla, pero no menos importante. Esta parte es desarrollada por personal de Ingeniería de datos.

Para ello una de los aspectos a tomar en cuenta es la ubicación geográfica de la RBS (nodo B) y de la RNC que lo gobernará. Así se considerarán aspectos como medio de transmisión físico, y equipos de red necesarios, que tengan la capacidad de configuración, para cumplir característica de enlace y enrutamiento.

## **6. Identificación del tipo de Swap que se va a realizar.**

El termino Swap en telecomunicaciones refiere al intercambio de cierto componente o configuración en un sistema radiante, sin embargo, técnicamente hablando el termino SWAP es mucho más amplio, ya que existen múltiples escenarios que podemos encontrar durante el proceso, en la sección anterior se mencionaban las configuraciones típicas que se encuentran en los sitios, durante las tareas a realizar previo al swap es importante tener claro cuáles son los recursos disponibles, más bien, tener claro los requerimientos solicitados por la compañía que solicita el swap, ahí yace la importancia de hacer una revisión del sitio para el hardware que actualmente se encuentra en el sitio.

### **Escenarios o configuraciones a tener en cuenta para realizar un Swap**

Este trabajo monográfico está enfocado específicamente en realizar un intercambio de hardware en un sitio sin variar la tecnología (3G), pero consideramos de suma importancia mencionar algunos de los escenarios más comunes que podrían darse en un proceso de SWAP.

#### **Swap de hardware entre Tecnología 2G a 2G.**

Actualmente en Nicaragua son pocos los sitios que trabajan con la tecnología 2G, principalmente los encontramos en carreteras y en zonas rurales, si bien este

escenario es poco probable, no es imposible, ya que si un sitio presenta problemas con el hardware, y la compañía proveedora decide no actualizar a tecnología 3G, entonces un SWAP de hardware sin modificar la tecnología es requerido, aunque el proceso de swap no fue planeado con anticipación y fue causa de un equipo dañado, igualmente el proceso del SWAP viene siendo parecido, ya que se tiene que realizar una inspección de sitio, visitar el emplazamiento, revisar los recursos disponibles, integrar los equipos, etc. En las figuras 20 y 21 podemos observar un gabinete de tecnología GSM.



**Figura 20. Foto tomada de una caseta que contiene tecnología GSM.**



**Figura 21. Foto tomada del interior de una Caseta con tecnología GSM.**

### **SWAP de hardware para actualizar tecnología de 2G a 3G**

Se da cuando la compañía proveedora del servicio decide hacer una actualización de tecnología, ya que es necesario una más rápida y mejor transmisión de datos en el área designada a hacer el SWAP, además una deficiente transmisión de datos y calidad de llamadas comparando con la tecnología actual y la necesidad del cliente, otra de las desventajas es que los cajones que contiene el hardware GSM (2G) ocupan una gran cantidad de espacio.

#### **Swap de hardware entre tecnología 3G a 3G.**

Tipo de Swap principalmente abordado en este trabajo monográfico, es uno de los escenarios más frecuentes porque las compañías que dan el servicio de telecomunicaciones ya que no siempre actualizan las tecnologías, esto debido a la inversión que requiere los nuevos y equipos y en muchas ocasiones no solo es adquirir las tarjetas o el cajón conteniendo todo el hardware, en el escenario más complicado desde el punto de vista económico sería que el cambio de hardware incluya el cambio de RRU's, antenas, jumper's y cableado de alimentación, mencionamos que sería el caso más complicado, porque en ciertos escenarios el nuevo hardware dentro del cajón, es compatible con las RRU's y las antenas ya que se trata de un cambio de dispositivos controladores pero que van a trabajar con la tecnología de tercera generación.

### **7. Razones por las que se realiza un Swap en un sitio pero que mantenga la misma tecnología de tercera generación (3G).**

- **Daño del hardware**

Dispositivos dañados ya sea porque cumplieron con su vida útil, falta de mantenimiento, daño causado por mala protección de los dispositivos (breakers, baterías, sistema de respaldo, etc.), daño causado por algún agente externo, etc.

- **Actualización de hardware**

Esto se da cuando la compañía dueña del servicio de telefonía decide hacer una actualización de los dispositivos encargados del funcionamiento del sitio, ejemplo de actualización de hardware:

- **RBS serie 3000**

Una de las primeras familias de tecnología de tercera generación, originalmente de la marca Ericsson, donde una de sus principales ventajas es que el hardware y el software son de diseño modular y flexible, lo cual significa que un mismo equipo puede gestionar la mayor parte de las situaciones de tráfico, soportan 12 portadoras por estación base con un máximo de 30 W de potencia de salida nominal por portadora y 1536 elementos de canal de radio, los cuales están determinados por el tipo de tarjeta que se le adicione a la RBS, además tiene un configuración de sectores-portadoras 6\*2, 3\*4; con hasta 60 W de potencia de salida por portadora en configuración 6\*2, rango extendido, bandas de frecuencias más bajas (850/900), modulación 64 QAM y compatible con tecnología MIMO.

- **RBS Serie 6000**

Es una familia de RBS multiestandar, el hardware es totalmente integrado y soporta las 3 tecnologías (2G, 3G, 4G), algunos modelos no necesitan la line de feeder para transmitir las señales, este se debe a que pueden utilizar fibra óptica para transportar los datos hacia las RRU's, ser enviadas al sistema radiante luego de ser procesadas, este tipo de RBS es utilizada en sitios donde es necesaria la combinación de dos o más tecnologías y un SWAP aplica si es necesario cambiar una RBS que solo tenga 3G a una RBS que por logística exija trabajar con múltiples tecnología.

- **Cambio de hardware en cuestión de marca (proveedor de hardware):**

Este escenario es poco frecuente debido a que las compañías de telecomunicaciones tienen sus proveedores y normalmente trabajan por contrato o licitaciones, no es muy común que una compañía cambie a su proveedor de

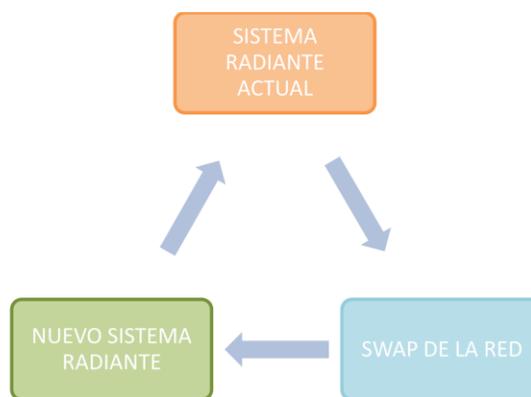
hardware, ya que esto conlleva a muchos trámites, logística e inversión económica, no se hace de la noche a la mañana porque los equipos difieren en su capacidad de recursos de canal, consumo energético y capacidad de ampliación, actualmente la empresa Claro, Nicaragua, trabaja mayormente con el proveedor de tecnología Ericsson, pero la cantidad de equipos para el procesamiento de señales de banda base son múltiples, los más sobresalientes son la marca Nokia, ZTE, Huawei y Ericsson.

En la Tabla 1, podemos apreciar 3 sectores con antenas de 3 tipo de proveedores.

**Tabla 1. Comparación entre hardware de distintos fabricantes.**

CARACTERISTICAS DE RBS'S											
FABRICANTE	MODELO	RRU	RBS CONSUMO ENERGETICO	CE UL	CE DL	HSDPA	HSUPA	GSM	UMTS/WCDMA	LTE	CONFIGURACION DE SECTORES
ERICSSON	6101 (4101)	12B2	800 W/h	768	768	14.4 Mbit	3 Mbit (EUL)	si	si	si	1 a 6 (4Cx-3x3)
ZTE	ZXSDR B8200	R8860	680 W/h	1024	1024	14.4 Mbit	5.76 Mbit	si	si	si	1 a 6 (4CX-3x3)
Huawei	3806	3801C	1.1 KW	192	256	14.4 Mbit	1.92 Mbit	si	si	No	1 a 6 (2CX/RRU)

Como se puede apreciar en la figura 22, este cambio es en realidad un ciclo de la red, pues la tecnología avanza de forma exponencial y cada día se descubren nuevos métodos que mejoran los sistemas de comunicaciones.



**Figura 22. Ciclo de la red comunicaciones. [5]**

Este proyecto no profundiza en todos los pequeños cambios que se hagan en el sistema radiante, sino que se centra en los resultados del swap de la red de comunicaciones y en cómo se mejoran las prestaciones del servicio proporcionado



por la operadora después del swap, además de estudiar distintas soluciones a los problemas que se pueden presentar después del trabajo realizado.

Se ha mencionado anteriormente que la red de telecomunicaciones es muy amplia, por lo tanto, para conseguir cambiar esta red, hay que realizar cambios en cada una de las estaciones bases que componen la red del operador que va a realizar el swap, para conseguir un cambio completo de la red y que no se puedan las vecindades definidas entre distintas celdas.

De forma simplificada, se va a explicar el proceso a llevar a cabo en una sola estación base para completar el proceso de swap. Posteriormente se profundizará cada uno de ellos.

### Capítulo III: Medición y evaluación de parámetros lógicos durante el Swap

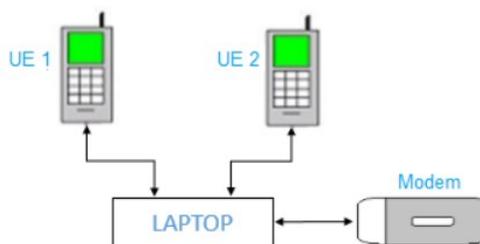
#### 1. Mediciones de campo (Drive Test)

Para la evaluación de la red a optimizar, se realiza un Drive – Test con el objetivo de tener unas medidas fijas del sistema radiante antes de proceder al swap para poder comparar las prestaciones antes y después. La principal razón por la que se realizan los DT es porque permite recolectar datos y detectar en el campo el estado de la red celular en una zona o área determinada.

Estas medidas las debe tomar un técnico de la red y normalmente se desarrollarán en puntos aleatorios dentro del área de cobertura, en este proceso se obtienen: velocidades de uplink y downlink, porcentaje de establecimiento de llamada con éxito, nivel de señal, área de cobertura y calidad de señal principalmente.

Los equipos requeridos para llevar a cabo en Drive Test son los siguientes (Ver figura 23):

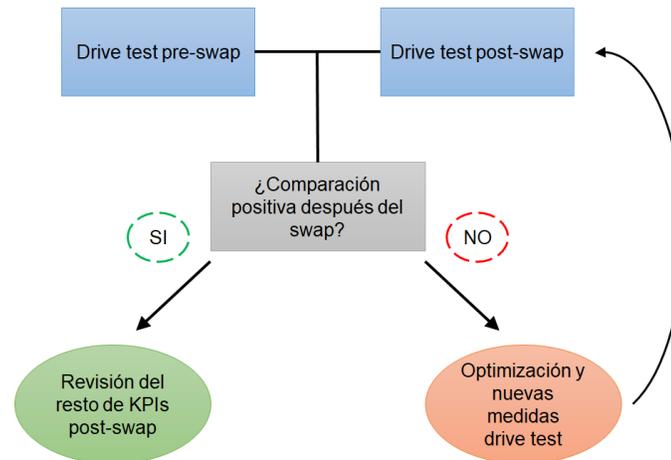
- Un móvil para rastrear con tecnología 3G, o más, cada uno se utiliza para hacer las mediciones para una prueba específica, para hacer el recorrido de una vez.
- Un receptor GPS para determinar la posición geográfica para cada punto de medición.
- Ordenador portátil con una herramienta especial para la adquisición y procesamiento de datos recuperados.



**Figura 23. Equipos para un Drive Test.**

Los Drive Test se realizan antes del swap con el objetivo de tener unas medidas fijas del sistema radiante antes de proceder al swap para poder comparar las prestaciones antes y después.

Después de obtener estas medidas y compararlas con las anteriores, siguiendo el proceso presentado en la figura 24, se decidirá si el site está en condiciones aptas de tráfico y transmisión de datos para continuar con la revisión y optimización de todos los KPIs del site en el que se ha realizado el swap.



**Figura 24. Proceso de verificación de un Swap.**

Los parámetros a tener en cuenta en las medidas realizadas en los Drive Test son los siguientes:

- **TCH call request:** indica el número de intentos de establecimiento de llamada en esa celda, debe de realizarse al menos un intento para estudiar las condiciones en las que se encuentra la celda del nodo al que se le ha realizado un swap.
- **THC Access Probability:** una vez que la llamada ha sido desviada al TCH indicado, se mide cual es la probabilidad de acceso al canal de tráfico, es decir, se ha conseguido establecer la llamada entre la estación y el dispositivo.
- **CSSR (voz):** call setup success rate, indica el porcentaje de las llamadas de voz realizadas que se han establecido con éxito, es decir, el cociente entre el número de llamadas conectadas satisfactoriamente y el total de intentos realizados.
- **Dropped Calls:** Número de llamadas caídas en la celda.
- **UL EGPRS RLC Payload:** indica el número de kB que se han transmitido en sentido del dispositivo móvil a la estación.

- **DL EGPRS Payload:** igual que el parámetro medido anterior, pero en sentido descendente, de la estación al terminal. [5]

## 2. Drive Test Pre-Swap

En la ciudad de León y sus municipios existen un total de 73 estaciones base activas de la compañía de telecomunicaciones Claro, la gran mayoría contienen tecnología 3g, el modelo drive test consiste, en obtener datos de señal para mejorar la calidad del servicio de telefonía móvil celular y cumplir las normas técnicas estipuladas.

Se trabajarán con 19 sitios, correspondiente al casco urbano de la ciudad de León. Los pasos a seguir para el drive test son:

- Selección de los equipos para el drive test.
- Definición de rutas y metodología de la medición
- Carga de parámetros y verificación de los equipos: los equipos y herramientas de medición serán configuradas con indicadores de calidad:
- Tiempo promedio de espera para establecer una llamada
- Porcentaje de llamadas logradas o completadas
- Porcentaje de llamadas caídas

## 3. Equipos utilizados para el Drive Test

- **Vehículo**

Para cubrir una zona determinada y poder trasladar los equipos que se necesitan en el proceso para obtener los datos del drive test, es necesario un vehículo.

- **Teléfonos Móviles**

Los teléfonos móviles cumplen una función importante en el proceso de Drive Test. Actualmente existen múltiples herramientas que ayudan durante los procesos de drive test, nosotros en particular usamos la aplicación G-Net-Track, además usamos el teléfono de forma tradicional realizando llamadas dentro del área designada para hacer el drive test, esto se hizo con el objetivo de llevar un

conteo estadístico de cómo reaccionan las llamadas en distintos puntos del área de cobertura designado para hacer el drive test.

Este documento monográfico está centrado en estudio de tecnología 3G, por lo que es de suma importancia realizar las configuraciones pertinentes en el teléfono o dispositivo con el que se realizaran las mediciones de campo.

- **Herramienta de para Drive Test (GNet Track)**

En este documento trabajaremos con la aplicación G-NetTrack. Se optó por ella porque es gratuita y los parámetros recopilados eran bastante amplios.

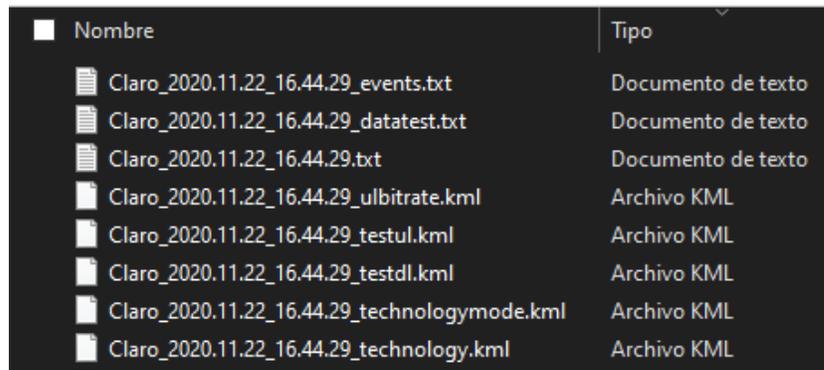
Nosotros optamos por trabajar con la versión pagada, debido a que contiene más funciones adicionales.

- Medición de información de células vecinas y servicio 2G / 3G / 4G / 5G
- Registrar medidas en archivos de registro (texto y formato kml)
- Importación / exportación de archivos de celda y visualización de líneas de celdas vecinas y de servicio en el mapa
- Carga de rutas predefinidas
- Secuencia de prueba de voz
- Secuencia de prueba de datos (carga, descarga, ping)
- Secuencia de prueba de SMS
- Secuencia mixta de datos / voz / SMS
- Control Bluetooth de varios teléfonos.
- Control G-NetWiFi
- Escaneo de células
- Carga y descarga multiproceso
- Gráfico con niveles de células vecinas y de servicio
- Uso del barómetro para la determinación de la altura
- Número ilimitado de capas de celdas y colores de celdas personalizados

Al iniciar el Log o campaña la aplicación crea automáticamente un directorio en la carpeta “G-NetTrack\_Logs” en el almacenamiento principal del teléfono con un nombre de este estilo: NOMBRE\_ OPERADOR\_ año. mes. día\_ hora. minuto.

segundo (por ejemplo: Claro\_2020.08.15\_16.06.41), que contiene el nombre del operador móvil al cual se está conectando al comenzar la campaña y se crean unos archivos de texto y KMLs.

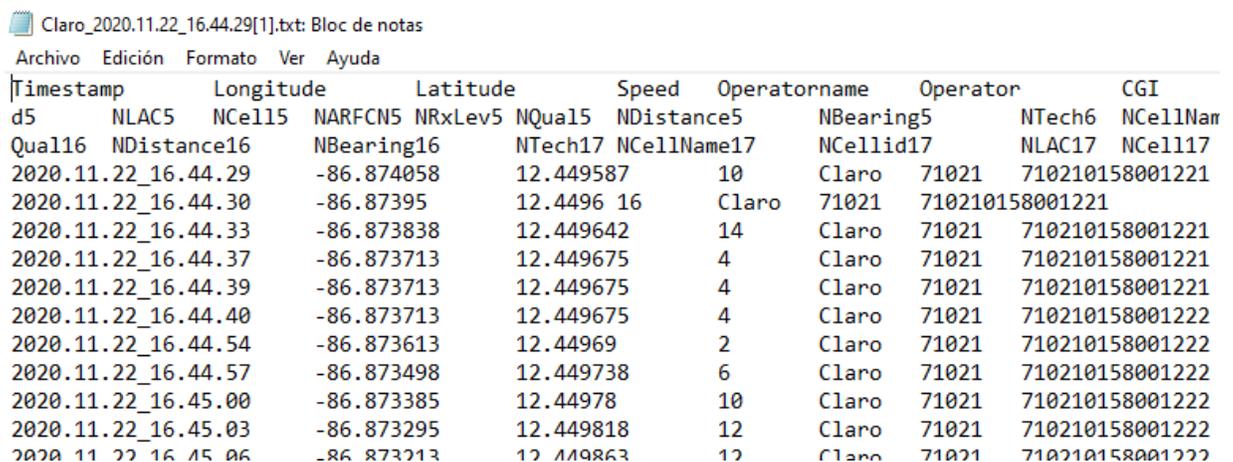
Al finalizar se puede ver que se han creado varios archivos KML, que obviaremos, y tres archivos de texto: el de medidas, datatest y el de eventos, esto los puede observar en la figura 25.



**Figura 25. Archivos generados por la aplicación**

En uno de los archivos texto contiene información en forma de tabla (filas y columnas) cuyas columnas son los campos de las medidas y cada una de las filas es una medida, excepto la primera, que contiene los nombres de los campos, que son:

Un ejemplo de un archivo de medidas obtenido en una ejecución de G-NetTrack se muestra en la siguiente figura.



**Figura 26. Archivo de medidas**



La creación de una campaña genera también un archivo de texto con los eventos que tuvieron lugar durante el drive test. Estos eventos pueden ser:

En la figura 27 podemos observar el archivo de texto generado.

Claro\_2020.11.22\_16.44.29\_events[1].txt: Bloc de notas

Timestamp	Longitude	Latitude	Operatorname	Node	CellID	LAC	NetworkTech
2020.11.22_16.44.39	-86.873713	12.449675	Claro	503	1221	1580	3G -71
2020.11.22_16.44.40	-86.873713	12.449675	Claro	503	1222	1580	3G -73
2020.11.22_16.45.49	-86.871678	12.450875	Claro	503	1221	1580	3G -81
2020.11.22_16.49.58	-86.866832	12.456837	Claro	503	1221	1580	3G -83
2020.11.22_16.50.10	-86.86622	12.45621	Claro	503	4221	1580	3G -79
2020.11.22_16.50.14	-86.86604	12.456007	Claro	503	4222	1580	3G -77
2020.11.22_16.50.25	-86.865562	12.455408	Claro	503	4222	1580	3G -61
2020.11.22_16.55.06	-86.872143	12.445438	Claro	503	1222	1580	3G -85
2020.11.22_16.55.42	-86.872627	12.445155	Claro	503	1222	1580	3G -85
2020.11.22_16.55.44	-86.872668	12.445037	Claro	0	0	0	3G -113
2020.11.22_16.55.51	-86.87285	12.444492	Claro	0	0	0	3G -113
2020.11.22_16.55.54	-86.87291	12.444345	Claro	503	1303	1580	3G -71
2020.11.22_17.00.55	-86.8757	12.437875	Claro	0	0	0	3G -113
2020.11.22_17.01.39	-86.875837	12.436327	Claro	0	0	0	3G -113
2020.11.22_17.01.46	-86.875802	12.43599	Claro	503	10993	1580	3G -83
2020.11.22_17.01.50	-86.875793	12.435867	Claro	503	10993	1580	3G -83

**Figura 27. Archivo de eventos**

### Definición de las rutas y metodología de la medición

Para definir una ruta en la que se va a realizar las respectivas mediciones de Drive Test, se debe hacer un estudio previo en base a la locación de las estaciones base, se debe tomar en cuenta la cantidad de estaciones y la mejor ruta a recorrer para no tener excesos de redundancia en los datos medidos.

Es recomendable realizar las mediciones en horas laborales y por lo general días hábiles donde se estima que hay un mayor flujo de llamadas y transmisión de datos, esto es para obtener una percepción de la calidad del servicio en horas en la que la red celular es más exigida.

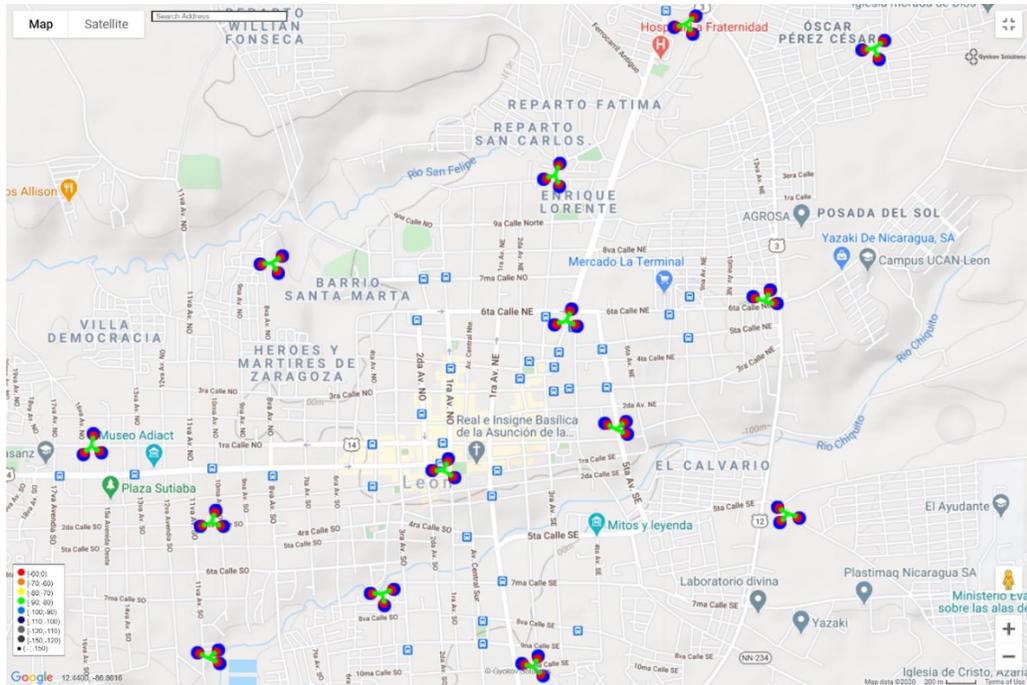


Figura 28. Ubicación de las Antenas en la ciudad de León.

La organización y planeación son muy importantes antes y durante el proceso de Drive Test, en este caso en particular, se hace muy complicado realizar las lecturas de campo por todo el departamento de León y sus municipios, en orden de mostrar información precisa y no llenar a los lectores con una cantidad enorme de datos comparativos e información de cada una de las mediciones, decidimos concentrar el proceso de las mediciones de campos meramente a la ciudad de León, que es donde se registra el mayor flujo de trabajo y transmisión de datos.

La figura 29, muestra los niveles de señal obtenidos y exportado a Google Earth. en cambio, la figura 30, muestra los mismos niveles de señal, pero desde la aplicación en línea GNet Look.

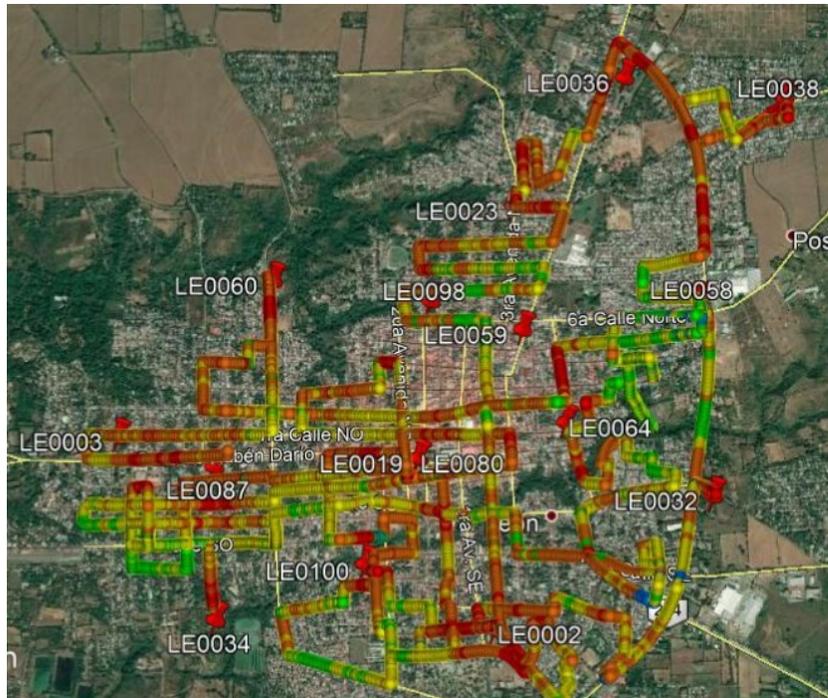


Figura 29. Drive Test realizado en la ciudad de León (Vista Satelital)

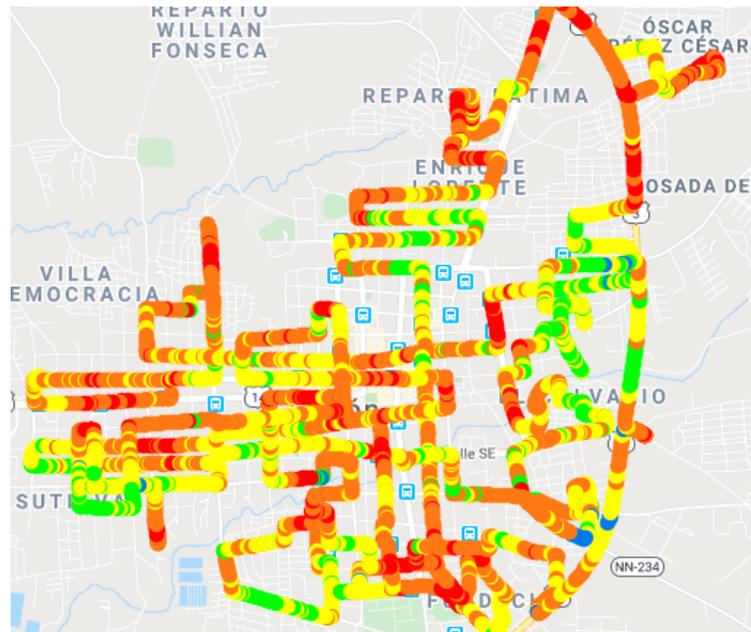


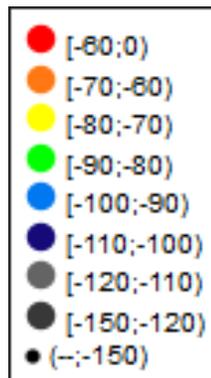
Figura 30. Drive Test realizado en la ciudad de León (GNet Look)

La ruta seleccionada toma en consideración 13 sitios, todas con tecnología 3G, con fines demostrativos se realizaron llamadas telefónicas además de las mediciones para poner a prueba que tan acertada era la aplicación G-Nettrack y

establecer un promedio en el cual la calidad de la llamada era aceptable y la velocidad de conexión era casi inmediata.

La intensidad de la señal en la figura 30 está representada de la siguiente manera:

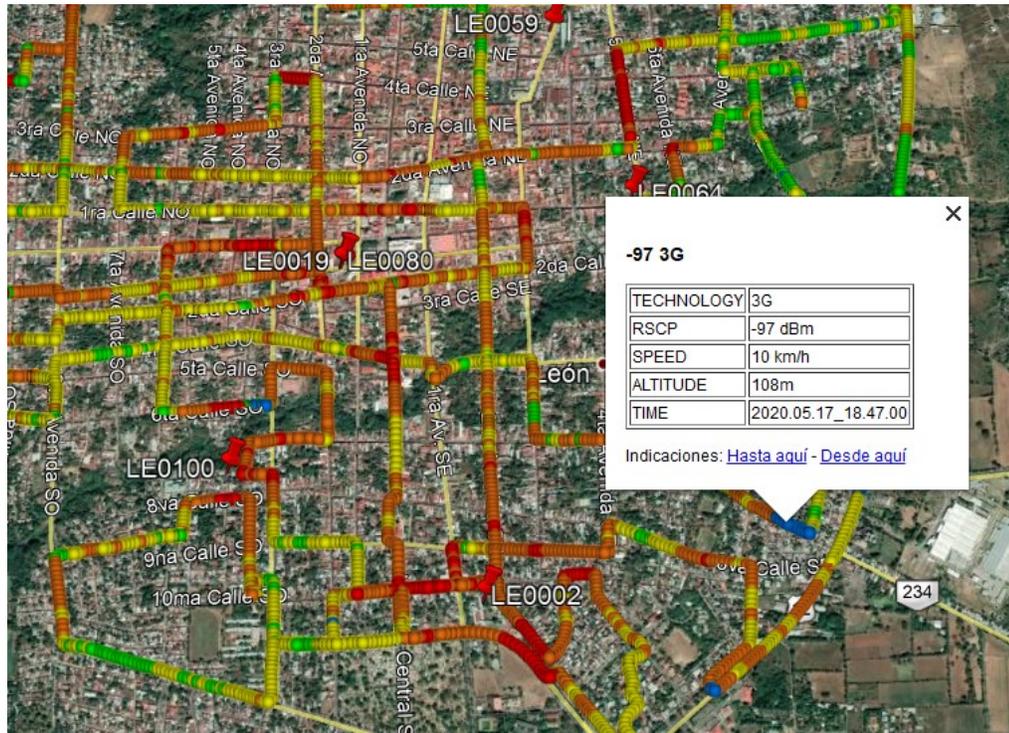
- Más de -76 dBm (números más cercanos a 0) = Excelente Color Rojo
- Entre -89 y -77 = Muy Buena Color Naranja
- Entre -97 y -90 = Buena/Media Color Amarillo
- Entre -103 y -98 = Baja cobertura Color Verde
- Entre -112 y -104 = Bajísima cobertura (problemas para establecer llamadas) Color Azul
- Entre -113 y -132 dBm = Muy poca cobertura (problemas para establecer llamadas y rendimiento bajísimo) Color Púrpura
- A partir de -135 = Sin cobertura Color Negro



**Figura 31. Nivel de señal dBm**

Durante el recorrido obtuvimos que la peor medición a nivel numérico fue de -97 dBm, se puede observar en la figura 32, si bien fuimos capaces de hacer una llamada telefónica, la velocidad de conexión era muy lenta y en ocasiones había problemas con la calidad de la llamada, realizamos 104 llamadas de las cuales, el promedio de conexión de la llamada toma un aproximado de 3-5 segundos, mientras que en la zona donde se realizó la medición de más baja calidad e intensidad de señal la conexión de la llamada puede tomar hasta 10 segundos y

en 7 de ellas no se pudo establecer ningún tipo de comunicación debido a la poca intensidad de la señal.



**Figura 32. Medición y datos mostrados por aplicación G-Netrack.**

El porcentaje de llamadas logradas o completadas lo calculamos con la ecuación 1:

$$%A = \frac{A}{T} * 100 \quad (1)$$

En donde A es el número de llamadas completadas de acuerdo al tipo de llamada.

T= número total de llamadas marcadas.

De acuerdo a la norma de calidad de telecomunicaciones, se debe cumplir con un porcentaje de llamadas completadas igual o mayor a 90%, y se consideran llamadas completadas a los siguientes casos:

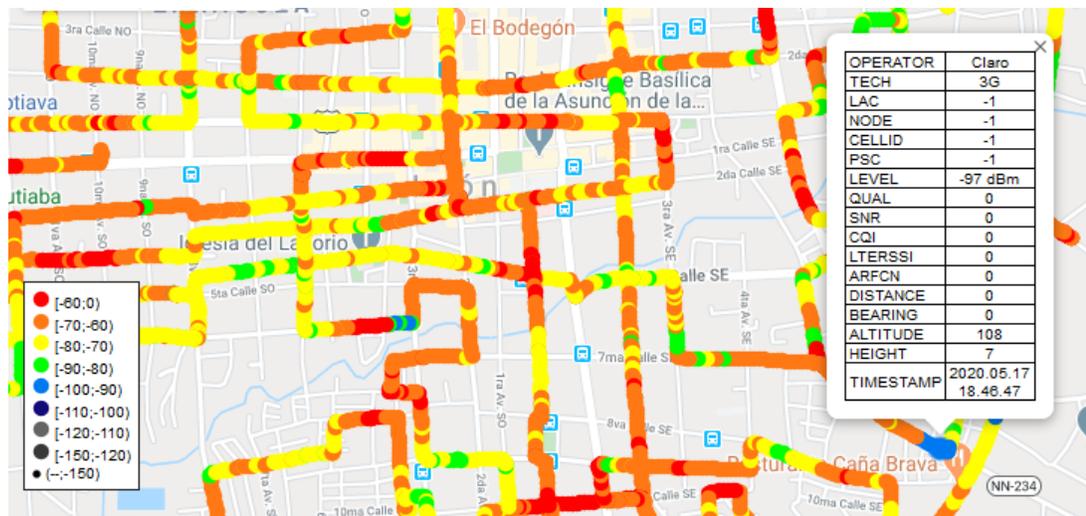
- El usuario recibe una llamada o el cliente contesta.
- El terminal llamado está ocupado. En este caso el destino adecuado es el tono de ocupado o la casilla de voz de abonado.

- El terminal llamado esta apagado o se encuentre fuera del área de servicio.
- El terminal móvil llamado, recibe la llamada, pero no contesta y se encamina al buzón de voz.
- El usuario inicial ha marcado un número que no existe. El destino es el anuncio grabado correspondiente.
- El terminal móvil se encuentra con el servicio restringido por falta de pago a petición del abonado. En este caso el destino adecuado, es el anuncio grabado correspondiente o el buzón de voz.

Usando la ecuación 1, obtenemos nuestro total de llamadas completadas:

$$%A = \frac{97}{104} * 100$$

Con un porcentaje de 92% en llamadas completas, cumple la normal de calidad de Telecomunicaciones, sin embargo, se encontró una debilidad de la señal en un tramo de la ruta, con la ayuda de la aplicación GNet Look podemos observar los puntos exacto a como se muestra en la figura 33.



**Figura 33. Área con baja intensidad de señal.**

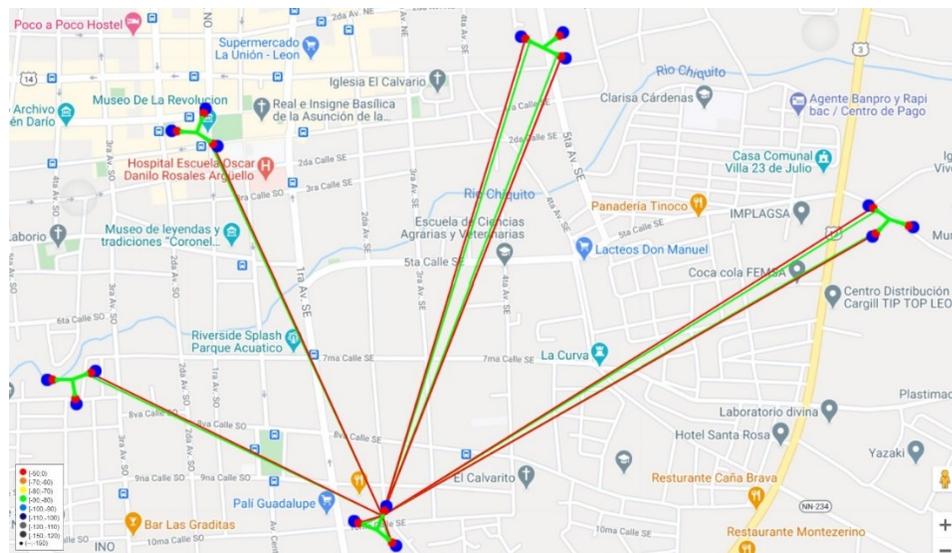
#### 4. Diseño de radio.

Los especialistas de diseño de radio deben realiza un estudio mediante los datos incluidos en el acta de replanteo, el diseño de radio consiste en crear las celdas que sean necesarias con las antenas correspondientes dependiendo de la



zona que deben cubrir y definir las posibles vecindades de cada una de las celdas, teniendo en cuenta la distancia entre celdas y las frecuencias utilizadas en cada una de ellas. Un aspecto muy importante durante el proceso de un swap es la carga de las relaciones de vecinas. Para realizar este proceso correctamente hay que tener en cuenta algunos aspectos importantes:

- **Cambio de nombre tras el swap:** En termino practico los nombres de los sitios se mantienen igual, pero es posible que tras el proceso de swap la estación base pase a llamarse de una forma distinta, porque hay que definir de nuevo todas las relaciones de vecindad en las que se encuentre implicada la estación a la que se le realizará el cambio, hay que actualizar todas las bases de datos y listados correspondientes.
- **Cambio RNC/BSC:** Tras el swap puede que la RNC/BSC de la que cuelga el nodo varíe, por tanto, es importante definir las relaciones de vecindad en la RNC correcta, así como actualizar las definiciones de externas que sean necesarias.
- **Nuevas estaciones:** Otra posibilidad dentro de los trabajos de swap es que, en lugar de realiza cambios en una estación ya existente, se realiza una integración de una nueva estación. En este caso hay que preparar un listado de vecinas desde cero, teniendo en cuenta el entorno de la estación, los nodos próximos, las orientaciones y alcances de las celdas, etc. [23]
- **Establecimiento de vecinas:** Para el correcto funcionamiento de las celdas desplegadas, se deben definir correctamente y cargar en red (RNC) las celdas vecinas con las que se espera que se realice el traspaso de llamada. Hay que tener claro los límites de vecindades que es capaz de gestionar los equipos instalados, así como una noción de que distancia es capaz de cubrir una determinada estación en función de su tecnología y su ubicación. Las celdas que son adyacentes a otras son definidas en base a los planes de handover.



**Figura 34. Representación de celdas vecinas.**

En la figura 34, podemos observar el establecimiento de vecinas de los sitios de la ciudad de León.

Para el diseño de las celdas, dependiendo si estas son 2G o 3G, se deben definir una serie de parámetros básicos que en conjunto permiten que la celda sea única y que pueda estar conectada a otras celdas con las que hacer handover.

Una vez realizado el diseño de las celdas en las que se va a realizar el swap, que normalmente conservaran los valores de celdas existentes previamente, excepto que el cliente lo requiera, se deben diseñar las relaciones de vecindad. [28]

La interacción de una estación con el entorno se realizará a través del proceso de handover, que a como ya sabemos y mencionamos anteriormente se define como el traspaso del control de una llamada de una celda a otra. Para el usuario, esto se realiza de forma transparente, es decir, el usuario no tiene que notar el traspaso de la llamada dentro de las mismas celdas. [28]

Además, se debe producir la reelección de celda, esto es, se selecciona la celda con mejores condiciones para empezar una llamada. Cada celda debe tener definida vecinas 3G-3G, 3G-LTE, LTE-3G, 3G-GSM, GSM-3G. a las relaciones entre mismas tecnologías las llamaremos vecinas intrafrecuencia. A las



vecindades entre distintas tecnologías las llamaremos interfrecuencia. Estas relaciones de vecinas sirven para penalizar o beneficiar la realización del handover. [28]

Es muy importante que una celda tenga definida siempre sus vecinas cosite, es decir, con las que comparte la misma locación, denominado en ingles site. También, estas relaciones de vecindad deber ser reciprocas, es decir, la celda origen debe tener definida la celda destino como vecina, y de la misma forma, la celda destino debe tener definida como la celda origen. [28]

En principio, para cada celda deben conservarse las mismas vecinas que tenían definidas antes del swap. Sin embargo, gracias a la modernización del sistema, es posible que se creen nuevas vecindades inexistentes previamente debido a un posible aumento del área de cobertura o incluso a la integración de una nueva tecnología en una Estación Base cercana. [28]

El listado de vecinas es finito, porque un gran número de vecinas definidas puede provocar lo que se denomina "pimponeo", es decir, constantes saltos entre celdas vecinas para estar siempre relacionada a la que tiene mejores condiciones. El resultado de tantos saltos puede ser una interferencia muy alta en la llamada. Igualmente, a mayor número de vecinas, se producirán mayores problemas de sobre alcance y mucho tráfico de señalización. [28]

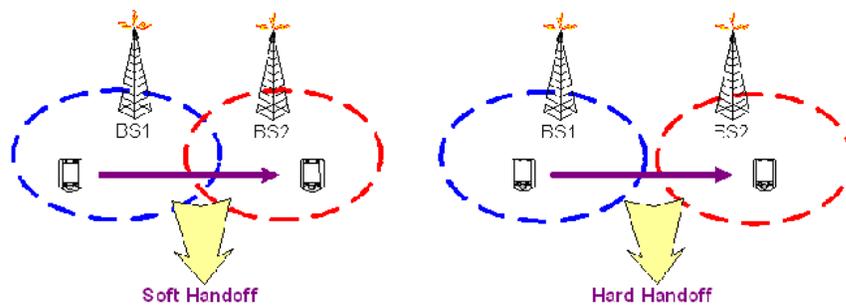
Dentro del proceso de handover podremos encontrar:

- **Soft y softer handover:** un equipo terminal puede comunicarse simultáneamente con dos o más células en dos o más estaciones bases diferentes. La flexibilidad en mantener la conexión en más de una estación base resulta menos pedida de llamadas.

Para realizar el buen funcionamiento del sistema con un re-uso de frecuencia 1 y el control de potencia, es necesario soft y softer handover. Soft y softer handover posibilitan al equipo mantener la continuidad y la calidad de la conexión mientras cambia de una celda a otra. Durante el soft y softer handover, la potencia del móvil será momentáneamente ajustada a la estación

que requiere una suma de potencia menor de transmisión y la celda preferida puede cambiar muy rápidamente.

- **Hard handover:** Puede tener lugar como en intra- o inter-frecuencia handover. El hard handover se usa para las generaciones de sistemas anteriores. Aquí, cuando los UE se muevan fuera de rango de un nodo B la llamada tiene que ser entregada a otro canal de frecuencia. En este caso, la recepción simultánea de ambos canales no es posible. Si el hard handover se requiere, entonces el RNC le dirá al UE que adopte el modo comprimido, permitiendo la habilitación de intervalos de tiempo cortos en lo cual el UE pueda medir la calidad del canal de otros canales de la radio. [29]



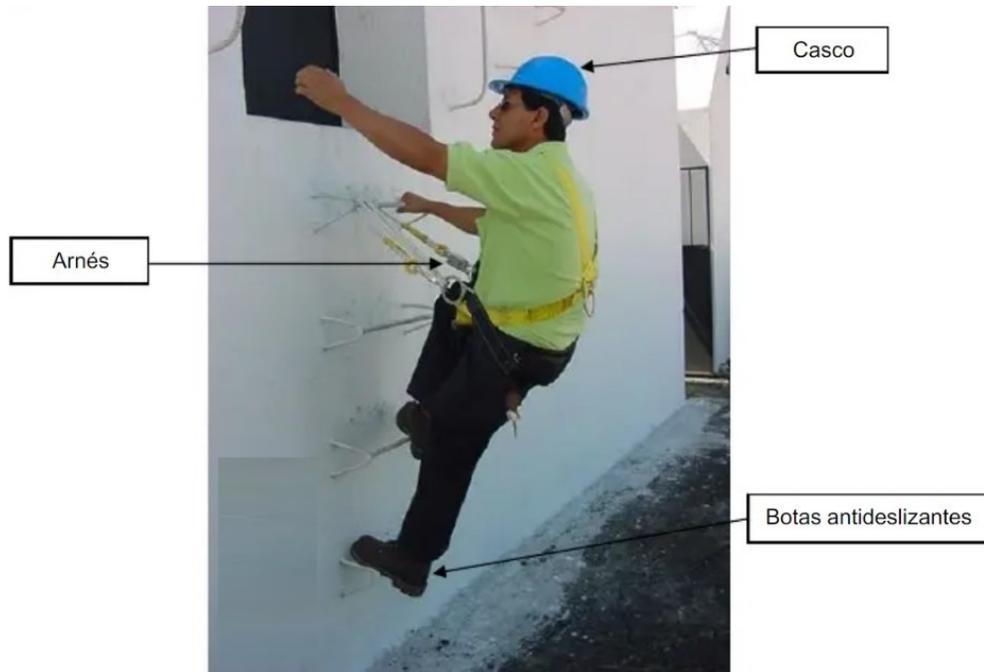
**Figura 35. Soft handover y hard handover.**

En la figura 35 Podemos observar las diferencias los tipos de Handover mencionados anteriormente.

## Capítulo IV: Tareas durante el Swap.

### 1. Confirmar en sitio los equipos instalados y mencionados en el levantamiento de sitio.

Se deben cumplir normas básicas de seguridad para trabajos en torres o edificios, el uso de: arnés de seguridad, casco, botas con puntas de acero, es obligatorio dentro de la estación. [30]



**Figura 36. Equipos de Seguridad. [30]**

Tal y como se describe en el drive test Pre-Swap el sitio **LE05** fue donde se identificó baja cobertura y mala calidad de señal, dicha intensidad de señal puede ser apreciada en la figura 33.

Debido a eso el presente trabajo monográfico simulara el proceso de Swap de hardware con dicho sitio, se analizarán y compararan los KPI's para verificar el mejoramiento de la red de telefonía móvil y brindar un mejor servicio a los usuarios de la zona.

Actualmente en la estación **LE05** se ubica una RBS 3106 la cual consiste de las siguientes partes y especificaciones:

- Fan Control Unit (FCU)
- Direct Current Filter (DCF)
- Filter Unit (FU)
- Radio Unit (RU)
- Power Distribution Unit (PDU)
- Control Base Unit (CBU)
- Exchange Terminal (ET) Board
- Random Access and Receiver (RAX) board
- Transmitter (TX) board
- Radio Unit Interface (RUIF)
- Climate Unit (CLU)
- Climate Control Unit (CCU)
- Auxiliary Distribution Module (ADM)
- Auxiliary Unit Hub (AUH)
- Battery Fuse Unit (BFU)
- Alternating Current Connection Unit (ACCU)
- External Alarm Unit (XALM)
- Overvoltage Protection (OVP)
- Distribution Frame (DF)

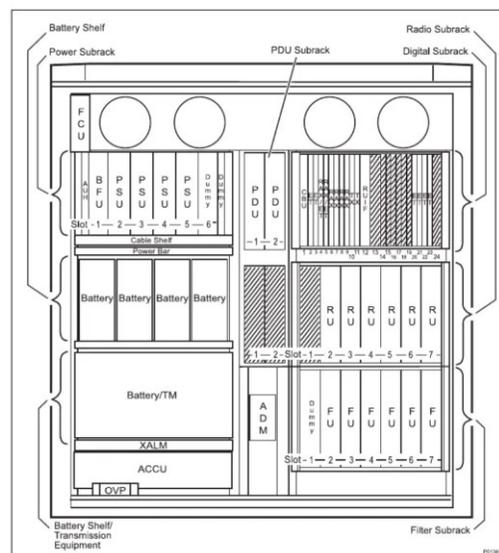
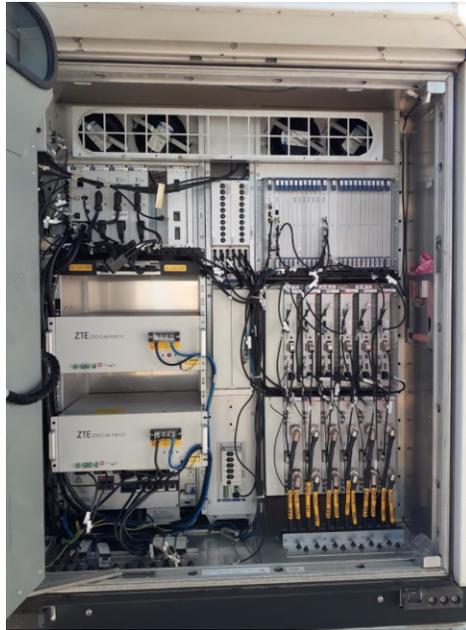


Figura 37. Diagrama interior de cabina RBS 3106 [31]



**Figura 38. Foto del interior de una RBS 3106.**

Si bien la cabina RBS 3106 representada en la figura 38, fue usada durante muchos años, sus principales desventajas son el alto consumo energetico, calor desprendido dentro del cajon y falta de compatibilidad con tecnologia 4G.

La propuesta para el nuevo hardware a instalar depende de las necesidades del proveedor, compatibilidad entre el equipo nuevo y lo anteriormente instalado, tal y como se menciona en la inspeccion del sitio es normal que en algunos swap's se cambien tambien las antenas, suponiendo que se cambien tambien las antenas haremos mencion de ciertos procedimientos que enriquezaran sobre procesos de instalacion de equipos al lector.

### **Instalacion de los equipos radiante (Si aplica)**

Este trabajo monografico esta enfocado a realizar un Swap de power one gabinete, sin embargo, mencionaremos otros cambios que se pueden hacer durante el proceso de swap, por ejemplo cuando se tiene que implemetar un nuevo sistema radiante (antena, jumper, feeder, etc.)

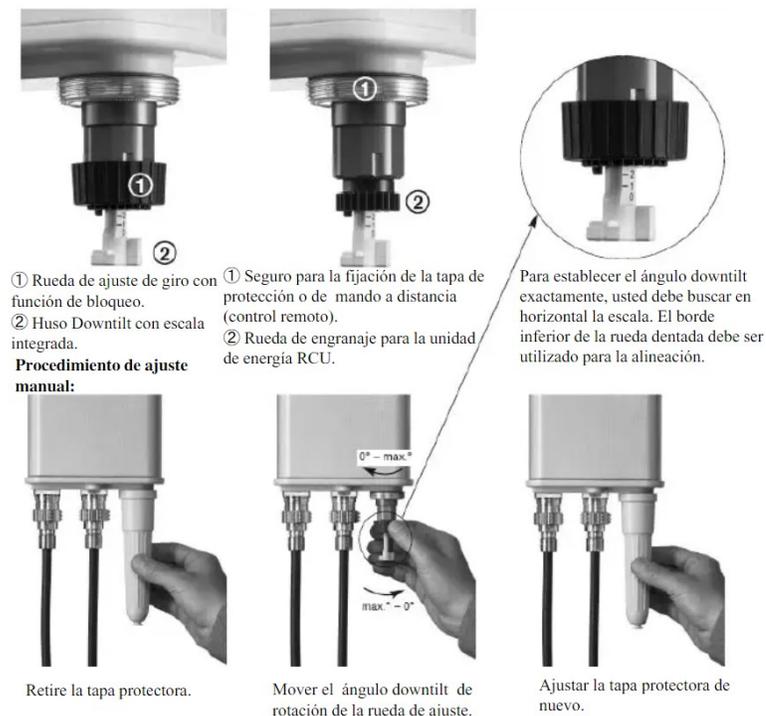
## 2. Armado de antenas

Las antenas llegan con accesorios de montaje que se los debe instalar de la manera adecuada, evitando que los pernos se aislen ya que los accesorios llegan justo para su debida sujecion.



**Figura 39. Mounting kit de una antena.**

Se debe tener a mano el dato y configuración de cada una de las antenas que se van a instalar, para la modificación del tilt eléctrico de las antenas, el parámetro se debe colocar antes de realizar el montaje de la antena al polo. [30]

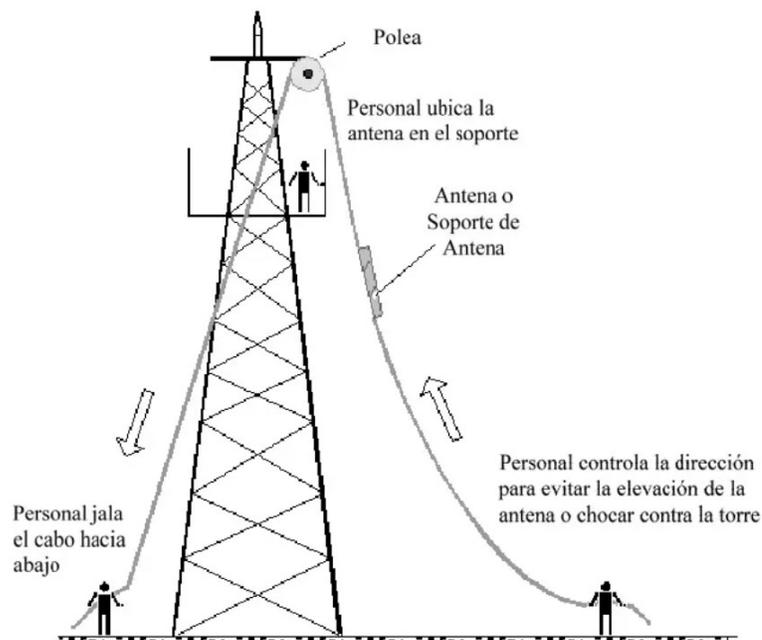


**Figura 40. Cambio de Tilt Eléctrico.**

### Montaje de la antena en los mounting poles.

Para el proceso de montaje, las antenas a instalar deben estar previamente armadas y se recomienda lo siguiente:

- Cuando la antena este subiendo, prevenir que la antena choque con la torre o cualquier otra cosa para evitar dañarla.
- Asegurarse que ninguna persona este debajo de la antena que está en proceso de instalación.
- Asegurar que las condiciones climáticas sean adecuadas para trabajo en las alturas, de preferencia poco viento.
- Tomar todas las medidas necesarias para garantizar una instalación segura.
- Montar una polea fija en la parte superior de la torre.
- El personal debe trabajar juntos para levantar la antena.



**Figura 43. Proceso de montaje de antena.**

### 3. Modificar parámetro de Tilt Mecánico y Azimut de las antenas.

Para este paso las antenas ya deben estar instaladas en los mounting poles y el error en el azimut no debe ser superior a  $0,5^\circ$ .

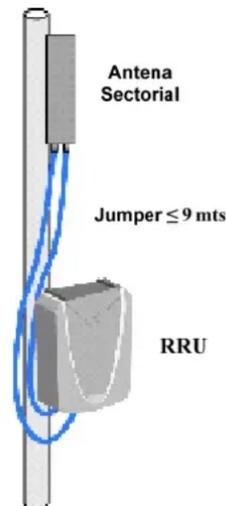
El personal ubicado en la torre y el personal que se encuentra en tierra deben coordinar la colocación de la antena en el azimut como indica la hoja técnica para cada uno de los sectores y para colocar el parámetro de tilt mecánico es necesario utilizar un inclinómetro con los valores que aparecen en la hoja técnica. [30]

### Instalación de jumper y feeder

Los jumpers ya vienen pre-fabricados para la conexión entre la Antena y RRU, está constituido de feeder de 1/2 con conectores de 1/2 DIN 7/16 y viene en longitudes de 3 mts, 6 mts y 9 mts.

**Tabla 2. Conexión Antena - RRU**

Puerto Antena	Puerto RRU
-45	ANT_TX/RXA
45	ANT_RXB



**Figura 41. Conexión Jumper.**

Para la instalación del feeder se debe revisar la trayectoria del feeder desde las antenas hasta las RRU y verificar que el camino se encuentre sin obstrucciones. Cabe destacar que los nuevos hardware en su mayoría utilizan fibra óptica en vez de conexión feeder, en la figura 41 muestra una conexión vía feeder. [30]

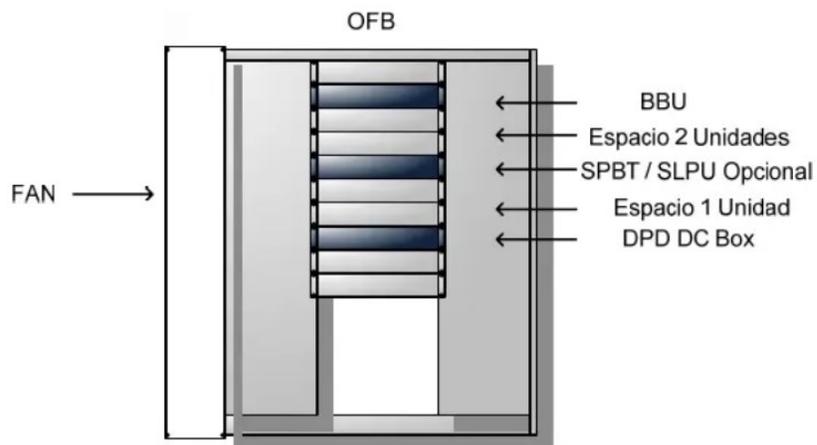
#### 4. Instalación de nuevo hardware con su gabinete y propuesta de nuevo equipo a instalar.

Se han abordado múltiples opciones y tipos de swap que se pueden realizar, pero el más aproximado a la realidad y el que nosotros como autores de este trabajo monográfico proponemos es el cambio de gabinete RBS 3106 que actualmente se encuentra en el sitio LE05.

En el sitio se instalará una BBU, una DPD DC Box, y 3 RRU's, en la mayoría de los casos los equipos se encuentran en el rack o gabinete, el cual puede ser para emplazamiento interior o un OFB para emplazamiento exterior.

La instalación que proponemos es para un equipo o gabinete outdoor OFB (Ver figura 42), previa a la instalación de este equipo se verifica la posición indicada en el trabajo pre-Swap, y las RRU's deben ir instaladas outdoor en los polos designados.

Los equipos SPBT/SLPU es un equipo opcional y depende de la longitud del par trenzado que va desde la BBU hasta el DDF, y si es superior a los 5 metros se requiere una unidad de este tipo para su protección. [30]



**Figura 42. Disposición de equipos en OFB (Outdoor)**

Hacemos la propuesta para dos proveedores de tecnología diferente, ya que son los que más predominan en Nicaragua:

### Propuesta para nuevo hardware proveedor Ericsson RBS 6601

Para WCDMA esta RBS es normalmente configurada con hasta 4 portadoras y 3 sectores. Para GSM, normalmente se configura con 3 sectores y hasta 4 portadoras y para LTE lo normal son 3 sectores configurados. El número RRU's soportadas dependen de la configuración de radios disponibles. [33]

Las principales características del RBS 6601 son las siguientes:

- Incluye una unidad principal basada en subracks que se alojará en una estructura de rack de 19 pulgadas, ya sea un RBS existente u otros racks estándar.
- Tiene una fuente de alimentación de -48 V CC (dos cables)
- Admite el sistema de posicionamiento global externo (GPS)
- Admite alarmas externas integradas
- Admite configuraciones multiestándar de modo único y modo mixto
- Energía bajo demanda: reingeniería de la fuente de alimentación e integrarlo en el sistema fueron objetivos clave en el diseño del RBS. Serie 6000. La fuente de alimentación inteligente proporciona energía a pedido que coincida exactamente con lo que se necesita en un momento dado, por lo que asegurando que el consumo de energía se mantenga al mínimo absoluto.
- Puede configurarse con la Unidad de conectividad de transporte (TCU)

La siguiente es una lista de valores para el entorno operativo normal de la unidad principal:

- Temperatura                    +5 hasta +50°C
- Humedad Relativa            5 hasta 85%
- Humedad Absoluta            1 hasta 25 g/m<sup>3</sup>

La disipación de calor va a depender de la configuración DU tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3. Disipación de calor dependiendo configuración.**

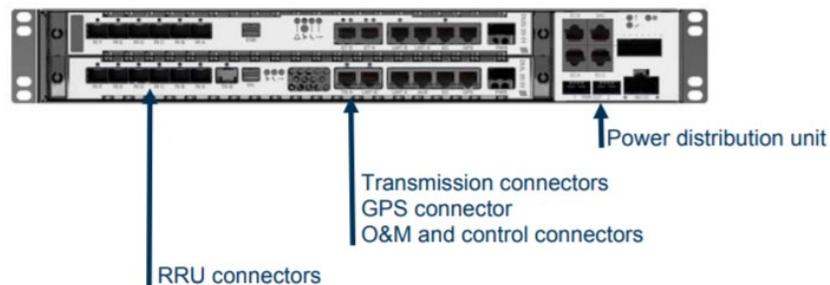
Configuración DU	Máxima disipación de calor, unidad principal
1xDUW	295 W
2xDUG	135W
2xDUL	240 W
1xDUG + 1xTCU 02	160W
1xDUL + 1xTCU 02	210W

La unidad principal RBS 6601 está diseñada para entornos interiores, preferiblemente montado en un bastidor de 19 pulgadas. Se puede alojar un DUW o dos DUG / DUL en una unidad principal RBS 6601 donde para esta configuración específica se utilizará DUW principalmente utilizada con WCDMA (Ver figuras 43 y 44). [33]

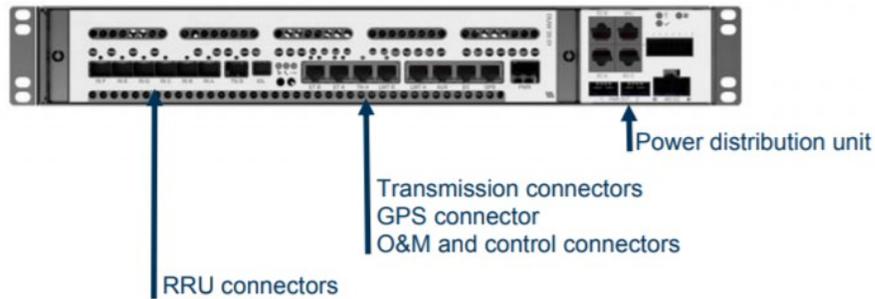
Algunas de las características clave de la unidad principal RBS 6601 son:

- Distribución de energía de -48 VCC a unidades digitales
- Sistema de climatización que incluye ventiladores integrados y pieza de control

Proporciona un número limitado de conexiones de alarma de cliente integradas, así como conexión a una Unidad de alarma de apoyo (SAU).



**Figura 43. Unidad principal RBS6601 con DUG/DUL. [33]**



**Figura 44. Unidad principal RBS 6601 con DUW. [33]**

El RBS 6601 es una solución perfecta para lograr cobertura y capacidad en entornos suburbanos. El Main Remote RBS 6601 proporciona un área amplia cobertura donde la expansión se puede implementar de manera rentable.

Los sitios de radio en áreas remotas con acceso limitado a la infraestructura de energía pueden beneficiarse del Main Remote RBS 6601, ya que ofrece baja potencia consumo y alta eficiencia al mismo tiempo.

Las RRU's compatibles en este sistema son:

**Tabla 4. RRU 22. [33]**

Frecuencia	WCDMA
800 (B5)	X
900E (B8)	X
1700/2100 (B4)	X
1700/1800 (B9)	X
1900 (B2)	X
2100 (B1)	X

**Tabla 5. RRU W [33]**

Frecuencia	WCDMA
800 (B5)	X
1900 (B2)	X
2100 (B1)	X
1500 (B11)	X

Tabla 6. RRU 01 [33]

Frecuencia	GSM	WCDMA	LTE
800 (B5)	X	X	
900P (B0)	X		
900E (B8)	X	X	
1800 (B3)	X	X	X
1700/1800 (B9)		X	
1900 (B2)	X	X	
2100 (B1)		X	

Tabla 7. RRU 11 [33]

Frecuencia	WCDMA	LTE
700 (B12)		X
800 (B20)		X
800 (B26)		X
850 (B5)	X	X
1900 (B2)	X	X
1700/2100 (B4)	X	X
2100 (B1)	X	X
2600 (B7)		X
1900 – extendido (B25)		X

Tabla 8. RRU 61 [33]

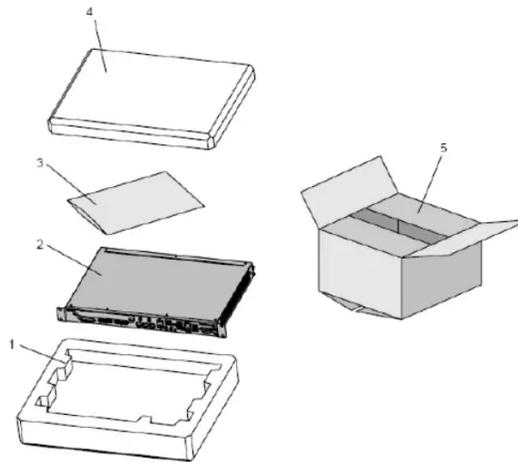
Frecuencia	WCDMA
2300 (B40) A, B, C, D, E & F	X

En el presente documento, el proceso de swap se trabajará con la RRU 11, ya que admite WCDMA, CDMA y LTE (según la frecuencia banda), a diferencia de los otros tipos que solo admiten LTE con una banda de frecuencia en específica y tiene dos ramas RX / TX dúplex y admite conexión cruzada de RX puertos con otras RRU.

## 5. Recomendaciones para desembalaje de los equipos.

Al momento de recibir los materiales de instalación del gabinete es necesario ubicarlos en un lugar impermeable, y asegurarse que las cajas no se encuentren golpeadas o tengan algún defecto, en la figura 45 se observa un ejemplo de cómo vienen embalados estos componentes. [30]

Se recomienda revisar el modelo y cantidad de componentes dentro de la caja y comparar si coinciden con la lista de materiales para dar la debida aceptación.



(1) Espuma de embalaje inferior. (2) BBU (3) Bolsa ESD  
(4) Espuma de embalaje superior. (5) Cartón

**Figura 45.Empaque de BBU**

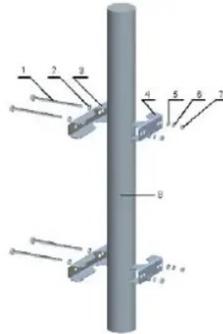
#### **Armado de OFB y Accesorios (BBU, DPD DC Box, SLP/SPBT).**

Los equipos vienen con sus respectivos tornillos de sujeción, normalmente son tipo L para asegurar debidamente a la estructura donde se va a instalar.



**Figura 46.Ejemplo de accesorios de sujeción para los equipos.**

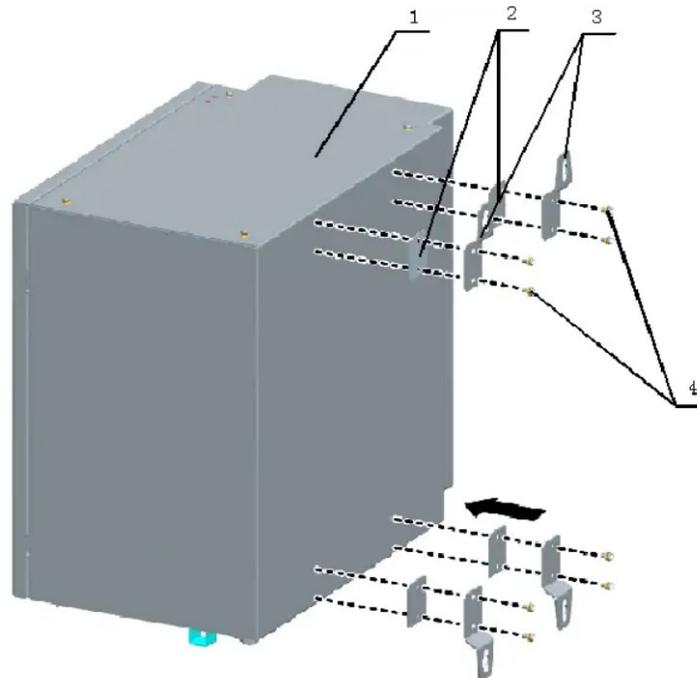
Para la instalación del OFB como se mencionaba anteriormente se tiene que determinar la posición según indique el TSS del sitio, Utilice los pernos y las tuercas para montar los cuellos en el polo, como se muestra en la figura. Asegúrese que el polo permanezca en el centro de los accesorios. [30]



- (1) M10 x 180 tornillo (2) Arandela plana (3) Cuello largo (4) Cuello corto  
 (5) Arandela plana (6) Arandela de presión (7) Tuerca (8) Polo

**Figura 47. Montaje de cuellos en el Polo.**

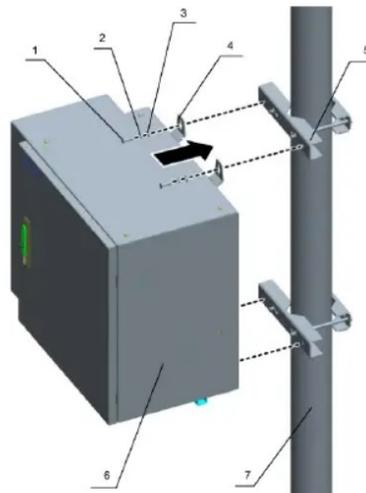
Utilice los tornillos para instalar las 4 orejas en la parte trasera del OFB.  
 Coloque las almohadillas de goma entre las orejas de montaje y el OFB.



- (1) Housing OFB (2) Almohadillas de goma  
 (3) Montaje de la orejas (4) Tornillos M6 x 14

**Figura 48. Instalación de accesorios de sujeción en la OFB.**

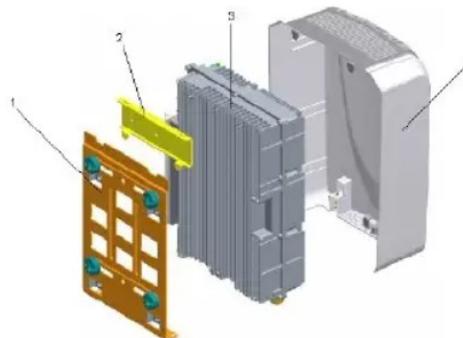
Una vez instalados los accesorios de sujeción coloque el OFB en el cuello largo del polo, asegurar los pernos y poner cada tornillo de montaje a través de la oreja y el cuello largo. [30]



(1) Tornillo M8 x 25 (2) Arandela de presión (3) Arandela plana  
(4) Montaje de oreja (5) Cuello largo (6) Housing OFB (7) Polo

**Figura 49. Sujeción del OFB al Polo**

#### Armado de la RRU:

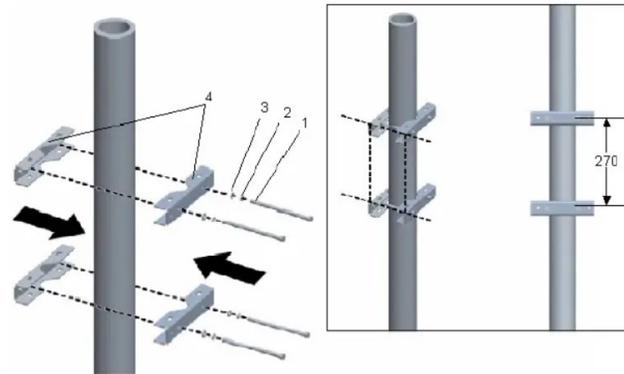


(1) Placa de montaje (2) Placa de fijación (3) Módulo RRU (4) Housing

**Figura 50. Componentes de una RRU.**

Hay que determinar la posición de la placa de montaje en el polo, y asegurarse de que cumpla con el espacio requerido por la RRU, en la figura 50 podemos apreciar la estructura interna de una RRU, normalmente en los procesos de SWAP se reutilizan las RRU, estas se cambia cuando los radios instalados no cumplen los estándares o no son compatibles con las nuevas tarjetas instaladas, se abordara la instalación del polo de una RRU, si bien no es un caso muy frecuente, se mencionara para contribuir en el aspecto académico el cual es uno de los principales objetivos de este documento monográfico. [30]

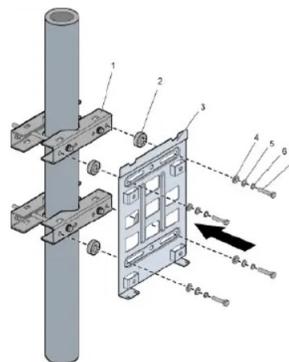
Montar dos cuellos en el Polo. Mantener una distancia entre centros de 270mm entre los dos cuellos.



(1) Pernos M10 x 180 (2) Arandela de presión 10  
(3) Arandela plana 10 (4) Cuello

**Figura 51. Montaje de instalaciones fijas.**

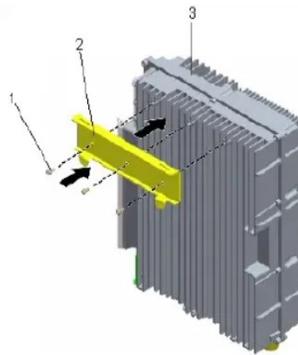
Utilice un nivel para asegurarse de que los dos cuellos estén al nivel y el soporte superior este paralelo a la parte inferior del aparato, para luego utilizar los tornillos designados para la placa de montaje como se muestra en la figura 52. [30]



(1) Accesorio Polo (2) Pies de caucho (3) Placa de montaje (4) Arandela aislante  
(5) Arandela plana 10 (6) Arandela de presión 10 (7) Pernos M10 x 45

**Figura 52. Asegurar la placa de montaje de la RRU**

A continuación, utilizar los tornillos designados para asegurar la placa de fijación en el módulo como se muestra en la figura 53.



(1) Tornillo M6 x 12 (2) placas de fijación (3) Módulo BBU

**Figura 53. Placa de fijación en el módulo RRU**

## 6. Carga de Scripts para Initial Tuning

Es necesario ajustar gran cantidad de parámetros al nodo, con el cual se le asignará sus características que lo diferenciará de las demás celdas celulares en la red. Existe tres métodos de configuración con el cual se integra el nodo a la red, estos pueden ser de forma manual, autointegración, y semi-autointegración. El método mayormente utilizado es la semi-autointegración; en el cual se utiliza tres tipos de archivos, llamados también Script; estos contienen todo el parámetro de configuración necesarios para la puesta en marcha del nodo. [34]

### Script Equipo de Gabinete

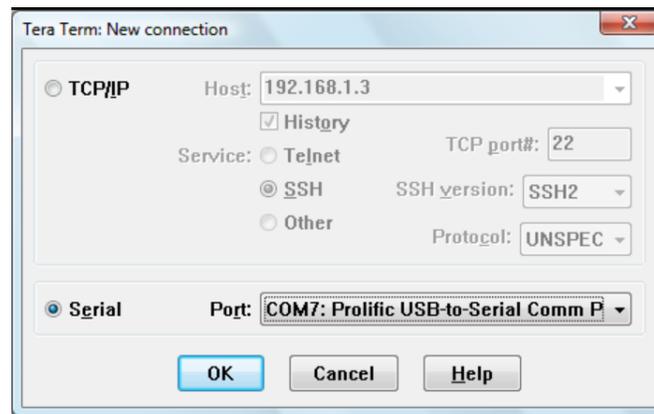
La carga de este script conlleva a la configuración de parámetros del nodo tales como:

- Modelo de RBS
- Cantidad de Sectores
- Número de radios por sector
- Configuración de las alarmas para los sistemas de climatización
- Dirección IP de acceso local
- Código de cantidad de portadoras y configuración de radio
- Potencia de las portadoras

El ingeniero de campo, debe poseer los archivos para la configuración de la RBS, para la carga del script es necesario mantener una interfaz de comunicación entre el integrador y el nodo, la comunicación va en dependencia del mano

facturador, ejemplo el caso de Ericsson que normalmente usan element manager. El operador encargado de la carga de los parámetros debe establecer una comunicación entre el ordenador y el nodo a través de la IP de comunicación designada. Una vez establecida la comunicación se procede a la carga de los parámetros. [34]

Para la integración del nodo primeramente es necesario establecer la comunicación y formatear la tarjeta DUW de los parámetros que vienen de fábrica, para establecer la conexión del ordenador y la tarjeta se necesita una conexión de cable LMT y correr el software de terminal que es compatible con el hardware a instalar. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo establecer la comunicación a través de Tera Term.



**Figura 54. Ejemplo de conexión Tera Term**

Una vez realizada la conexión es necesario correr ciertos comandos para continuar con la configuración del nodo, ejemplo de algunos comandos y su función:

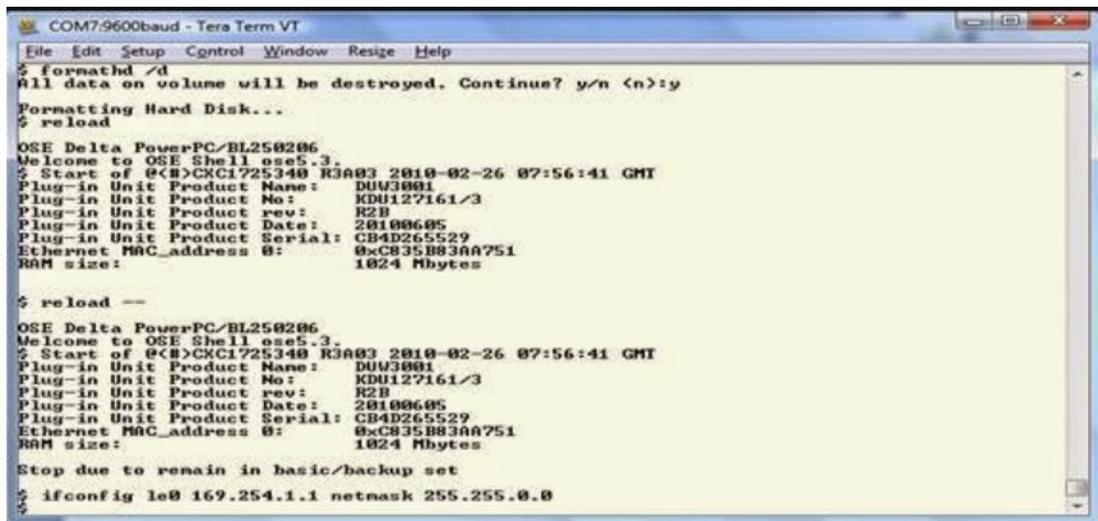
**Reload:** Pone el nodo B en modo respaldo, el cual habilita algunas funciones que permiten cargar configuraciones previas, agregar nuevas líneas de configuración, realizar una restaura con las configuraciones actuales, etc.

**Mount\_c2:** En la mayoría de los casos los drivers deben ser cargados manualmente, esto debido a que la configuración de fabrica contiene múltiples drives de los cuales no todos van a ser utilizados en la configuración, y se deja la carga manual para que el operador decida cuales son los controladores que

consumirán los recursos del hardware y no exista pérdida de recursos innecesarios.

**Formathd /c2:** Comando que se encarga del formato de los discos duros de la unidad, para evitar conflictos posibles particiones del disco, se recomienda hacer una limpieza de la información contenida dentro los discos duros (Ver Figura 55).

Si la unidad esta lista para la carga de los scripts podemos proceder a la conexión con nuestro ordenador, en tera term podemos utilizar el comando `ifconfig le0 169.254.1.1 netmask 255.255.0.0` [34]



```
COM7:9600baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Resize Help
$ formathd /d
All data on volume will be destroyed. Continue? y/n <n>:y
Formatting Hard Disk...
$ reload
OSE Delta PowerPC/BL250206
Welcome to OSE Shell ose5.3.
$ Start of @<B>CXCI725340 R3A03 2010-02-26 07:56:41 GMT
Plug-in Unit Product Name: DUW3001
Plug-in Unit Product No: KDU127161/3
Plug-in Unit Product rev: R2B
Plug-in Unit Product Date: 20100605
Plug-in Unit Product Serial: CB4D265529
Ethernet MAC_address 0: 0xC835B83A0751
RAM size: 1024 Mbytes

$ reload --
OSE Delta PowerPC/BL250206
Welcome to OSE Shell ose5.3.
$ Start of @<B>CXCI725340 R3A03 2010-02-26 07:56:41 GMT
Plug-in Unit Product Name: DUW3001
Plug-in Unit Product No: KDU127161/3
Plug-in Unit Product rev: R2B
Plug-in Unit Product Date: 20100605
Plug-in Unit Product Serial: CB4D265529
Ethernet MAC_address 0: 0xC835B83A0751
RAM size: 1024 Mbytes

Stop due to remain in basic/backup set
$ ifconfig le0 169.254.1.1 netmask 255.255.0.0
$
```

Figura 55. Comando en Tera Term para establecer IP de comunicación con el ordenador.

Se procede a la configuración de IP en el ordenador para la comunicación

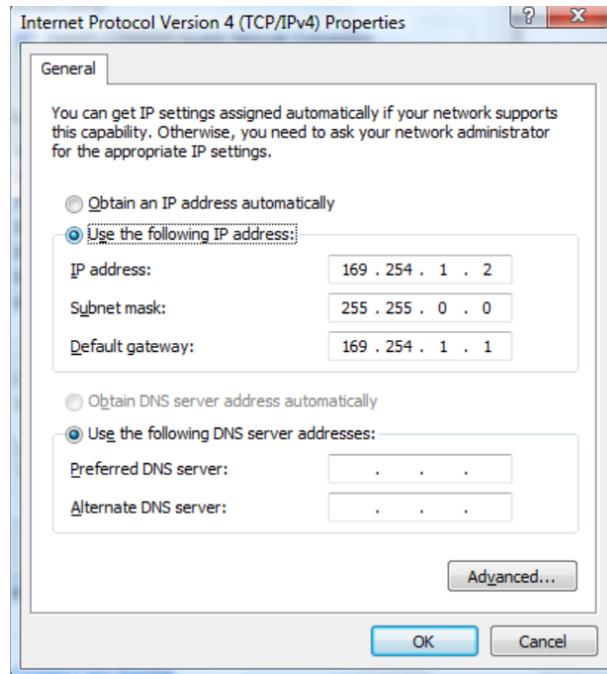


Figura 56. Configuración en el ordenador para la conexión con el terminal.

Una vez cargados los paquetes es necesario reiniciar el nodo (Utilizar el comando **reload**). [34]

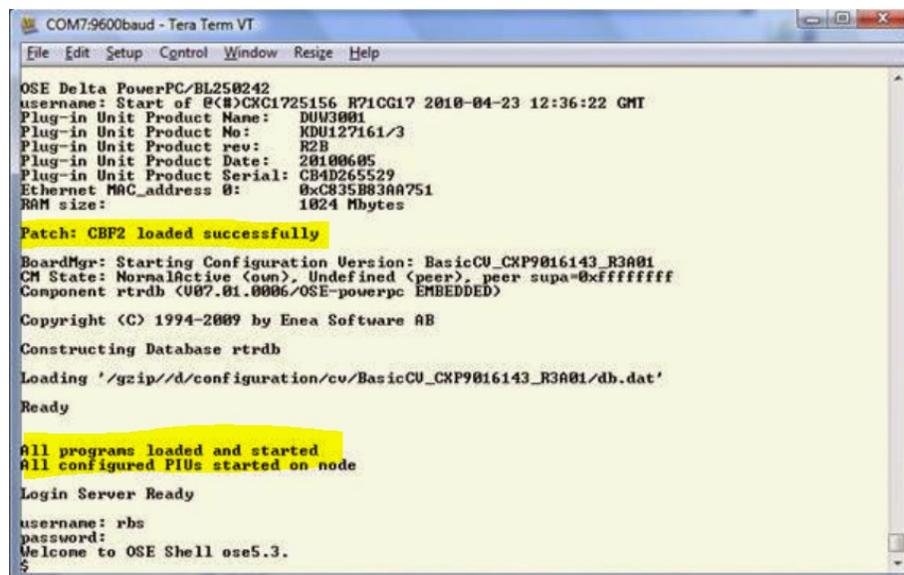
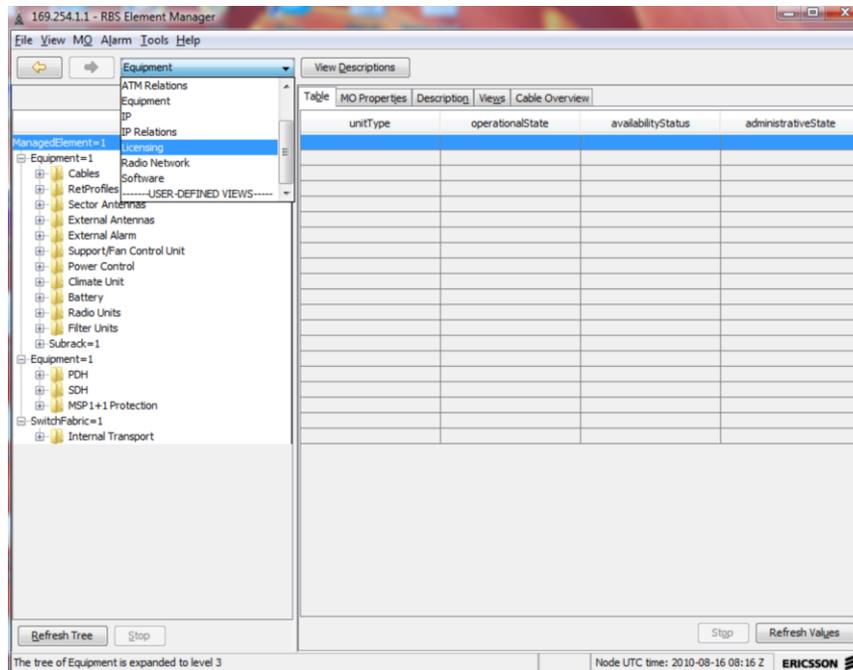


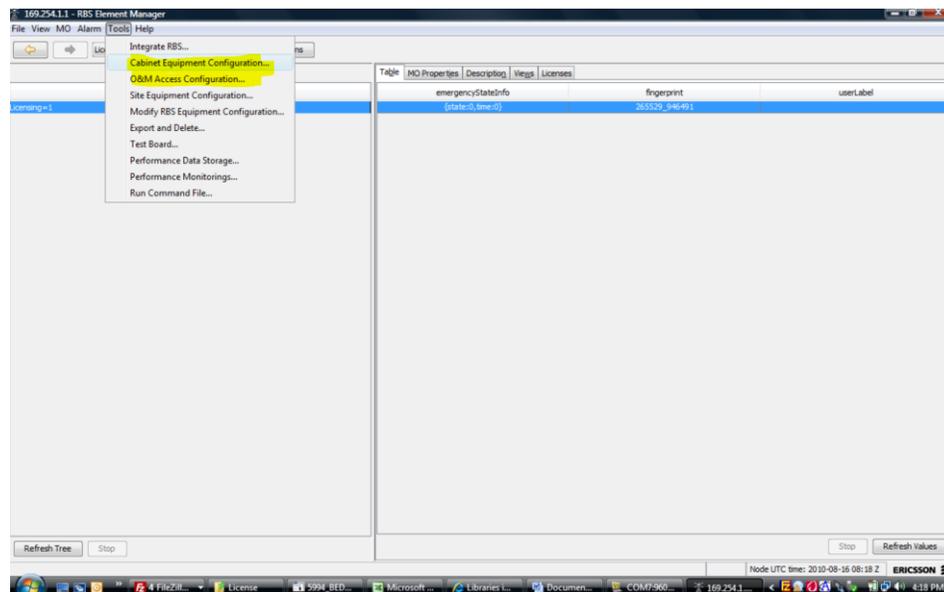
Figura 57. Mensaje de confirmación de paquetes cargados en Tera Term.

Una vez lista la configuración del nodo, nos conectamos a la RBS a través de Element manager para cargar la licencia de operación.

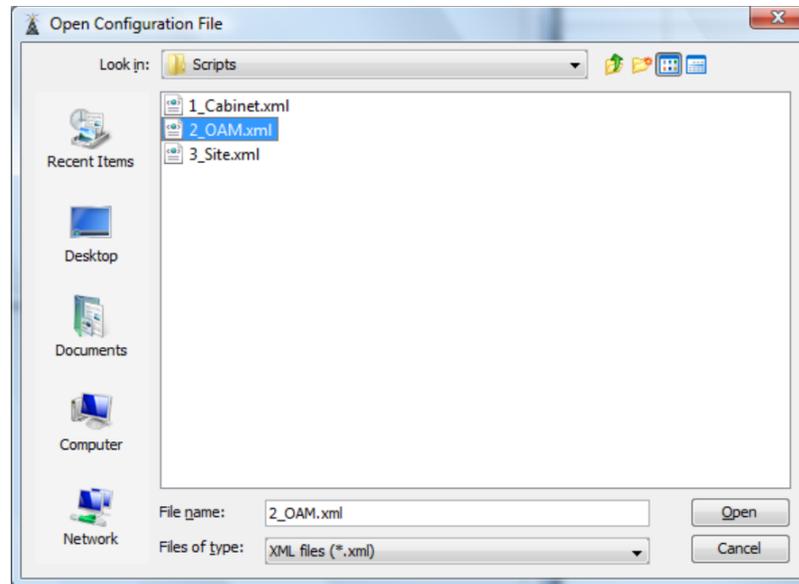


**Figura 58. Carga de Licencia de operación.**

Y la carga de los scripts de cabinet equipment, OAM, transporte lub, HS/EUL y también se podrá variar la configuración de la RBS (Ajustes de potencia, conexiones entre tarjetas, etc.). [34]



**Figura 59. Ventana de Element Manager para carga de scripts en RBS.**



**Figura 60.** Ventana de selección de scripts a cargar.

## **Capítulo V: Evolución de la red posterior al proceso de Swap.**

Una vez realizados los cambios de hardware y la puesta en marcha del sitio, es necesario realizar nuevamente las mediciones de campo, para hacer una comparación respecto al sistema previo al SWAP, es muy importante revisar cada uno de los indicadores de desempeño para validar la optimización de la red y demostrar a la compañía proveedora del servicio que el trabajo y la inversión realizada va a generar optimizará el servicio para el usuario final.

### **1. Drive Test Post-Swap.**

Utilizando el procedimiento utilizado en el capítulo anterior para realización de drive test, se realizarán las mediciones de campos siguiendo la misma ruta y utilizando las mismas herramientas de trabajo con el fin de mostrar no solo de manera teórica sino también de manera practica la optimización de la red posterior al mejoramiento de las tecnologías de un sitio en específico.

En la figura 61 podemos observar la ruta recorrida durante la realización del Drive Teste Post Swap.

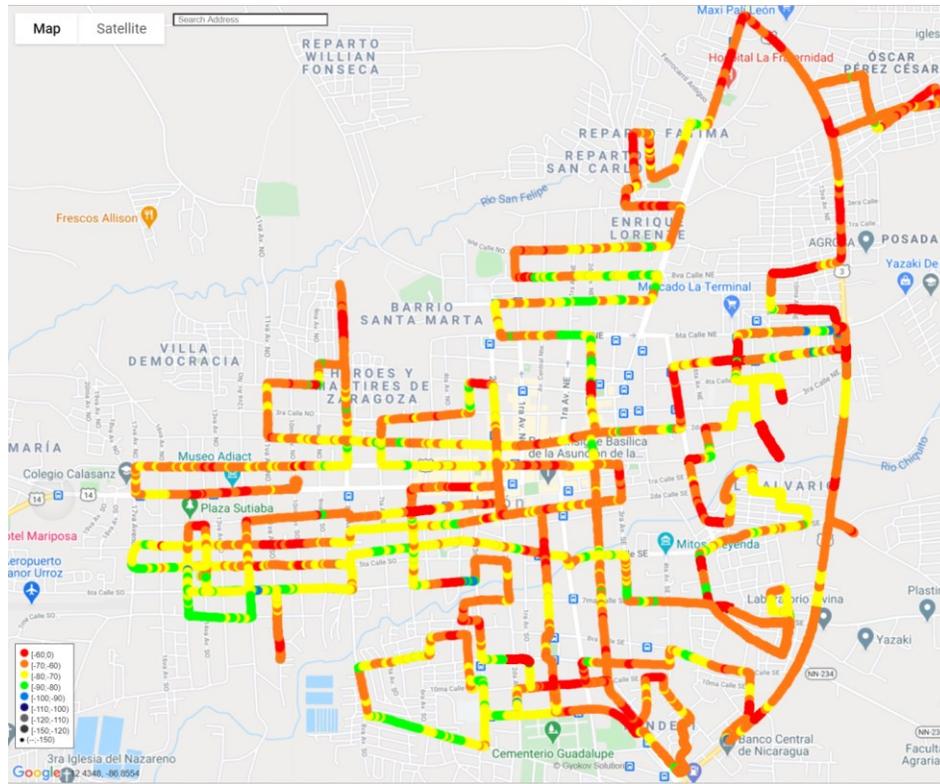


Figura 61. Drive Test Post-Swap. Fuente Gnet Look

Recordemos que el Swap fue sugerido para el sitio LE-005, debido a la baja intensidad de señal medida en el sector de la 7ma calle SE de la ciudad de León, se puede, a continuación, se hará la comparación de la figura 62 que corresponde al drive test Pre-Swap vs la figura 63 correspondiente el drive test Post-Swap.

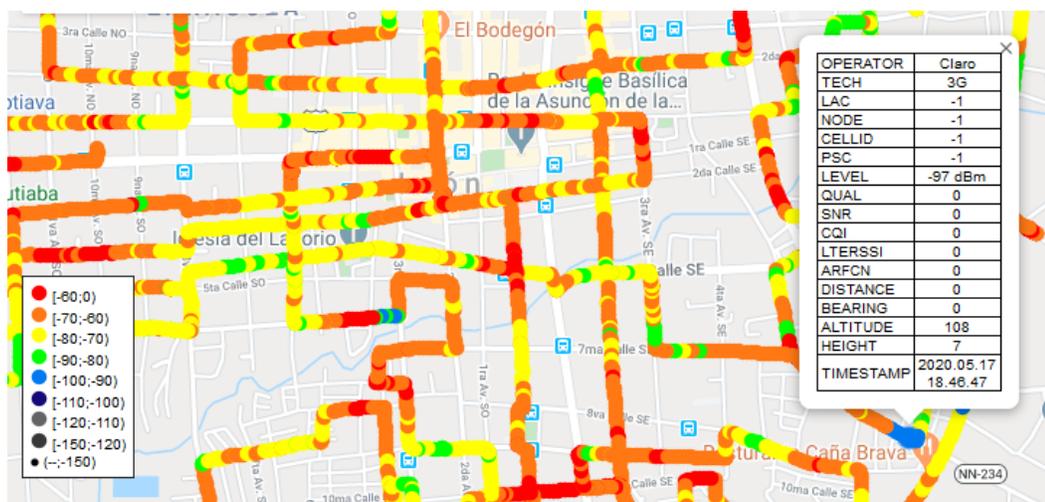
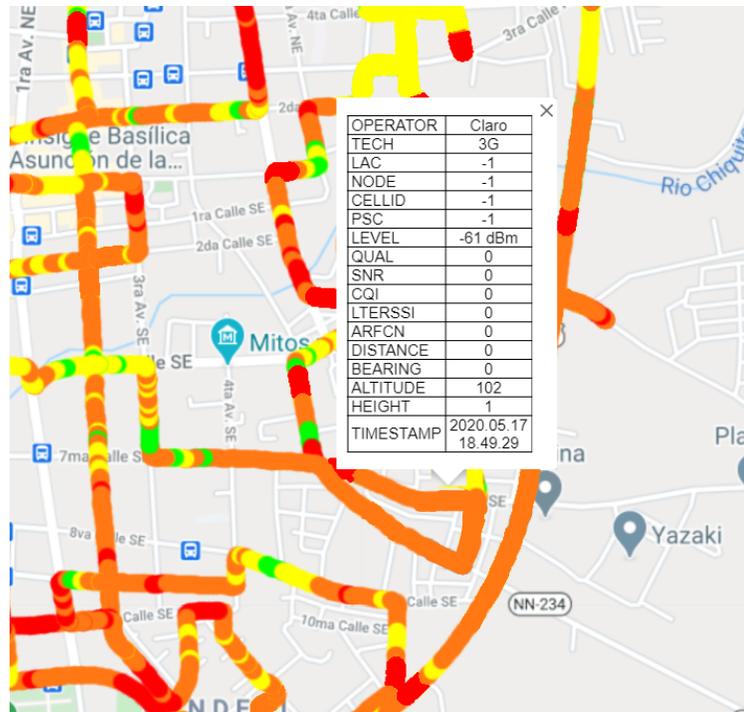


Figura 62. Área con baja intensidad de señal (Medición Pre Swap).



**Figura 63.** Área con mejor intensidad de señal posterior al Swap.

La optimización del sistema y la mejora de la intensidad de señal es notable gracias a la compación de ambos procesos de drive test, originalmente el punto medido tenia una baja intensidad de señal representado por el color azul y valor de -97 dBm, mientras que el punto medido ahora se representa con el color naranja y valor medido de -61 dBm donde esta normalmente calificado como Muy Buena/Excelente calidad de señal.

Tambien se realizan pruebas de conexión de llamada, antes del swap el tiempo que tomaba la llamada para conectarse podia tomar hasta 10 segundo, ahora con las mejoras en el sisteme el tiempo de conexión de llamada se redujo considerablemente entre 3 y 5 segundos.

Se realizaron 104 llamadas de prueba tomando como referencia puntos con la misma intensidad de señal, tal y como se menciona en el proceso pre-swap, y utilizando la ecuacion 1, logramos obtener un total de 99.03% de llamadas completadas que cumple a la perfeccion con la norma de calidad de las telecomunicaciones para llamadas completadas.

## 2. Indicadores de desempeño en la red celular.

Son la gama de indicadores definidos para la evaluación del desempeño de la red. Cada KPI se calcula mediante una fórmula aplicada a variables que cambian dependiendo de las características de la red, llamadas contadores; los valores de estos contadores son obtenidos gracias a las estadísticas que se recolectan en las celdas. Los resultados de cada KPI deben cumplir ciertos umbrales para que el rendimiento de la red sea óptimo y con esto brindar un buen servicio para el usuario.

Los KPI's están clasificados en categorías dependiendo del objetivo que se necesite evaluar en la red, abarcaremos los indicadores más relevantes desde la perspectiva del usuario que son: accesibilidad, retenibilidad e integridad del servicio.

**Tabla 9. Clasificación de los KPI's en 3G y LTE.**

<b>Categoría</b>	<b>Nombre De KPI</b>
Accesibilidad	RRC Setup Success Rate
	ERAB Revisar el color resaltado en amarillo Setup Success Rate
	Call set up Success Rate
Retenibilidad	Call Drop Rate (VoIP)
	Service Drop Rate
Movilidad	INTRA_FREQ HO Out success Rate
	INTER_FREQ HO Out Success Rate
	HO in Success Rate
	INTER_RAT HO Out Success Rate
Integridad de Servicio	Service Downlink Throughput Promedio
	Service Uplink Throughput Promedio
	Cell Downlink Throughput Promedio
	Cell Uplink Throughput Promedio
	Cell Downlink Throughput Max
	Cell Uplink Throughput Max

Uso	Tasa de uso de Bloques de Recursos
	Promedio de carga de CPU
Disponibilidad	Tasa de indisponibilidad de la Red
Tráfico	Radio Bearers
	Volumen de tráfico en Downlink
	Volumen de tráfico en Uplink
	Número de Usuarios Promedio
	Número de Usuarios Máximo

### 3. Accesibilidad

Es el porcentaje de intentos de llamada hechos por el usuario final que son exitosos. Esto aplica tanto para llamadas de voz como para llamadas de video y datos que también comparten los recursos de radio de una red WCDMA, contando cada una con indicadores medibles para determinar la calidad de los diferentes servicios.

El indicador de accesibilidad es cuantificado durante el proceso de establecimiento de la llamada. Las llamadas pueden ser originadas por el UE o desde la UTRAN. Así mismo, el UE durante su operación realiza transiciones de estados de servicios.

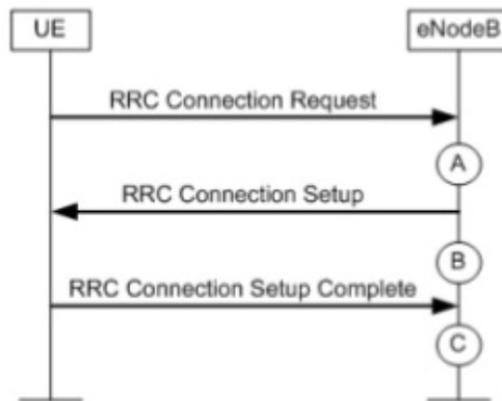
#### **Tasa exitosa de configuraciones RRC (RRC\_SR RRC Setup Success Rate)**

Este KPI es el número de establecimientos RRC exitosos entre el móvil y el eNB, y evalúa las configuraciones exitosas en una celda o clúster. Un proceso de configuración de conexión RRC es cuando se ha configurado una conexión de acuerdo a la información recibida en capas superiores.

Este KPI es calculado a través de contadores que siguen el siguiente procedimiento (Ver figura 64):

- El número de solicitudes de conexión RRC es recolectada por el eNB por el contador medido en el punto A.
- El número de conexiones con configuraciones RRC es enviada al UE desde el eNB.

- El número de conexiones exitosas RRC es recolectada por el contador medido en el punto C.



**Figura 64. Estado de contadores para el RRC\_SR.**

ENodeB recopila el número de intentos de conexión RRC en el punto A de medición y el número de conexiones RRC exitosas se cuenta en el punto C de medición.

Podemos definir RRC\_SR como la ecuación 2:

$$RRC_{SR} = \frac{RRC \text{ Connection Success}}{RRC \text{ Connection Attempt}} * 100[\%] \quad (2)$$

Donde RRC Connection success es el número de RRC exitosas, y el RRC Connection Attempt es el número de solicitudes de conexiones RRC.

### **ERAB (E-UTRAN Radio Access Bearer)**

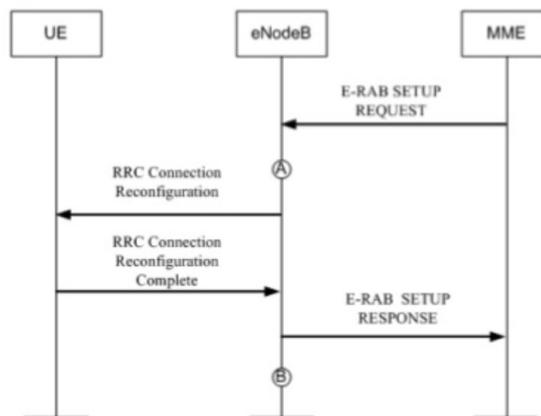
En la figura 65 se muestra la concatenación de un portador S1 y el portador de radio correspondiente. Cuando existe un E-RAB, hay un mapeo uno a uno entre este E-RAB y un portador de EPS del Estrato de No Acceso. Cada E-RAB se define mediante los siguientes parámetros:

- **E-RAB ID:** este elemento se utiliza para identificar el E-RAB en la interfaz S1
- **E-RAB QoS:** este elemento describe el QCI (Quality Class Identifier) que define los parámetros de QoS, como el retardo de extremo a extremo, las tasas de error de bits, etc. También se incluyen las prioridades de asignación

y retención, así como los parámetros de GBR (velocidad de bits garantizada) si son reales.

El proceso que se realiza para este KPI es el siguiente (Ver figura 65):

- El número de solicitudes para conexiones de configuración ERAB son recolectadas en el eNB y medidas en el punto A.
- El eNB envía la configuración de la conexión ERAB al usuario.



**Figura 65. Estado de Contadores para la ERAB.**

El número de conexiones exitosas de configuraciones ERAB son recolectadas en el eNB y medidas en el punto B.

La ecuación 3 corresponde a ERAB<sub>SR</sub>:

$$ERAB_{SR} = \frac{ERAB\ Setup\ Success}{ERAB\ Setup\ Attempt} * 100 [\%] \quad (3)$$

Donde el parámetro ERAB Setup Success representa el número de conexiones ERAB exitosas, y el parámetro ERAB Setup Attempt representa el número de solicitudes de conexiones ERAB.

### **Call Setup Success Rate (Tasa de llamadas exitosas)**

Cuantifica los enlaces de llamadas de voz exitosas una vez que el usuario ha realizado requerimientos de conexión. Los enlaces de llamadas son las solicitudes del terminal hacia la red generadas con éxito. Este KPI se calcula a partir de la

tasa de éxito de configuración de KPI de RRC y la tasa de éxito de configuración de KPI de ERAB.

La ecuación 4 corresponde al Call Setup Success Rate:

$$CSSR \frac{RRCConnectionSuccess}{RRCConnectionAttempt} * \frac{ERABSetupSuccess}{ERABSetupAttempt} * 100 [\%] \quad (4)$$

Las principales causas de fallas de acceso en sistemas 3G:

- Definición incorrecta de vecindades
- Baja cobertura.
- Pilot Pollution.
- Pobre selección de Celdas.
- Falta de recursos disponibles, negación por control de admisión.
- Fallas de Hardware (Nodo B)
- Fallas del UE.
- Incorrecta asignación de códigos (Scrambling Codes)
- Congestión.
- Interferencia Externa.
- Alto RSSI.
- Acceso distante

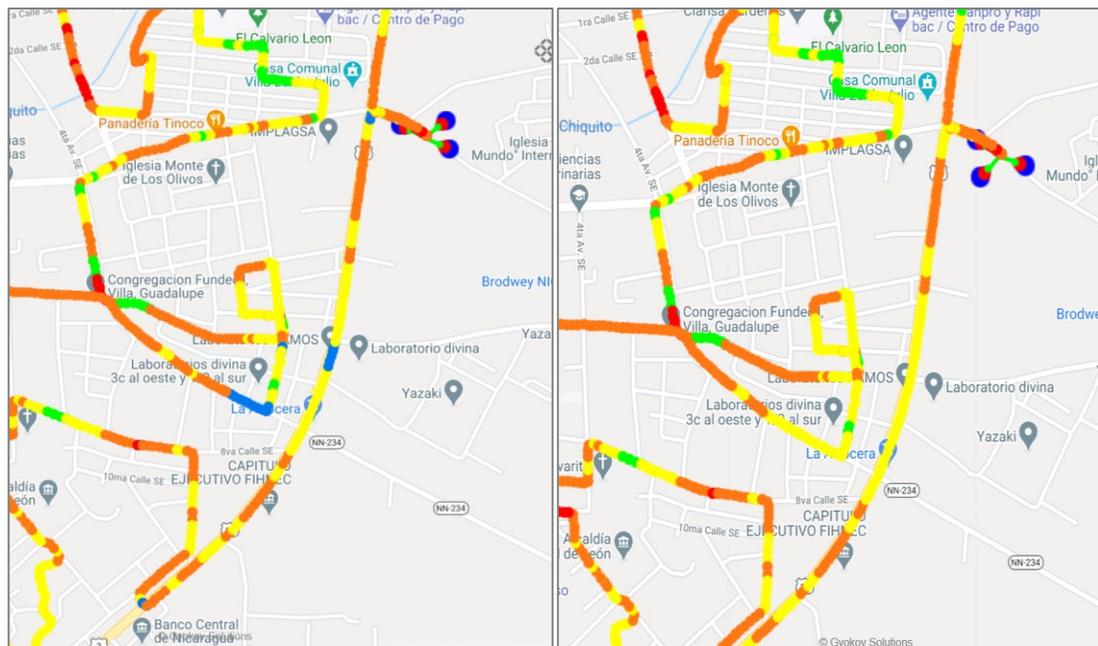
### **Mediciones de Accesibilidad durante el drive test Post-Swap.**

Existen múltiples estados del equipo que realiza las mediciones del sistema, estos van variar según la acción realizada mientras se realiza el drive test:

- Equipo en Idle (I): Equipo en estado de reposo, simplemente censando la conexión activa de la red telefónica.
- Equipo en Voice (V): Equipo censando la red telefónica mientras se realiza una llamada a telefónica a otro dispositivo.
- Equipo en Data (D): Equipo censando la red telefónica mientras realiza una bajada o subida de paquete de datos.

- Equipo Voice Data (VD): Equipo Censando la red telefónica mientras se está en una llamada telefónica con otro dispositivo y al mismo tiempo se realiza una bajada o subida de paquete de datos.

Para hacer un análisis del parámetro de accesibilidad en la red telefónica, se procedió a realizar múltiples llamadas cortas en la zona, lo cual ayuda a determinar la eficiencia del sistema sacando un promedio de llamadas conectadas de manera exitosa y censando la intensidad de la señal realizando nuevas llamadas y descarga de datos mientras se realizaba el drive test, a continuación se muestran la figura 66 que corresponden a las mediciones de campo realizadas para determinar el indicador de accesibilidad, donde claramente podemos ver la diferencia en lo que respecta a intensidad y calidad de la señal posterior al proceso de swap y en la tabla 10 se puede observar información específica obtenida sobre intensidad de señal durante las mediciones Post Swap.

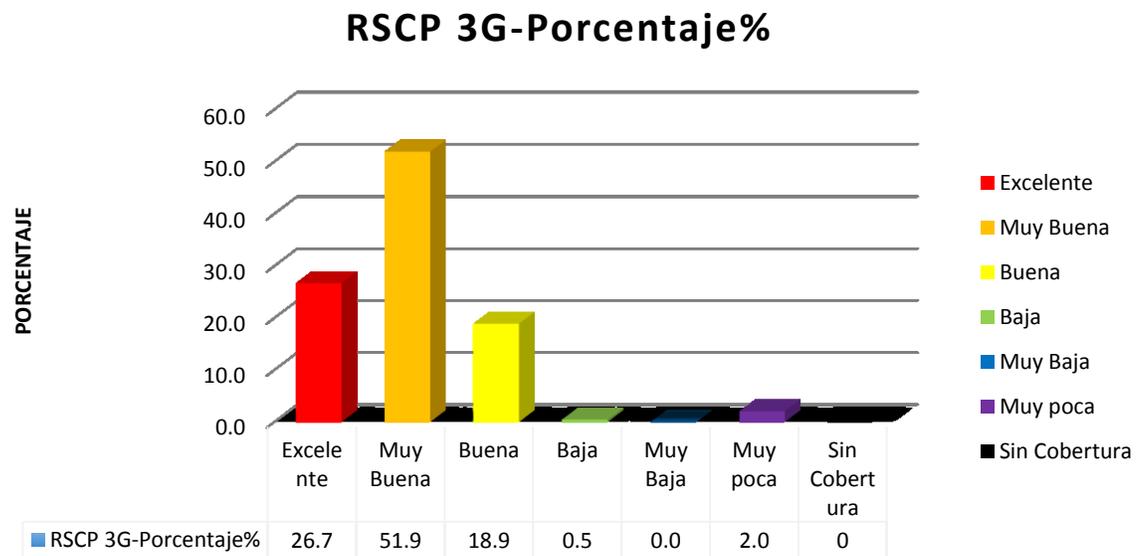


**Figura 66. Mediciones Pre-Swap (izquierda) - Mediciones Post-Swap para Accesibilidad (derecha)**



**Tabla 10. Análisis de Histograma RxLev.**

Desde	Hasta	Identificador	Calidad de señal	Cantidad	Porcentaje %
-57	-76		Excelente	353	26.7
-77	-89		Muy Buena	687	51.9
-90	-97		Buena	250	18.9
-98	-103		Baja	6	0.5
-104	-112		Muy Baja	0	0.0
-113	-134		Muy poca	27	2.0
-135	-150		Sin Cobertura	0	0
		TOTAL		1323	100



**Figura 67. Porcentaje de intensidad de la Señal.**

En la Grafica anterior se logra determinar el nivel de la señal en la ruta explorada mientras se realizaba el análisis de accesibilidad por el método de llamadas cortas.

Tomando en cuenta la gráfica anterior, podemos determinar que la intensidad de la señal es muy buena porque el 52% de la ruta recorrida presento niveles altos de intensidad de señal, y podemos decir que el 97.5% de la ruta se encuentra entre niveles de excelente, muy buena y buena intensidad de señal donde las pruebas de llamadas cortas lograron una conexión satisfactoria.

Tabla 11. Lista de llamadas cortas con intensidad de señal medida.

Timestamp	Longitude	Latitude	NetworkTech	Level	NetworkMode	State	EVENT
2020.11.22_16.44.29	-86.8741	12.44959	3G	-73	HSPA	I	LOG_START
2020.11.22_16.44.39	-86.8737	12.44968	3G	-71	HSPA	V	CALL_START
2020.11.22_16.49.58	-86.8668	12.45684	3G	-83	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_16.50.25	-86.8656	12.45541	3G	-61	HSPA	V	CALL_START
2020.11.22_16.55.42	-86.8726	12.44516	3G	-85	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_16.55.51	-86.8729	12.44449	3G	-113	HSPA	VD	CALL_START
2020.11.22_17.01.39	-86.8758	12.43633	3G	-113	HSPA+	I	CALL_END
2020.11.22_17.01.50	-86.8758	12.43587	3G	-83	HSPA+	VD	CALL_START
2020.11.22_17.07.16	-86.8795	12.42665	3G	-87	HSPA+	I	CALL_END
2020.11.22_17.07.24	-86.8797	12.42663	3G	-89	HSPA+	VD	CALL_START
2020.11.22_17.10.17	-86.8843	12.42334	3G	-95	HSPA	I	CALL_END
2020.11.22_17.10.24	-86.8843	12.42324	3G	-101	HSPA	V	CALL_START
2020.11.22_17.15.45	-86.8737	12.42561	3G	-77	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_17.15.53	-86.8732	12.42564	3G	-77	HSPA	V	CALL_START
2020.11.22_17.21.11	-86.8664	12.42687	3G	-87	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_17.21.19	-86.8665	12.42684	3G	-85	HSPA	V	CALL_START
2020.11.22_17.26.49	-86.8708	12.43502	3G	-83	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_17.27.10	-86.871	12.43586	3G	-57	HSPA+	V	CALL_START
2020.11.22_17.32.25	-86.8795	12.432	3G	-81	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_17.32.33	-86.8799	12.43205	3G	-87	HSPA+	VD	CALL_START
2020.11.22_17.37.55	-86.8884	12.43	3G	-95	HSPA+	D	CALL_END
2020.11.22_17.40.38	-86.8953	12.43067	3G	-93	HSPA+	I	LOG_END

Tomando en cuenta la ecuación 2 podemos calcular que:

$$RRC_{SR} = \frac{RRC \text{ Connection Success}}{RRC \text{ Connection Attempt}} * 100[\%]$$

$$RRC_{SR} = \frac{10}{10} * 100[\%]$$

Existe un 100% de disponibilidad en la red donde se realizaron las mediciones, escenario ideal tanto para la compañía que brinda el servicio y para el usuario final,

además, mostramos información de los eventos dados durante las mediciones a través de la Tabla 11 y figura 68.

**Tabla 12. Conteo de Eventos durante mediciones de Accesibilidad**

Evento	Conteo
LOG START	1
CALL_START	10
CELL_RESELECTION_3G3G	3
HANDOVER_VOICE_3G3G	19
LOG_END	1



**Figura 68. Eventos durante mediciones de Accesibilidad (Vista Google Earth)**

#### 4. Retenibilidad

##### Call Drop Rate (Tasa de caída de servicio de datos)

Evalúa la tasa de caída de datos de todos los servicios en una celda o clúster, y es calculado monitoreando las desconexiones anormales de una conexión



ERAB y se presenta cuando existe una falla del EPC, del enlace radio, de handover y congestión en la red.

La ecuación 5 corresponde al Call Setup Call Drop Rate:

$$Service_{CDR} = \frac{ERAB \text{ Abnormal Release}}{ERAB \text{ Release}} * 100 [\%] \quad (5)$$

Donde el parámetro ERAB Abnormal Release representa el número de desconexiones anormales (caída de llamada inesperada), y el parámetro ERAB Realease representa el número total de desconexiones ERAB.

Principales causas de Dropped Calls en un sistema 3G

- Definición incorrecta de las vecindades.
- Baja Cobertura.
- Pilot Pollution.
- Incorrecta configuración de inter frequency Handover.
- Incorrecta asignación de Códigos.
- Congestión
- Fallas de Hardware (Nodo B)
- Fallas de UE.

El principal factor para determinar la retenibilidad de una red celular, es continuidad durante una llamada, para medir este factor utilizamos el método de llamada larga, el cual consiste en censar la red celular mientras se realiza una llamada sin interrupciones, esto con el fin de detectar los eventos presentes durante la llamada, la ruta e intensidad de la señal corresponden a las mismas mediciones de la figura 66 y a continuación se pueden apreciar las tablas comparativas de las mediciones pre y post swap.

**Tabla 13. Conteo de eventos durante la medición de datos Pre Swap**

Evento	Conteo	Calidad de señal durante el evento	Comentario
HANDOVER_VOICE_3G3G	81	-61.95	PROMEDIO
HANDOVER_CALLDROPPED_3G3G	5	-90.05	PROMEDIO
Total, Eventos	86		

Tabla 14. Conteo de eventos durante la medición de datos Post Swap

Evento	Conteo	Calidad de señal durante el evento	Comentario
HANDOVER_VOICE_3G3G	86	-61.65	PROMEDIO
HANDOVER_CALLDROPPED_3G3G	0	0	PROMEDIO
Total, Eventos	86		

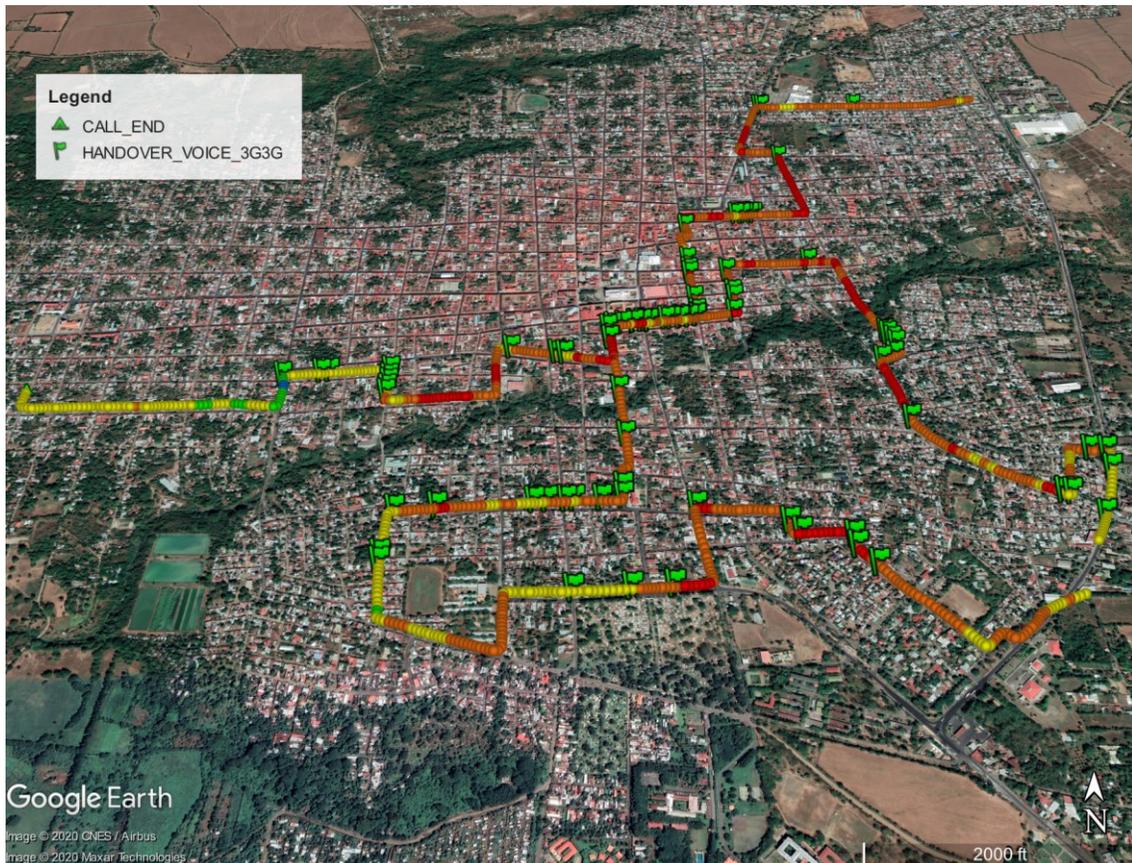


Figura 69. Eventos durante mediciones Retenibilidad (Vista Google Earth)

Durante las mediciones de tipo llamada larga Pre y Post Swap, hubo un total de 86 eventos mostrados en la tabla 13, 14 y figura 66, donde cada evento corresponde a la siguiente información:

- Call\_end: Llamada larga terminada.
- Handover\_Data\_3G3G: Handover o traspaso de estación base mientras se realiza descarga o subida de datos.
- Handover\_Voice\_3G3G: Handover o traspaso de estación base mientras se realiza una llamada de voz.

- Handover\_Calldropped: Llamada caída debido a fallo de handover.

Las mediciones realizadas muestran que los 86 eventos de handover realizados de llamada de voz fueron completados de manera exitosa con un promedio de señal de -61.65, calificada como Muy buena intensidad de señal, dichas mediciones demuestran que la red muestra una excelente retenibilidad vs 5 llamadas caídas que se identificaron en las mediciones de campo pre-swap.

## 5. Desempeño o integridad del servicio

### Throughput

Es la tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación. Por regla general, el throughput es medido en bits por segundo (bit/s o bps), y a veces en paquetes de datos por segundo o paquetes de datos por franja de tiempo.

Para medidas de rendimiento también son consideradas importantes:

- Ancho de banda: Medido en bits/segundo es la velocidad máxima en la que la información puede ser transferida.
- Latencia: Es la demora entre el que envía desde el emisor y el descifrado por el receptor, esto es principalmente una función del tiempo de viaje de las señales, y el tiempo de procesamiento en los nodos que la información atraviesa.
- Jitter: Es la variación en el tiempo de llegada al receptor de la información.
- Tasa de Error: es el número de bits corruptos expresado como la fracción del total enviado.

Donde las mediciones para el througput de la red celular se pueden realizar a través de la descarga de archivos multimedia y la aplicación utilizada en nuestro caso G-net track pro, muestra la velocidad de descarga y subida dada en unidades de kbps, a continuación, las mediciones de campo realizadas para throughput:



**Tabla 15. Datos de mediciones Previo y Posterior al Swap**

Descripción	Pre-Swap	Post-Swap
Download Bit rate más alto	9934 Kbps	15884 Kbps
Download Bit rate Promedio	539.12 Kbps	10623 Kbps
Upload Bit rate más alto	396 Kbps	591 Kbps
Upload Bit rate promedio	11 Kbps	27 Kbps

**Tabla 16. Conteo de eventos durante mediciones de datos.**

Evento	Conteo
LOG START	1
CELL_RESELECTION_3G3G	15
HANDOVER_DATA_3G3G	39
LOG_END	1

**Tabla 17. Análisis de Histograma RxLev en mediciones de datos.**

Desde	Hasta	Identificador	Calidad De Señal	Cantidad
-50	-76		Excelente	1103
-77	-89		Muy Buena	703
-90	-97		Buena	17
-98	-103		Baja	0
-104	-112		Muy Baja	0
-113	-134		Muy poca	0
-135	-150		Sin Cobertura	0
TOTAL				1823



**Figura 70. Eventos durante mediciones throughput (Vista Google Earth)**

Cabe destacar que el dispositivo móvil utilizado para realizar estas mediciones estaba configurado para 3G, con lo que podemos deducir que se pueden alcanzar velocidades de descarga mucho más rápidas con la tecnología 4G.

### Handover

Se define como la transición de una señal de usuario específica desde una base estación hacia otra geográficamente adyacente sin la desconexión de la llamada. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

### IntraFreqHOOOut\_SRIntra-Frequency Handover Out Success Rate

La tasa exitosa de handover entre frecuencias iguales, son los handover exitosos entre celdas de igual frecuencia de portadora y se lo evalúa en una celda o en un cluster (Ver figura 71). Este KPI abarca los handover entre iguales eNB (intra-eNB) y los handover entre distintos eNB (inter-eNB).

Cuando se tiene el escenario de un handover intra-frequency, el contador de solicitudes de handover se mide en el punto B. Cuando el eNB envía un mensaje de una reconfiguración al UE, el eNB decide realizar un handover y el número de handover exitosos se recolecta en el punto C.

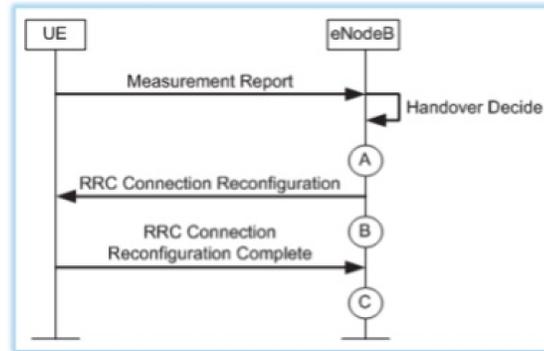


Figura 71. Handover intra-frequency e intra-eNB.

Cuando se tiene un handover intra-frequency en inter e-eNB se presentan dos escenarios en los que intervienen eNB origen (S-eNB), eNB final (T-eNB), UE y MME:

- **Escenario 1:** En el punto B se recolectan las solicitudes de handover, el eNB decide realizar un inter-eNB handover cuando el S-eNB envía un mensaje de reconfiguración al UE. El número de inter-eNB e intra-frequency handover exitosos es recolectado en el punto C. (Ver figura 72)
- **Escenario 2:** Cuando el UE recibe un mensaje de comando de liberación y cuando el S-eNB recibe un mensaje liberación desde el T-eNB significa que el UE ha podido acceder de manera satisfactoria al T-eNB. (Ver figura 73)

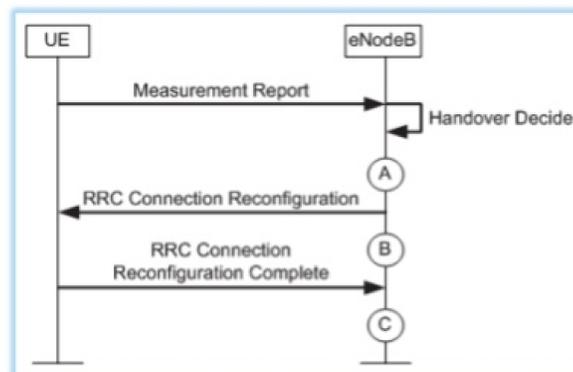


Figura 72. Escenario 1 para handover Intra-Frequency e Intra-Enb.

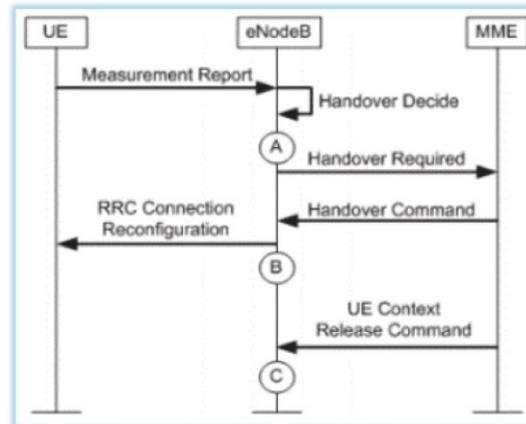


Figura 73. Escenario 2 para handover intra-Frequency e Intra-eNB.

El Frequency Handover Out Success Rate lo podemos calcular a través de la ecuación 6:

$$\text{IntraFreqHOOu}_{\text{SR}} = \frac{\text{IntraFreqHOOuSuccess}}{\text{IntraFreqHOOuAttempt}} * 100 \text{ [\%]} \quad (6)$$

Dónde: El parámetro IntraFreqHOOuSuccess representa el número de handover exitosos entre frecuencias iguales, y el parámetro IntraFreqHOOuAttempt representa el número de solicitudes de handover entre frecuencias iguales

### Tasa exitosa de Handover entre diferentes tecnologías de acceso de Radio (LTE a WCDMA).

Este KPI es usado para medir de una celda o cluster la tasa exitosa de handover entre diferentes tecnologías de acceso de radio. (Ver figura 74)

Las solicitudes de handover inter-RAT (LTE a WCDMA) son medidas en el punto B, entonces el eNB envía un mensaje de movilidad al UE y debe realizar un handover a tecnología WCDMA. En el punto C se miden los handover exitosos y esto ocurre cuando el UE envía un mensaje de liberación al eNB a través del MME, después de haber accedido a la tecnología WCDMA.

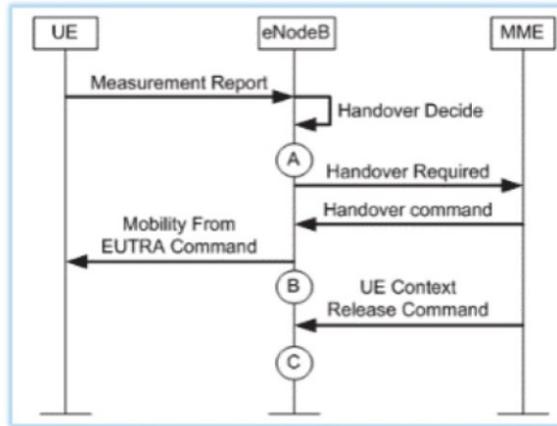


Figura 74. Estado de contadores E-RAT Handover Out Success Rate.

La ecuación 7 corresponde a  $IRATHO_{L2W}$ =

$$IRATHO_{L2W} = \frac{IRATHO_{L2W_{Success}}}{IRATHO_{L2W_{Attempt}}} * 100 [\%] \quad (7)$$

Donde el parámetro  $IRATHO_{L2W\_Success}$  representa el número de handover exitosos entre LTE y WCDMA, y el parámetro  $IRATHO_{L2W\_Attempt}$  representa el número de solicitudes entre LTE y WCDMA.



## Capítulo VI: Conclusiones.

El Objetivo principal de este documento monográfico es que sirva de base documental para los futuros Ingenieros Electrónicos y carreras afines, dado que se compila información importante sobre el proceso de optimización de la red celular. La estructura del documento plasma el procedimiento a seguir para realizar un Swap de hardware.

Si bien todos los pasos son importantes, en el Capítulo II se establecen las bases para el inicio del proceso, a través de la investigación, entrevistas y recopilación de datos provenientes de distintas áreas de compañías de telecomunicaciones que operan en Nicaragua, se obtiene un formato de inspección de sitio, el cual que agrupa toda la información necesaria. Esta herramienta facilita la recopilación de información del sitio, diseñada de tal forma que simplifica la recopilación de información al técnico encargado; además agrupamos las principales razones por las que se realiza puede realizar un SWAP en una estación base.

En el Capítulo III se engloba el proceso de evaluación de parámetros lógicos y mediciones de campo (Drive Test), por medio las mediciones de campo se identificó deficiencias en el sistema específicamente en el sitio ubicado el barrio El Coyolar de la ciudad de León y como mejorarlas; los parámetros lógicos mencionados en el capítulo son los que se utilizó en este documento y pueden usarse para cualquier otro tipo de evaluación de un sistema radiante.

El Capítulo IV describen las tareas que se realizan durante el proceso de SWAP y contiene información básica sobre instalación de antenas, jumpers, gabinetes, etc. Información que consideramos fundamental para los futuros profesionales, que requieren tener conocimientos básicos de telefonía para poder afrontar las diversas situaciones que se les presente en el campo laboral. Al finalizar este capítulo, se hace un estudio al resultado obtenido, todo esto con el fin de confirmar que los cambios realizados en el SWAP hicieron una mejora significativa al sistema radiante.



Finalmente, al completar la redacción de este documento monográfico concluimos que, la realización de un Swap es un proceso de difícil seguimiento y acceso de información para los estudiantes, debido a la cantidad de personas involucradas, así como la división de sus procesos en las diversas áreas de la compañía de telefonía. En este documento se da un aporte enriquecedor para la comunidad estudiantil en general, principalmente para todos aquellos estudiantes y docentes que simpaticen con el campo de estudio de las redes de telefonía móvil, logrando comprender el orden cronológico que llevan las tareas de optimización y modernización de redes.



## Capítulo VII: Recomendaciones

- Se invita a los alumnos de Ingeniería Electrónica y carreras afines que realicen prácticas de mediciones de campo para obtener conocimiento práctico sobre mediciones y evaluaciones de las redes telefónicas, las herramientas para realizar mediciones drive test, son de fácil acceso.
- Los alumnos interesados en trabajar a futuro en compañías telefónicas, pueden tomar como referencia este documento y los mencionados en los antecedentes, para fortalecer y adquirir conocimientos teóricos que serán de mucha ayuda en su formación profesional.
- Realizar estudios de procesos de SWAP en los distintos departamentos de Nicaragua, tomando esta guía como referencia, dicho estudio puede ser para fines educativos o servicios profesionales, donde se puedan abordar la migración de tecnología.
- La aplicación G-Net Track es una excelente herramienta de aprendizaje para los estudiantes de telecomunicaciones, pero presenta ciertas desventajas con respecto a otras herramientas de mediciones más sofisticadas. Se recomienda, para futuros trabajos de curso o fin de curso, realizar un estudio comparativo del margen de error de la aplicación G-Net Track, así también como el de otras aplicaciones gratuitas disponibles en la Play Store.

## Capítulo VIII: Referencias

- [1] V. Sola, «Modernización de la red de telefonía móvil de un operador x: actividades de swap (2G-3G) y nuevos despliegues (3G-LTE),» Madrid, 2016.
- [2] L. Villarreal y L. Pérez, «Procedimientos de Optimización en Redes de Acceso 3G WCDMA/HSPA y su efectividad en Casos de Estudio en Nicaragua.,» Managua, 2015.
- [3] C. Rodríguez, «Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua,» Managua, 2013.
- [4] V. Fernández, «Ejemplo de diseño e implementación de una estación base GSM/UMTS,» Gandia, 2010.
- [5] C. Bachiller, «Swap de una red de comunicaciones: proceso y revisión de la obra en tecnologías 2G y 3G,» Madrid, 2015.
- [6] N. Benalcazar, «Análisis de parámetros (initial tuning) y optimización de estaciones base celulares en entornos reales en redes de telecomunicaciones,» Sangolquí, 2017.
- [7] A. Elkamch, «Planificación y Optimización de Red 3G,» Sevilla, 2017.
- [8] E. Martínez y K. Gaitán, «Diseño e implementación de RBS modelo 6101 para la red móvil 3G.,» Managua, 2017.
- [9] C. Rodríguez, Diseño y optimización móvil en un proyecto de modernización de red, Leganés, 2015.
- [10] M. Valle, «Planificación Radio LTE de una red de telefonía móvil en el municipio de Rota,» Catalunya, 2016.
- [11] Andrew, «DBXLH-6565C-VTM,» 2007. [En línea]. Available: <https://wireless2.fcc.gov/UlsEntry/attachments/attachmentViewRD.jsp;ATTA COMMENTS=XdjXd6HHTs9LySzF8Xpw2GQFKWJcpwW1T81WdZhCYIb0G88pWK28!-207654630!-777780148?applType=search&fileKey=548338543&attachmentKey=18335807&attachmentInd=applAttach>.
- [12] R. Picazo, «Modernización de la Red de Transmisión en el Acceso para Telefonía Móvil,» Leganés, 2015.
- [13] L. Alvarado y A. Ojeda, «Análisis e implementación de cambios físicos y de parámetros lógicos para la optimización outdoor del cluster 5 de la ciudad de

quito en la red Comercial de acceso inalámbrica 4g LTE de la Empresa CNT EP,» Quito, 2015.

- [14] K. Reyes, «Implementación de guías de laboratorio para realizar mediciones y análisis de eventos en la banda de 850 Mhz de la tecnología WCDMA,» Managua, 2016.
- [15] M. Arguinchona, «Optimización Diseño Red de Acceso de Transmisión de Telefonía Móvil,» Sevilla, 2015.
- [16] N. Vílchez y I. García, «Diseño de una estación base para su integración en una red celular basadas en tecnologías GSM/UMTS,» Managua, 2014.
- [17] C. Granera, G. Mendoza y N. Valle, «Análisis de las limitaciones técnicas en el despliegue de la tecnología LTE en la ciudad de León-Nicaragua, en el periodo comprendido entre los meses de Mayo a Octubre del año 2016.,» León, 2016.
- [18] K. Hernández y V. Altamirano, «Análisis de una red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica FDD (Frequency División Dúplex) en el municipio de Masaya, departamento de Masaya.,» Managua, 2016.
- [19] Ericsson, «Product description for RBS 6201,» 2010. [En línea]. Available: [https://lafibre.info/images/4g/201004\\_ericsson\\_rbs6201\\_lte1800.pdf](https://lafibre.info/images/4g/201004_ericsson_rbs6201_lte1800.pdf).
- [20] Ericsson, «RBS 2106, RBS 2206 Hardware Reference Manual,» 2002. [En línea]. Available: <https://fccid.io/B5KBKRC1311005-1/User-Manual/reference-manual-358228.pdf>.
- [21] Ericsson, «RBS 3206/ 3106 Product Description,» 2005. [En línea]. Available: <https://fccid.io/ANATEL/00909-08-01882/Description/1853A1AC-B4BF-4A93-A8B5-69BD38A47AF5/PDF>.
- [22] Ericsson, «Installing PBC PBC 05 Cabinet,» 2016. [En línea]. Available: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48056682/Instalacion\\_PBC\\_05.pdf?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DInstalling\\_PBC\\_PBC\\_05\\_Cabinet\\_INSTALLATI.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F2](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48056682/Instalacion_PBC_05.pdf?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DInstalling_PBC_PBC_05_Cabinet_INSTALLATI.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F2).
- [23] W. Chauca y D. Méndez, «Planificación del Acceso a Radio de una Estación Base de Tercera generación (3G) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en Suscal,» Cuenca, 2015.

- [24] K. García, R. Medina y C. Tenorio, «Análisis técnico de LTE para su implementación en la ciudad de Managua, Nicaragua,» Managua, 2014.
- [25] Ericsson, «Enclosure 6150 20kW HEX/AIRCON,» 2017. [En línea]. Available: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55999477/Enclosure\\_6150\\_20kW\\_HEX\\_Aircon\\_Datasheet\\_revA.PDF?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DEnclosure\\_6150\\_20kW\\_HEX\\_AIRCON.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWO](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55999477/Enclosure_6150_20kW_HEX_Aircon_Datasheet_revA.PDF?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DEnclosure_6150_20kW_HEX_AIRCON.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWO).
- [26] A. Sanchis Soler, «Proceso de SWAP en estaciones de telefonía móvil,» Valencia, 2016.
- [27] E. Gonzáles, «Despliegue de una red de acceso radio en comunicaciones móviles,» Madrid, 2014.
- [28] E. López Cruz, «Evaluacion de Parametros de Handover en una red 3G, LTE mediante el software ICS-Designer,» Quito, 2018.
- [29] g. cherfils, «Gestion de Control de Intercambio de celdas en WCDMA,» Santa Clara, 2013.
- [30] M. Andrade, «Manual Tecnico de implementacion, puesta en marcha, operacion y mantenimiento de una estacion radio base UMTS,» Sangolqui, 2009.
- [31] Ericsson, « Hardware Configuration RBS 3106,» 2006.
- [32] D. Nuñez, «Propuesta de una estrategia para la transición hacia cuarta generación de los servicios móviles en Cuba,» Cuba, 2012.
- [33] Ericsson, «Product description for RBS 6601,» 2011. [En línea]. Available: <https://fccid.io/ANATEL/00008-12-01882/Manual/1FBAEA08-16F9-46A9-B9E7-C41DD527A159/PDF>.
- [34] Ericsson, «ERICSSON Node B Comissioning and Integration,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/35360409/ERICSSON\\_Node\\_B\\_Commissioning\\_and\\_Integration\\_Field\\_Maintenance\\_Experience\\_Sharing\\_pdf](https://www.academia.edu/35360409/ERICSSON_Node_B_Commissioning_and_Integration_Field_Maintenance_Experience_Sharing_pdf).