

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE RADIO
FRECUENCIA CON TECNOLOGÍA GSM Y WCDMA CON UN SISTEMA
DAS, EN EL SUBSUELO 1 DEL EDIFICIO DE TVCABLE PARA MEJORAR
EL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR**

**AUTOR:
FRANCISCO PAÚL HERRERA DÍAZ**

**TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

Quito, Junio 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Francisco Paúl Herrera Díaz con documento de identificación N° 1719313056, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del trabajo de grado/titulación intitulado: Análisis, diseño e implementación de una red de radio frecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema das, en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable para mejorar el servicio de telefonía celular, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor/es me/nos reservó/reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Francisco Paúl Herrera Díaz

C.I.No. 1719313056

Junio 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto técnico, Análisis, diseño e implementación de una red de radio frecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema das, en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable para mejorar el servicio de telefonía celular, realizado por Francisco Pau Herrera Díaz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Junio 2017



Carlos Augusto Cuichán Morales

C.I.No. 1714389721

DEDICATORIA

El amor incondicional de una familia es el pilar fundamental en la vida de un hombre, quiero dedicar el presente trabajo a Dios en primer lugar, a mis padres, abuelitos, familia y amigos.

Este logro es gracias a todas las personas que forman parte de mi vida y lo dedico a mis padres principalmente, Francisco y Mónica que son el pilar fundamental en mi vida, a mi esposa Carla y mis hijas Paula e Isabela que son el motor de vida que iluminan cada mañana y me dan las fuerzas para continuar alcanzando metas, a mis niños Nicole y Nicolás que son el complemento perfecto de locuras y diversión, a mis abuelitos Marco, Olga, Gonzalo y María-Esther que son fuente constante de amor y apoyo, ellos me demostraron que nada es imposible y con mucha dedicación las metas trazadas se las puede conseguir, también hago mención a mi familia política y amigos incondicionales con los que cada día se puede contar.

Francisco Paúl Herrera Díaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera puntual a la empresa Cellopti S.A. por ayudar y ofrecer el auspicio necesario para la finalización del proyecto técnico, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por permitir ser parte de su familia de formación académica con bases sólidas y de constante investigación para poder avanzar en el día a día con nuevos conocimientos.

Quiero agradecer a mi hermosa Familia Carla, Paula e Isabela por todo el apoyo y tiempo para alcanzar la consecución de este logro, a mis padres Francisco y Mónica por todo el apoyo incondicional y ser ese granito de fe y amor para tomar en cada momento de cansancio, a mis nanos Nicole y Nicolás.

Agradezco de manera especial a mi docente tutor el Sr. Msc. Carlos Cuichan, por haberme dado la confianza de realizar el presente trabajo bajo su guía, así como permitirme ser parte de su grupo académico para que el fortalecimiento de los conocimientos aprendidos y por los conocimientos transmitidos el desarrollo del presente trabajo.

Francisco Paúl Herrera Díaz

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	3
MARCO CONCEPTUAL	3
1.1. Redes celulares	3
1.1.1 Espectro de frecuencia	3
1.1.2 Evolución de la tecnología celular	4
1.1.3 Primera generación (1G).....	4
1.1.4. Segunda Generación (2G)	5
1.1.5 Sistema radiante.....	8
1.1.6. Tercera Generación (3G).....	9
1.2. Definición de la empresa telefónica movistar	13
1.2.1.Frecuencias en las que opera movistar y brinda servicio:.....	14
1.2.2. Clasificación de abonados.....	14
1.2.3 Red de distribución y acceso de otecel s.a.....	14
1.3. Falencias y potencialidades.....	15
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo general	16
1.4.2. Objetivos específicos	16
CAPÍTULO 2	17
ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DE LA RED	17
2.1 Análisis del problema y definición de la solución	17
2.1.1 Focalización del problema o zona oscura	17
2.2 Descripción de pruebas	18
2.2.1 Herramienta de medición	18
2.2.2 Equipo de mediciones y descripción de pruebas.....	19
2.2.2.1 Herramientas Para Realizar Walk Test O Drive Test	19
2.2.2.2 Terminales de Medición Sony Ericsson	20
2.2.2.3 Terminales de Medición Sony Xperia	20
2.2.2.4 Se Realizan Las Siguietes Pruebas (rutinas).....	21

2.3	Parámetros a considerarse en las pruebas	23
2.3.1	Para la tecnología gsm	23
2.3.2	Para la tecnología wcdma.....	25
2.3.3	Para la tecnología GSM:.....	27
2.3.4	Para la tecnología WCDMA:	30
2.4	Análisis de los resultados de estado inicial	36
2.4.1	Análisis en GSM	37
2.4.2	Análisis en WCDMA:	38
2.5	Resultados e interpretación	39
CAPÍTULO 3		41
DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....		41
3.1	Definición de la solución	41
3.1.1	Soluciones de optimización INDOOR	41
3.1.2	Repetidores RF.....	42
3.1.3	CELF (Potenciador de señal)	43
3.1.4	Nodo A o IBS	44
3.2	Elección y diseño de la solución	46
3.3	Diseño de la solución	46
3.4	Elementos de la red de radio frecuencia	48
3.4.1	Sistema de Antenas Distribuido	48
3.4.2	Cable Coaxial	48
3.4.3	Splitter.....	49
3.4.4	Antenas	49
3.4.5	Repetidor	50
CAPÍTULO 4		52
IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN		52
4.1	Permisos de instalación y operación.....	52
4.2	Equipos a utilizar	52
4.3	Descripción técnica de equipos	54
4.3.1	Ubicación antena donora.....	54
4.3.2	Ubicación das (sistema de antenas distribuido)	55

4.4 Verificación de funcionamiento.....	57
4.4.1 Para la tecnología GSM	57
4.4.2 Para la tecnología WCDMA:	61
4.4.3 Interpretación de resultados obtenidos.....	67
4.5 Pruebas finales	68
4.5.1 Escala MOS (Mean Opinion Score).....	68
4.5.2 Tabulación de resultados.....	69
4.6 Análisis económico (costos estimados en la implementación).....	70
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama en bloques de la arquitectura de GSM	5
Figura 1.2 Diagrama de jerarquía de canales Lógicos GSM.....	8
Figura 1.3 Arquitectura UMTS	10
Figura 2. 1 Ubicación y fachada Edificio de Tv Cable.....	17
Figura 2. 2. Equipo de pruebas	20
Figura 2. 3 Teléfono de prueba SONY XPERIA Y SONY ERICSSON	20
Figura 2. 4 Procedimientos de pruebas a realizar en el área de análisis.....	21
Figura 2. 5 Indicadores de RxLev SUB para realización de pruebas en campo.....	23
Figura 2. 6 Indicadores de FER SUB para realización de pruebas en campo	24
Figura 2. 7 Indicadores de RxQual SUB, para realización de pruebas en campo.	24
Figura 2. 8 Indicadores de RSCP, para realización de pruebas en campo.	25
Figura 2. 9 Indicadores de ECNO, para realización de pruebas en campo.	26
Figura 2. 10 Indicadores de CQI, para realización de pruebas en campo.	26
Figura 2. 11 Indicadores de tasa de transferencia de datos, para realización de pruebas en campo.....	27
Figura 2. 12 . Identificador de celda de la estación BTS.....	28
Figura 2. 13 Niveles de RxLev Sub, medidos en campo.....	29
Figura 2. 14 Niveles de FER Sub, medidos en campo.	29
Figura 2. 15 Niveles de RxQual Sub	30
Figura 2. 16 Identificador del sector de la estación NodoB	31
Figura 2. 17 Identificador del sector de la estación NodoB	32
Figura 2. 18 Niveles de RSCP, medidos en campo.....	33
Figura 2. 19 Niveles de ECNO, medidos en campo.....	34
Figura 2. 20 Niveles de CQI, medidos en campo.....	35
Figura 2. 21 Niveles de descarga de datos, medidos en campo.....	36
Figura 2. 22 Perfil topográfico, área de análisis.	36
Figura 2. 23 Gráficas de mediciones promedio de GSM mostrado con herramienta ACTIX.....	37
Figura 2. 24 Grafica de representación con Atoll programa de radio network planning	38
Figura 2. 25 Gráficas de mediciones promedio de WCDMA mostrado con herramienta ACTIX	38
Figura 2. 26 Gráfica de representación con Atoll programa de radio network planning	39

Figura 3. 1 Sistema de optimización indoor repetidor RF.....	42
Figura 3. 2. Sistema de optimización indoor CELFI PRO	43
Figura 3.3. Sistema de optimización indoor In Building Solution	44
Figura 3.4. Elementos de la red de radio frecuencia (repetidor)	46
Figura 3.5. Corrida de Cable CNT 400, desde repetidor hasta antenas distribuidas	47
Figura 3.6. Distribución de equipos y antenas con prioridad de áreas a cubrir.....	48
Figura 3.7. GUI DE USUARIO con configuración de frecuencias a operar.....	51
Figura 4. 1 Ubicación antena donora.....	54
Figura 4. 2 . Montaje repetidor MRx18.....	55
Figura 4. 3 Sistema de antenas distribuido, instalado en oficinas.	56
Figura 4. 4 Identificador de celda de la estación BTS, pruebas finales.....	57
Figura 4. 5 Niveles de RxLev Sub, pruebas finales.	58
Figura 4. 6 Niveles de FER Sub, pruebas finales.	59
Figura 4. 7 Niveles de RxQual Sub, pruebas finales.	60
Figura 4. 8 Identificador del sector de la estación NodoB, pruebas finales.	61
Figura 4. 9 Identificador de portadora, pruebas finales.	62
Figura 4. 10 Niveles de RSCP, pruebas finales.	63
Figura 4. 11 Niveles de ECNO, pruebas finales.....	64
Figura 4. 12 Niveles de CQI, pruebas finales.....	65
Figura 4. 13 Niveles de descarga de datos, pruebas finales.	66
Figura 4. 14 Percepción de audio, comparación de calidad de audio de llamada	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Descripción de canales (portadoras) para la tecnología WCDMA.	25
Tabla 2. 2 Resultados del estado actual del servicio celular.....	39
Tabla 2. 3 Eventos del terminal de pruebas 2 (Mobile station MS2).....	40
Tabla 3. 1 Comparación entre soluciones de optimización indoor.....	45
Tabla 4. 1 Equipos a utilizar.....	52
Tabla 4. 2 Comparación de niveles obtenidos.....	67
Tabla 4. 3 Escala MOS.....	69
Tabla 4. 4 Comparación de operadoras.	69
Tabla 4. 5 Resumen de costos	71

RESUMEN

El deficiente servicio de telefonía celular dentro de las instalaciones del Grupo Tv Cable principalmente en el subsuelo 1, genera molestias entre los abonados pertenecientes a la operadora celular OTECEL S.A., ya que no es posible realizar llamadas, la navegación en internet causa molestias ya que no se cargan las páginas web, otro grave problema se tiene con el envío de mensajes SMS, o a través de redes sociales cuyos mensajes no son entregados a sus destinatarios debido a que no se tiene servicio celular adecuado. El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis, diseño e implementación de una red de radio frecuencia en la tecnologías GSM y WCDMA, que permita la inserción de una solución de radio frecuencia basada en un sistema de antenas distribuidas compatible con la diversidad de usuarios del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable además del uso de aplicaciones dentro del sistema móvil avanzado.

Los resultados de los estudios de propagación a través de técnicas de radio network planning y estudios de campo realizados en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable muestran que la cantidad de equipos seleccionados otorgan cobertura con niveles de potencia de señal superior a -70 dBm para ambas tecnologías GSM y WCDMA en las áreas de mayor tráfico de usuarios.

El proyecto de diseño de red de radio frecuencia es complementado con un análisis basado en las experiencias de los abonados a través de la realización de pruebas con los usuarios que ponderan la calidad del audio que tiene las llamadas del servicio celular dentro del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable.

ABSTRACT

The bad service in cellular system on subsoil 1 of Tv Cable's building causes discomfort among the subscribers to the cellular operator Otecel S.A.. The main problem is voice, the users can't make calls and when it is possible the call sounds bad with a lot of noise and interference is high, the navigation in Internet causes many problems, the web pages didn't load complete and the application of Movi Talk didn't run well because the low levels of RF causes that the cellphone didn't attach in the cellular system. This paper aims to conduct an analysis, design and implementation to allow the optimize the cellular system inside the subsoil 1 of Tv Cable building.

Among the objectives of the project are the identification of the initial state of the network and the internal and external sources that make it difficult for the cellular coverage to affect subsoil 1 of the TV Cable building, the radio frequency network design allows to provide coverage in subsoil 1 guaranteeing the quality, coverage and capacity of the data transmitted from sender to receiver.

The results of the tests are classified according to the perception of the subscriber and shows in tables.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas han tenido mucho auge en los últimos años, una de las que ha evolucionado en beneficio de las personas es la telefonía móvil celular, por lo cual se ha convertido en uno de los ejes más destacados de las telecomunicaciones a nivel global. En la actualidad y en la sociedad moderna el uso del teléfono celular es algo cotidiano, además de la globalización y el conocimiento que han generado un gran despliegue de las telecomunicaciones, el servicio celular paso de ser algo que mejoraba la forma de vivir a ser un servicio importante y trascendente para la colectividad. La imperiosa necesidad de estar comunicados genera que las personas acudan por nuevos servicios y más ofertas esto implica un mayor número de abonados para las operadoras celular, por lo que se debe garantizar un buen servicio tanto en voz como en datos.

El deficiente servicio de telefonía celular dentro de las instalaciones del Grupo TVCABLE ubicado en las calles Eloy Alfaro y De las Higueras principalmente en el subsuelo 1, genera molestias entre los abonados pertenecientes a la operadora celular OTECEL S.A., ya que no es posible realizar llamadas debido a la atenuación de la intensidad de señal celular hacia el abonado, si la conexión con la estación base es exitosa se percibe que la calidad de la llamada es degradada mostrando la voz robotizada, se escucha entrecortada, y tiene poca nitidez y retardos durante la llamada, a su vez la navegación en internet causa molestias ya que las páginas no se cargan apropiadamente, de igual manera ocurre con respecto al envío de mensajes SMS, o a través de redes sociales cuyos mensajes no son entregados a sus destinatarios debido a que el servicio celular se encuentra degradado. El problema se agrava mayormente en el servicio de internet móvil ya que manejan paquete de datos para los equipos MOVITALK que son usados para comunicarse. Esto sucede principalmente en los interiores del subsuelo 1 que tiene un área de 45 m de largo por 20 m de ancho, en pasillos y en las dependencias como call center, área de proyectos, auditorio, departamento de seguridad y bodegas.

Para mejorar el deficiente servicio celular se realiza pruebas in situ que permiten la recolección de datos e información acerca del estado inicial de la red en la zona de análisis, el tratamiento de la información se la estudia y analiza utilizando herramientas

de radio network planning para determinar las causas que afectan a la calidad de la señal del sistema celular que la operadora ofrece. El deficiente servicio celular indoor es afectado por diversos factores por lo que es necesario desarrollar un diseño de red de radio frecuencia con un sistema DAS mediante la investigación de los elementos que conforman la solución de optimización del sistema celular.

El diseño de la red celular para implementación permite tomar la señal de la estación más cercana que presenta buenos niveles de radio frecuencia, mediante las antenas del sistema DAS se irradia la señal de telefonía móvil dentro de las instalaciones del subsuelo 1 de Tv Cable para mejorar la cobertura y calidad del ambiente de radio frecuencia garantizando el servicio celular. Se realizan pruebas con el usuario final para verificar el funcionamiento de la red celular tabulando los datos con índices que permiten puntuar la calidad percibida en el servicio celular.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

1.1. Redes celulares

La telefonía celular o también llamada telefonía móvil es una gran red global de comunicaciones que está formada por dos grandes partes que interactúan entre si y son: los terminales móviles o teléfonos celulares y la red celular o red de comunicaciones, esto en conjunto permiten que se lleve a cabo una comunicación entre los interlocutores.

Las diversas conversaciones cotidianas entre usuarios se llevan a cabo mediante la interconexión de varios dispositivos de servicio celular con centrales de telefonía fija y celular, y a su vez con terminales móviles que acceden a una red de comunicaciones de diferente tecnología de servicio que permiten a las personas poder comunicarse.

La operación que se realiza para tener una comunicación comienza cuando el teléfono móvil accede a la red de comunicaciones pidiendo recursos a la estación transmisora-receptora en la cual está conectado el móvil, y a medida que se desarrolla la llamada los recursos son asignados de manera transparente para el usuario y posibilita que la conversación fluya. (Torres & Miranda, 2013, pág. 2)

1.1.1 Espectro de frecuencia

El espectro radioeléctrico constituye un conjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas desde 3KHz hasta los 3000GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de un medio guiado. A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones tales como televisión, radio y telefonía móvil, que tienen una importancia creciente para el desarrollo tecnológico y económico de un país. El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República del Ecuador como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. En Ecuador para el uso de frecuencias está regulado mediante el ARCOTEL y en su resolución No. 498-25-CONATEL-2002 ha especificado un rango de frecuencias esenciales para el servicio móvil avanzado de acuerdo a las recomendaciones de UIT y el plan nacional de frecuencias y estas bandas son:

- 824 MHz – 849 MHz,
- 869 MHz – 894 MHz,
- 1710 MHz – 2015 MHz,
- 2110 MHz – 2200Mhz.

1.1.2 Evolución de la tecnología celular

La evolución de la telefonía móvil ha permitido la clasificación de cada servicio ofrecido en categorías que son asociadas en base al cumplimiento de las necesidades del usuario para tener acceso al sistema de comunicación, con el fin de catalogar cada una de las etapas y protocolos desarrollados dentro de la telefonía móvil se ha implementado la categorización a través de generaciones que se relacionan en base al servicio ofrecido y a los métodos de transmisión que utilizan, así se tiene hasta el momento cuatro generaciones (1G, 2G, 3G y 4G).

(Inzaurrealde, Isi, & Garderes, pág. 5)

1.1.3 Primera generación (1G)

La primera generación asociado al método de transmisión análogo y a dispositivos de comunicación relativamente grandes, y en si su finalidad estaba concebida para la transmisión de voz sin embargo con el uso de modem análogos y métodos de modulación se lograba conseguir la transmisión de datos a 4,8kbps. Se formaron varios estándares a nivel mundial por lo que no se logró tener un estándar mundial lo que género que en norteamérica se empieza a usar el sistema AMPS (ADVANCED MOBILE PHONE SERVICE) en 1981 que tenía mecanismos de seguridad endebles y permitían espiar las líneas telefónicas, en el continente europeo se introduciría el sistema NMT NORDIC MOBILE TELEPHONE SYSTEM el cual empezó a operar en los países nórdicos de: Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega en la banda de los 450MHz, en esta generación se crean varios sistemas asociados a operadores de telefonía móvil como el japonés NTT, el alemán C-NETZ, el francés RADIOCOM 2000.

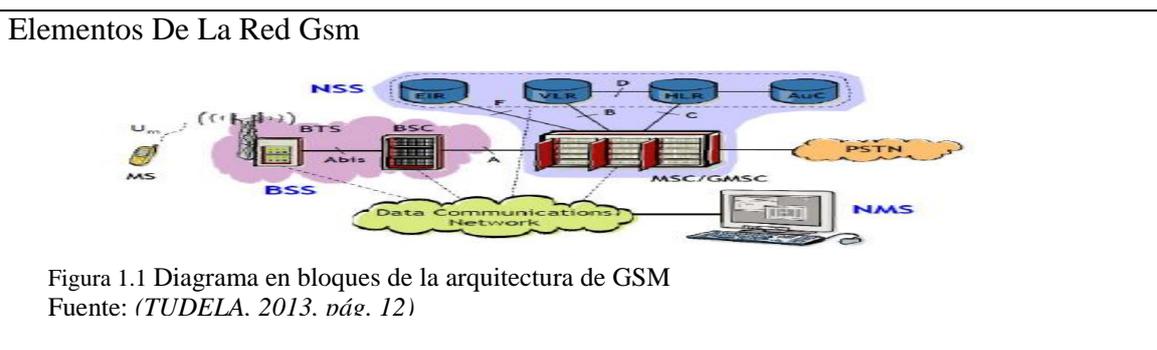
(Robledo, 2007, pág. 10)

1.1.4. Segunda Generación (2G)

En esta generación se empieza a desplegar la tecnología digital y así fue como se desarrollaron dos tecnologías GSM (Global System for Mobile Communications) y CDMA (Code Division Multiple Access). CDMA es una técnica de acceso múltiple que asigna códigos únicos a cada usuario permitiendo que los usuarios puedan comunicarse a la vez utilizando de mejor manera el espectro de frecuencias, básicamente las llamadas se envían una sobre la otra a través de todo el canal con la diferencia que a cada llamada se le asigna su propio código diferente al de otros usuarios que comparten el mismo canal simultáneamente de tal forma que la señal se mantiene diferenciada. (Rubio, Gonzalez, & Fernandez, 2002, pág. 38)

Asignando un código propio para cada llamada permite establecer una mayor seguridad en la comunicación. Sin embargo GSM fue mejor vendido que CDMA por costos, cooperación de la industria, migración a tercera generación por facilidad con SimCard y equipos, la portabilidad que ofrece al momento de cambiar de equipos por la facilidad de tener toda la información en la SimCard. (Zambrano, 2008, pág. 8)

GSM Global System for Mobile Communications, es usada globalmente ya que permite la interoperabilidad entre sistemas de países distintos y elimina la problemática que existía con los sistemas de primera generación que eran desarrollados individualmente de acuerdo a las necesidades de cada país, GSM es un sistema ideado netamente digital y sus especificaciones son proporcionadas por el ETSI (Instituto de Estandarización de las Telecomunicaciones Europeas), se reservó un espectro de frecuencia comprendido entre las bandas de 900MHz y 1.8GHz en Europa y en las bandas de 850MHz y 1,9GHz en los EE.UU. Para Ecuador GSM opera en el rango de frecuencias 850MHz y 1900MHz. En la figura 1.1 se muestra la arquitectura de GSM para establecer servicio celular.



De la arquitectura mostrada en la Figura1 se tiene tres bloques principales:

BSS (Base Station System)

Es el sistema que se encarga del control de canales y las conexiones con el móvil a través de la interfaz de radio, incluye los elementos utilizados para la comunicación del enlace ascendente y descendente con el móvil y la gestión del mismo. Además es el elemento de la red GSM que está en contacto con la NSS.

La BSS está compuesta por la BTS (BASE TRANSCEIVER STATION) que es el elemento que se encuentra en permanente comunicación con el MS (MOBILE STATION) y que brinda la cobertura de red, y la BSC (BASE STATION CONTROLLER) que es el sistema que controla el operar de la BTS y gestiona la movilidad, a más de dar soporte de señalización. (Lamilla, 2010, pág. 13)

NMS (NETWORK MANAGEMENT SUBSYSTEM)

Es el encargado de monitorear diversas funciones y elementos de la red tales como:

- Gestión de fallos
- Gestión de configuración
- Gestión del rendimiento

Gestión de fallos: es la parte encargada de garantizar el buen funcionamiento de la red y la rápida corrección de cualquier tipo de anomalía detectada en la red. La persona encargada se la conoce con el nombre de ojos y manos, tiene el propósito de verificar toda la información de la red mediante el estado de alarmas y la base de datos del historial de los eventos registrados.

Gestión de configuración: es la parte encargada de mantener la información de la red actualizada en cuanto a configuraciones y operatividad de los equipos de red, por ejemplo está encargada de la gestión del enlace de radio, software y hardware de los elementos de la red, sincronización de tiempo y las operaciones de seguridad.

Gestión del rendimiento: El SMN recoge datos de medición a partir de elementos individuales de la red y la almacena en una base de datos. Sobre la base de estos datos,

el operador de la red compara el rendimiento real de la red con el rendimiento previsto y detectar buenas y malas áreas de desempeño. (Cisneros & Salazar, 2011, pág. 13)

NSS (NETWORK SWITCHING SUBSYSTEM)

Es el sistema que se encarga de las funciones principales de la red de conmutación GSM, tiene las bases de datos necesarias de información de los abonados y para la gestión de movilidad. La principal función del NSS es encargarse de la comunicación de los usuarios de la red GSM con usuarios de otra red de telecomunicaciones como por ejemplo PSTN. Dentro del sistema NSS las funciones primordiales de conmutación están realizadas por el MSC, que está encargado de coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM. Las principales funciones de NSS son:

- Control de llamadas: Esto identifica el abonado, se establece una llamada, y borra la conexión después de la conversación ha terminado.
- Carga: Este recoge la información de carga sobre una llamada (el número de la persona que llama y el abonado llamado, el tiempo y el tipo de la transacción, etc.) y lo transfiere al centro de facturación.
- Gestión de la movilidad: Esto mantiene la información sobre la ubicación del abonado.
- Señalización: Utiliza sistema de señalización SS7, el sistema SS7 permite el trabajo de bloques del NSS dentro de una red GSM o varias redes GSM. Esto se aplica a las interfaces de la red GSM.
- Manejo de datos de abonado: Este es el almacenamiento permanente de datos en el HLR y el almacenamiento temporal de los datos pertinentes en el VLR.

(Hernández, 2003, pág. 78)

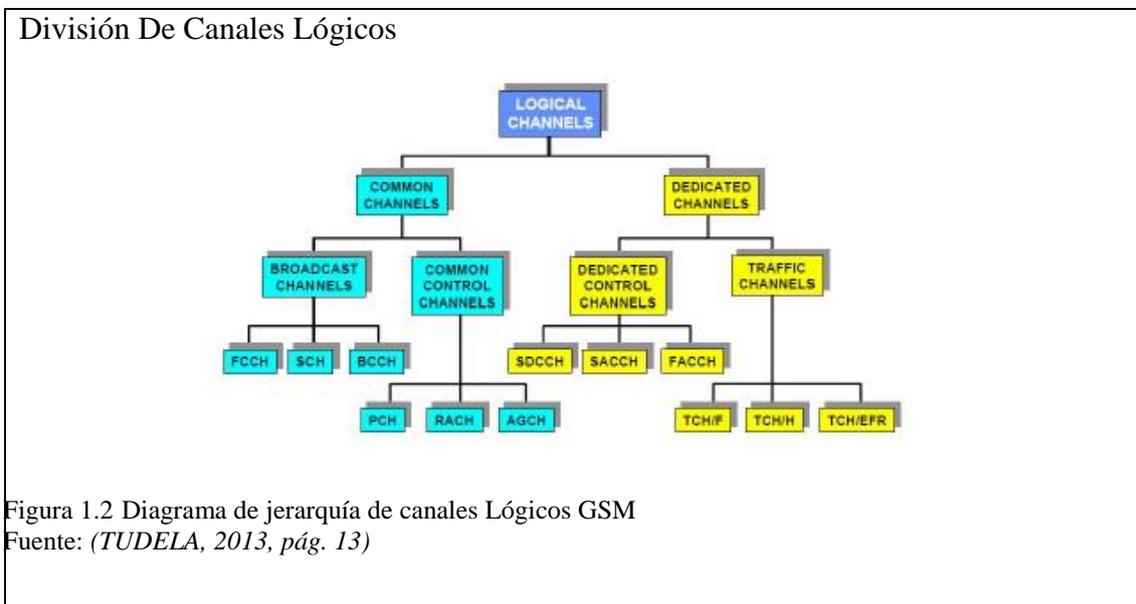
MS (Mobile Station) básicamente es el teléfono celular o móvil que un abonado dispone para comunicarse con una o varias personas mediante la red celular. MS es el conjunto de SIM (Subscriber Identity Module) y ME (Mobile Equipment), SIM es una tarjeta inteligente con memoria que se la ingresa en el ME y da una identidad al dispositivo asociado a un operador de telefonía móvil, y ME es el aparato portátil de telefonía celular y está asociado con una IMEI, el ME no opera sin SIM. (Zambrano, 2008, pág. 14)

1.1.5 Sistema radiante

BTS es la estación a la cual el móvil se va a conectar para generar una llamada y cada BTS puede tener asignados entre 1 y 16 canales de radio. La BTS realiza el proceso de la señal recibida y se encarga de la transmisión-recepción de los datos de la señal. Las funciones de la BTS son:

Método de acceso GSM: GSM utiliza TDMA (Time Division Multiple Access) es un método que divide un canal de radio en una frecuencia determinada en periodos de tiempo consecutivos llamados tramas TDMA, a su vez cada trama TDMA se divide en 8 periodos de tiempo llamados timeslot. El timeslot es el canal físico ya que a través de este canal se lleva la información de un punto a otro. Los 8 timeslot tienen contenidos en sus tramas canales lógicos. En GSM los canales lógicos se dividen en dos tipos los dedicated channels (canales dedicados) y common channels (canales comunes) estos canales pueden ser de control o de tráfico.

En la figura 1.2 se muestran los canales GSM, a continuación se describen los canales de GSM más importantes para el análisis del tema de estudio:



BCCH: es un canal downlink que se usa para enviar información de identificación de celda y de red. BCCH envía una lista de canales que están en uso en una celda.

TSO: contiene datos BCCH durante tramas específicas y contiene otro tipo de canales BCH.

FCCH: permite a cada estación móvil sincronizar su frecuencia interna de oscilación a la frecuencia exacta de la estación base.

SCH: se usa para identificar a la BTS servidora, además permite a cada móvil la sincronización de las tramas con la BTS.

PCH: proporciona señales de búsqueda a todos los móviles de una celda, y avisa a los móviles si se ha producido alguna llamada procedente de la PTSN. El PCH transmite el IMSI del abonado destino, junto con la petición de reconocimiento de la unidad móvil a través de un RACH.

RACH: es un canal "uplink" usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada.

AGCH: se usa por la estación base para proporcionar un enlace de comunicaciones con el móvil, y lleva datos que ordenan al móvil operar en un canal físico en particular.

SDCCH: lleva datos de señalización siguiendo la conexión del móvil con la estación base, y justo antes de la conexión lo crea la estación base.

TCH: son canales que se usan para llevar voz codificada o datos de usuario.

ACCH: está siempre asociado a un canal de tráfico o a un SDCCH y se asigna dentro del mismo canal físico.

FACCH: lleva mensajes urgentes, activando bits especiales en una trama de tráfico.
(GSMSPAIN, 2016)

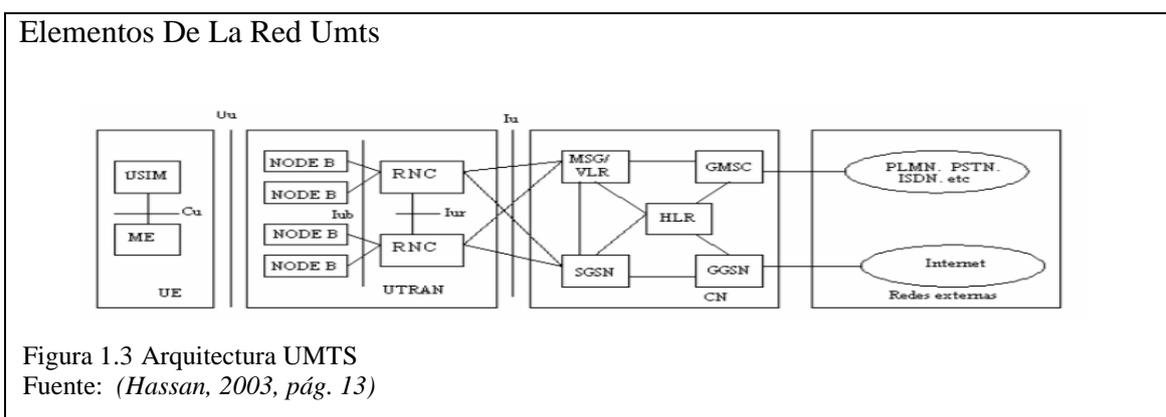
1.1.6. Tercera Generación (3G)

La imperiosa necesidad de comunicación de las personas y la urgencia de estar conectado a cada instante, ha derivado en que la tecnología evolucione a pasos

agigantados, esto ha desencadenado que la tecnología celular evolucione en gran medida ofreciendo mayores velocidades de transmisión de datos, mejores servicios de telefonía y aplicaciones que permiten al usuario variedad de servicios. Como consecuencia los sistemas de segunda generación llegaron al límite de su capacidad, y no se abastan para cubrir la necesidad de comunicación actual. UMTS es uno de los principales sistemas de telecomunicaciones de tercera generación, ha sido estandarizado por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) dentro del marco de trabajo del ITM-2000.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

UMTS conserva la estructura de red GSM, sin embargo UMTS tiene una arquitectura de red con tres principales estructuras mostrada en la figura 1.3, la estación móvil, la red de acceso de radio UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access) y la red principal CN (Core Network). UMTS soporta GSM permitiendo la interacción combinada de manera transparente para el usuario. UMTS comprende las RNC y los NodosB. La RNC se encarga del control de los NodosB así como la gestión de los recursos de radio y la parte de la gestión de movilidad MM (Mobility Management). En UMTS existen dos interfaces de comunicación entre las estructuras, la interfaz Iu que conecta la UTRAN y Core Network, y la interfaz Uu que conecta la UTRAN y el MS. Las interfaces Iu envían el tráfico del usuario incluyendo voz y datos y controlan la información. (Fajardo, 2004, pág. 1 a 5)



UTRAN provee la conexión entre los terminales móviles y el core network, además gestiona todas las funciones de la Core Network para ello utiliza radio controladores de red RNS. RNS (Radio Network System) se lo puede comparar con BSS (Base Station

System), la red UTRAN está compuesta por varios RNS's, los cuales se conectan al core network a través de la interfaz Iu y a su vez pueden conectarse entre sí a través de la interfaz Iur. Un RNS se compone de un RNC y uno o varios nodos B. RNC (Radio Network Controller) es análogo en GSM a BSC (Base Station Controller) este controlador de red controla las funciones del RNS y es responsable del control de los recursos de radio proporcionado por uno a varios nodos B (estaciones celulares). Nodo B es responsable de la transmisión-recepción desde o hacia los terminales (celulares) en una área de cobertura y servicio UMTS. Los nodos B se conectan a RNCs a través de la interfaz Iub y a las estaciones móviles a través de la interfaz Uu. Un nodo B gestiona al menos tres BTS's.

(Sotomayor & Rugel, 2015, pág. 52)

El sistema UTRAN de WCDMA puede operar en dos modos que son FDD (Frequency Division dúplex) y TDD (Time Division Duplex), estos dos métodos establecen diferentes parámetros de operación de la capa física, El modo FDD trabaja en diferentes bandas de frecuencias tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente, en el modo TDD se tiene una misma banda de frecuencias pero en diferentes ranuras de tiempo tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente.

(López, 2005, pág. 22 y 23)

Las principales funciones de UTRAN son:

- Control de admisión (Admission Control AC): acepta o rechaza nuevos usuarios, nuevas portadoras de acceso de radio o nuevos enlaces de radio.
- Sistemas de Información de Broadcasting: provee al UE información de los protocolos de acceso de radio lo cual es necesario para el UE y su operación dentro de la red.

UMTS cambia el método de acceso TDMA utilizado por GSM, a WCDMA (Wideband Code División Multiple Access). WCDMA opera con ancho de banda de 5MHz, se basa en el uso de una secuencia pseudo aleatoria y códigos ortogonales o códigos OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor), códigos ortogonales con factor de ensanchamiento variable, el uso de códigos ortogonales sirve para poder diferenciar a los usuarios es decir se usa un código único para cada usuario, así al agrupar a los usuarios es posible codificar a cada uno según el código. Cada uno de estos códigos a

más de definir a los usuarios permite delimitar las tasas de transmisión a las que puede operar el usuario por lo que mientras más reducido sea el código mayor será la tasa de transmisión de la que dispondrá el usuario. WCDMA utiliza el modelo en capas OSI está formada por tres capas física, enlace de datos y capa de red.

Capa enlace de datos: está compuesta por dos subcapas capa de control de acceso al medio MAC (Medium Access Control) y la capa de control de enlace de radio RLC (Radio Link Control). La capa MAC coordina el acceso al medio físico sobre el que se transmite la información, la reasignación de los recursos de radio y medida del volumen de tráfico y calidad de la señal. La capa RLC se encarga de asegurar que la información sea transmitida de manera correcta, además proporciona la segmentación y retransmisión de la información, asimismo gestiona el control de errores retransmite paquetes de información que la capa física no pudo enviar correctamente. La transmisión de información a la capa RLC se lo realiza en canales lógicos agrupados dependiendo del tipo de información que se transfiere, los canales lógicos se dividen en canales de control utilizados para transferir información de control, y canales de tráfico que se utilizan para transferir la información del usuario.

Capa física: es la capa más baja del modelo en el protocolo WCDMA está asociada como interfaz aérea, para lo cual tiene diferentes interfaces lógicas con las sub-capas MAC y RLC, PHY que es la interfaz entre Mac y capa física es usada para transferir datos (Canals de transporte), CPHY es la interfaz entre la capa física y la capa RRC es usada para el control y mediciones de la información transferida, es solo utilizada para la administración de la capa física y su información no es enviada por la interfaz aérea.

Capa de red: está conformada por varias sub-capas:

- RRC (Radio Resource Control) permite establecer una conexión de control entre el equipo de usuario UE y la red de acceso en el cual se desarrollan varias funciones relacionadas con la gestión de la interfaz de radio.
- MM (Mobility Management) permite el intercambio de mensajes entre el equipo de usuario y la red troncal con la finalidad de obtener información de geo localización de los UEs. (Guillen, 2008, págs. 15, 16 y 17)

Estación Móvil: también conocida como UE (user equipment) está formada por el ME y la SIM, en conjunto permiten la comunicación con otros usuarios de la red, el equipo móvil utiliza la interfaz Uu a través de la sim para la comunicación.

Estaciones base 3G o NodoB: es la estación base que funciona como interfaz entre UMTS y la interfaz de acceso de radio, se encarga de la transmisión y recepción de la información de la red. Las principales funciones del NodoB consisten en la codificación del canal, estimación del tráfico de la celda, modulación/demodulación de la señal recibida, mide la calidad y potencia de la señal y manda esa información a la RNC.

Core Network CN: sus funciones son la conmutación, ruteo y tránsito del tráfico del usuario, el CN contiene las bases de datos de las funciones de administración de la red. Con la aparición de UMTS las velocidades de transmisión de datos aumentaron llegando a alcanzar como propuesta del 3GPP para 3G de 64 a 384 kbps de subida y bajada, para 3G HSPA hasta 7,2 Mbps de subida y bajada y para 3G HSPA+ hasta 22 Mbps de subida y bajada, para lo cual se cambió la modulación a 64QAM lo cual incrementa las tasas de transmisión considerablemente. Como característica adicional se introduce la transmisión y recepción discontinua, que permite apagar el transmisor o el receptor del móvil si este no recibe información significativa del Nodo B o si no tiene información que enviar, lo que permite ahorrar energía de la batería del móvil y reduce la interferencia en los canales aumentando la capacidad del medio. (López, 2005, págs. 22, 23 y 24)

RNC (RADIO NETWORK CONTROLLER)

El controlador de la red de radio es el medio que controla los recursos de radio de una RNS o una o varias estaciones (NodoB), la RNC tiene como función la gestión de los recursos de radio (RRM), además se encarga del proceso de handover entre estaciones. (López, 2005, pág. 29)

1.2. Definición de la empresa Telefónica Movistar

Telefónica Movistar es una empresa de telecomunicaciones proveedora de servicios de telefonía móvil, venta de dispositivos móviles y planes de comunicación en Ecuador. Telefónica Movistar en el año 2004 compra las acciones del grupo Otecel S.A. con su nombre comercial Bellsouth, y empieza sus operaciones en Ecuador en 2005 con la

oferta de servicios de telefonía móvil avanzada. En Ecuador sigue operando con el nombre Otecel S.A. y desde 2005 con el nombre comercial Movistar con el cual ofrece servicios de telefonía móvil avanzada que permite a los abonados comunicarse mediante voz, mensajes de texto o internet móvil en tecnologías como GSM, UMTS y LTE.

1.2.1. Frecuencias en las que opera movistar y brinda servicio:

Movistar opera en las bandas de frecuencias:

Para 850 MHz

Banda B: 835 – 845 MHz y 846.5 – 849 MHz

Banda B` : 880 – 890 MHz y 891.5 – 894 MHz

Para 1900 MHz

Banda B-B` : 1870 – 1885 MHz y 1950 – 1965 MHz.

(Arcotel, 2002, pág. 3)

1.2.2. Clasificación de abonados

Movistar para brindar el servicio móvil avanzado dispone de dos tipos de abonados, usuarios consumidores en tiempo aire (prepago) y usuarios consumidores de planes por personales y corporativos (postpago), en cuanto a los planes corporativos se tiene dividido según la facturación de acuerdo a la matriz de cuentas en las que se tiene:

Cuenta VIP: facturación mayor a \$1500 con al menos un usuario.

Cuenta GGCC (Gran Cuenta): facturación mayor a \$2000 con al menos 100 usuarios.

Cuenta PYME: facturación mayor a \$500 con al 10 usuarios.

Cada cuenta posee un ejecutivo comercial el cual brinda el servicio de atención al usuario en forma presencial y es la persona que maneja el contrato de servicio en el cual está acordado el tiempo aire (tiempo de llamadas) y los datos (megas acreditadas) para navegación.

1.2.3 Red de distribución y acceso de Otecel S.A. en la zona afectada

El área de análisis corresponde al subsuelo 1 del edificio de Tv Cable el cual por la ubicación dentro del edificio tiene problemas de cobertura. El edificio tiene una estructura de hormigón armado (mallas de acero y hierro, y hormigón), tipo de pared de bloque con grosor por pared de 10cm, el techo tiene estructura de cielo falso que en una

eventual instalación permite diseñar la corrida de cable de tal forma que no tenga cables que puedan ser vistos. Por el tipo de estructura, por la ubicación del área de análisis dentro de la edificación y por las obstrucciones que presenta el área del análisis, se tiene problemas con el servicio celular especialmente en llamadas, las cuales se cortan (se bloquean), se escuchan con interferencia o con ruido, además que se tiene un gran porcentaje de llamadas que no se establecen. La zona en la que se ubica el área de análisis tiene un superficie geográfica urbana comercial, que tiene varias edificaciones y estructuras que impiden que la señal de radio frecuencia llegue al subsuelo 1 del edificio de Tv Cable. El área de análisis tiene una zona de cobertura que cuenta con varias estaciones servidoras entre las que se tiene GPI_BUMGAMBILLAS, GPI_MONTEOLIVO, UPI_GAMATV_UIO y GPI_ELOY_ALFARO, las cuales están alrededor de 245m, 400m, 350m y 510m respectivamente, que brindan el servicio de telefonía y datos móviles en el área de análisis. (Base de datos estaciones Cellopti, 2016)

1.3. Falencias y potencialidades

El subsuelo 1 de Tv Cable tiene problemas con el servicio de telefonía móvil de Movistar en cuanto a llamadas y datos, el problema reside básicamente que no se tiene cobertura. El subsuelo 1 del edificio de Tv Cable al estar ubicado en una zona altamente comercial posee varias obstrucciones entre las cuales se tiene edificios, vegetación y varios tipos de estructuras como zinc, adobe y bloque de las casas contiguas que atenúan la señal de radio frecuencia e impiden que la cobertura celular pueda llegar al área de análisis y tener servicio de voz y datos.

La distancia de la zona de análisis de 250m con la estación más cercana no es un parámetro preponderante en la disminución de la señal celular, más bien permite que en los exteriores de la edificación se tenga señal celular con presencia de la estación GPI_BUMGAMBILLAS. Al ser una estructura de hormigón permite fácilmente la instalación y corrida de cables en una solución indoor, también posee techo falso que permite que las antenas y los elementos de instalación no sean vistos, además tiene una salida directa hacia el exterior que permite que la ubicación de una antena para el sistema in-building no se ubique a gran distancia del área de análisis por ejemplo la terraza. La zona de incidencia está cubierta con al menos tres estaciones, lo que permite

que la estación con mayor presencia pueda ser manipulada para optimizar la señal celular para potenciar y mejorar la cobertura y calidad en el subsuelo 1 de Tv Cable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar, diseñar e implementar una red de radio frecuencia con tecnología GSM y UMTS en un sistema distribuido de antenas DAS, en Tv Cable para mejorar la cobertura.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir parámetros de calidad, cobertura y capacidad de las tecnologías GSM y WCDMA para la implementación de una red radio frecuencia que mejore el servicio celular.
- Realizar mediciones para conocer el estado de la red en las tecnologías GSM y WCDMA, mediante pruebas de walk test y puntos estáticos.
- Diseñar una red de radio frecuencia utilizando técnicas de radio network planning.
- Implementar el sistema de distribución de antenas DAS en las tecnologías GSM y WCDMA.
- Verificar que la red de radio frecuencia cumpla con los parámetros propuestos de cobertura, capacidad y calidad de la red.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DE LA RED

2.1 Análisis del problema y definición de la solución

En este capítulo se describe el problema de estudio que se resuelve con el desarrollo del proyecto técnico, se realizan pruebas de estado inicial del sitio a evaluar y se determina mediante análisis con herramientas de radio network planning la solución sobre la cual se desarrolla un diseño de red de RF y posterior implementación de la solución de optimización.

2.1.1 Focalización del problema o zona oscura

La empresa Tv Cable posee una cuenta corporativa de categoría gran cuenta con Movistar para el servicio de telefonía móvil, cuenta con alrededor de 20 abonados que se ubican en el subsuelo 1 del edificio ubicado en la Eloy Alfaro y de las Higueras, el subsuelo 1 tiene un área de construcción de 900 m² y tiene varias dependencias entre las cuales se tiene call center, área de proyectos, auditorio, departamento de seguridad y bodegas.



El subsuelo 1 de Tv Cable cuenta con un problema de cobertura en el interior, motivo por el cual los abonados al servicio celular experimentan constantes molestias, ya que no es posible realizar llamadas debido a la atenuación de la intensidad de señal celular hacia el abonado, si la conexión con la estación base es exitosa se percibe que la calidad de la llamada es degradada mostrando la voz robotizada, además que se escucha entrecortada, y tiene poca nitidez, lo que genera retardos durante la llamada por lo que se debe volver a establecer la llamada , a su vez la navegación en internet causa molestias debido a que las páginas no se cargan apropiadamente, si se usa aplicaciones de redes móviles los mensaje no se envían o reciben a tiempo ya que nunca existe conexión con el servidor de la aplicación, de igual manera ocurre con respecto al envío de mensajes SMS, o a través de aplicaciones de mensajería multimedia cuyos mensajes no son entregados a sus destinatarios debido a que el servicio celular se encuentra degradado. El problema se agrava mayormente en el servicio de internet móvil ya que manejan paquete de datos para los equipos MOVITALK que son usados para comunicarse.

2.2 Descripción de pruebas

2.2.1 Herramienta de medición

Para recolección de datos de la red celular con tecnología GSM y WCDMA se utiliza la herramienta de medición del desempeño de la red celular: el software TEMS INVESTIGATION propiedad de ERICSSON en su versión 16.0.1, se ha determinado usar TEMS debido a que es el software con el que cuenta la empresa Cellopti y es con la que se desarrollado un manejo adecuado para el estudio y análisis de la información.

TEMS INVESTIGATION combina la recolección de datos, análisis de tiempo real y post proceso de la información.

Cuenta con dos módulos Data Collection y Route Analisis para el monitoreo de voz y datos sobre las redes celulares.

Data Collection es la parte de TEMS Investigation que interactúa con las estaciones móviles MS, recopila los datos de funcionamiento de la red y los graba en archivos llamados LOGS.

Route Analysis es el modulo que permite la presentación de los datos obtenidos y el análisis de los ficheros LOGS. (Gordillo, 2010, pág. 37)

2.2.2 Equipo de mediciones y descripción de pruebas

Los sistemas que conforman la red celular cada vez recopilan mayor información estadística del desempeño de la red, a través del uso de indicadores que permiten medir el funcionamiento de cada elemento que conforma la red celular sin embargo, siempre es necesario recopilar datos de desempeño en campo desde el punto de vista de la experiencia del usuario. La recolección de información se realiza mediante el uso de equipos multi-tecnologías, multi-bandas y multi-vendors de última generación acompañados de la supervisión en campo de un ingeniero especializado de radio frecuencia.

El equipo de medición de radio frecuencia permite obtener información en la zona de análisis en base a la realización de rutinas que permiten recolectar datos de la red en ambientes outdoors a través de recorridos con vehículos (drive test) o través de mediciones peatonales en ambientes indoor (walk test), el equipo de medición se muestra en la figura 2.2.

2.2.2.1 Herramientas Para Realizar Walk Test O Drive Test

- Recurso humano (Ingeniero de campo)
- Equipo de medición

El equipo de medición está compuesto por:

- Computador:
 - Debe incluir el software necesario para la medición (TEMS Investigación)
 - Firewall desconectado
 - Desactivar actualizaciones

Estaciones Móviles (MS): Teléfonos y módem de prueba

- 3 MS para recolección de información: Scanner, Llamada larga, Llamada corta (Teléfonos).

- 1 MS (MS4) para carga y descarga de datos (módem o Teléfono)
- Otros: Hub, GPS.

Equipo De Medición Tems



Figura 2. 2. Equipo de pruebas
Fuente: Paul Herrera

2.2.2.2 Terminales de Medición Sony Ericsson

Los dispositivos Sony Ericsson son utilizados en la medición del ambiente de radio frecuencia mediante el licenciamiento de ASCOM, es decir poseen un parche de software que permite monitorear la red GSM y WCDMA para recabar información sobre los niveles de cobertura a en un área geográfica determinada.

2.2.2.3 Terminales de Medición Sony Xperia

Los dispositivos SONY XPERIA se utilizan en gran parte de las pruebas como MS4 para el estudio del comportamiento de la red principalmente en datos, el terminal de prueba SONY XPERIA puede tener una modulación de la señal recibida de 64QAM lo que permite obtener tasas de datos altas, dependiendo de los niveles de radio frecuencia que está recibiendo, al igual que los terminales de prueba SONY ERICSSON posee un parche de software licenciado por ASCOM, para recabar información del servicio celular medido in situ.

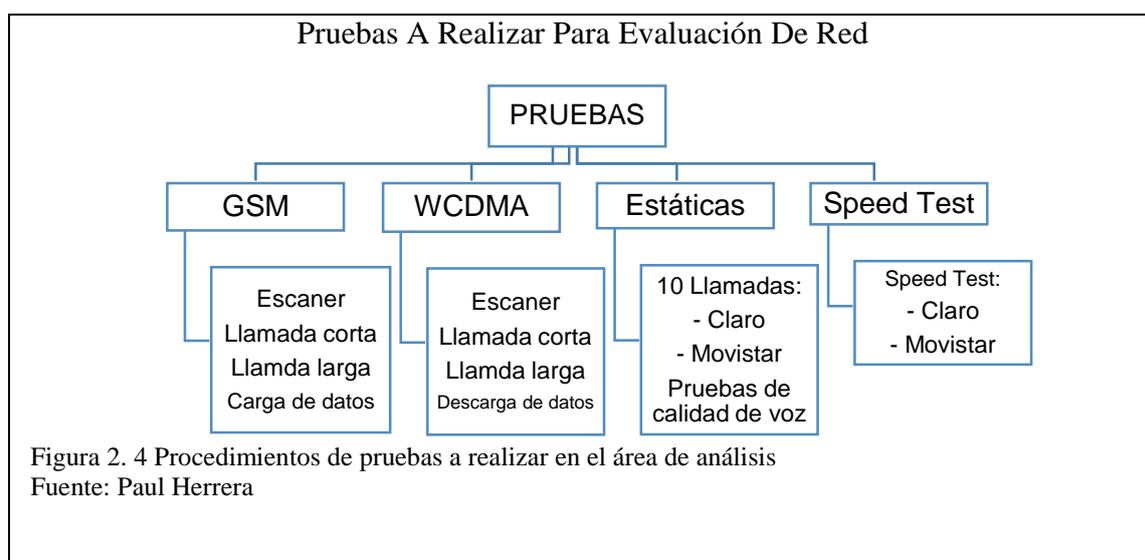
Teléfonos De Pruebas



Figura 2. 3 Teléfono de prueba SONY XPERIA Y SONY ERICSSON
Fuente: Paul Herrera

ASCOM es una empresa de telecomunicaciones se centra en soluciones inalámbricas (soluciones de comunicaciones en sitio) y la red móvil de pruebas. Es el propietario del software Tems. (Galeano, Poveda, & Merchán, 2014, pág. 33)

Ascom es un proveedor de soluciones internacionales con un amplio know-how en los flujos de trabajo de la salud y de las telecomunicaciones. Con una amplia experiencia en la implementación de proyectos complejos para los clientes más exigentes, Ascom se ha posicionado en el mercado y se ha consolidado con importantes cooperadores de soluciones informáticas y clínicas. Ascom ofrece servicio de tecnología, su catálogo de servicio va desde el análisis y consultoría para el diseño de sistemas e integración de sistemas, gestión de proyectos, ingeniería y ejecución, hasta el mantenimiento y soporte de sistemas de servicio celular. (ASCOM/TEMS, 2016)



2.2.2.4 Se Realizan Las Siguietes Pruebas (rutinas)

Pruebas en la tecnología GSM

Se realiza una validación del servicio celular en la tecnología GSM, se realizan las siguientes rutinas:

- MS1: En modo escáner. Se configuran los canales GSM en las bandas 850 MHz y 1900 MHz de Movistar.
- MS2: Al menos 8 llamadas cortas de 30 Segundos y 5 de espera, el teléfono está Bloqueado en la tecnología GSM.
- MS3: Llamada larga de 30 minutos, el teléfono está en Modo dual.

- MS4: Carga de un archivo de datos (Preferido a 3G).

Pruebas en la tecnología WCDMA

Se realiza una validación del servicio celular en la tecnología WCDMA, se realizan las siguientes rutinas:

- MS1: En modo escáner. Se configuran las portadoras en las bandas 850 MHz y 1900 MHz de Movistar
- MS2: Al menos 8 llamadas cortas de 30 Segundos y 5 de espera, el teléfono está Bloqueado en la tecnología WCDMA.
- MS3: Llamada larga de 30 minutos y 5 de espera, el teléfono estará en Modo dual.
- MS4: Descarga de un archivo de 500 MB (Preferido a 3G).

Pruebas estáticas

Esta es una prueba que se realiza desde un punto fijo, para conocer desde un área puntual como están los niveles de señal.

- MS1: 10 llamadas desde un teléfono Claro (Modo dual).
- MS2: 10 llamadas desde un teléfono Movistar (Modo dual).
- Pruebas de calidad de voz: es una prueba con escala MOS en la cual se detalla cómo se percibe el audio de la llamada transcurrida.

Escala MOS para el audio de la llamada: Las llamadas podrán tener los siguientes inconvenientes: RUIDO, ROBOTIZADA, ENTRECORTADA, ECO, RETARDO, OTROS.

- Si el audio fue nítido y sin inconvenientes, se indicará que la llamada fue Excelente.
- Si el audio tuvo 1 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Buena.
- Si el audio tuvo 2 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Aceptable.
- Si el audio tuvo 3 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Pobre.
- Si el audio tuvo 4 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Mala.
- Si la llamada no se concretó o se tuvo presencia de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Inaceptable.

2.3 Parámetros a considerarse en las pruebas

En las pruebas de evaluación de red se deben evaluar varios parámetros que indican el desempeño de la red, a continuación se describen parámetros de calidad, cobertura y capacidad de las tecnologías GSM y WCDMA para la implementación de una red radio frecuencia que mejore el servicio celular.

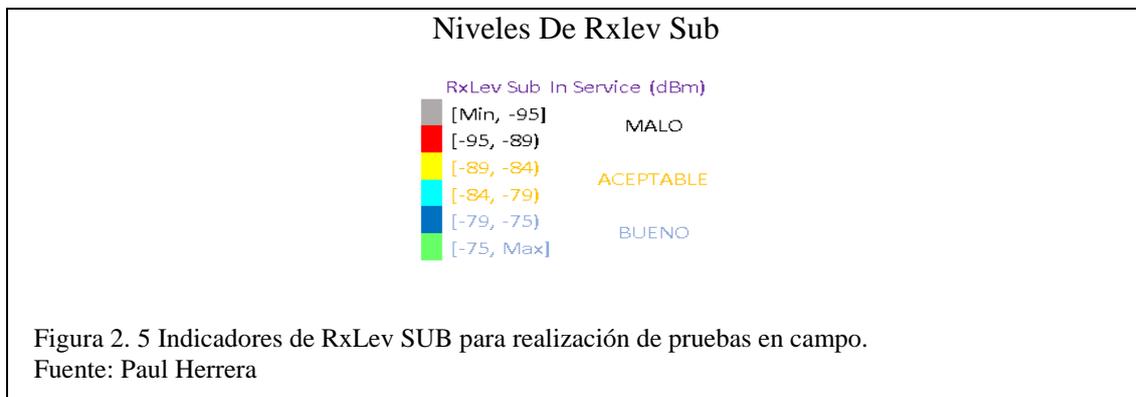
2.3.1 Para la tecnología GSM

Identificador de celdas “cell id” (CI)

El cell Id es el código indicador de un sector específico de la radio base (BTS), cada celda en toda la red cuenta con un código único de “cell Id” para ser identificada dentro de la misma, adicionalmente nos ayuda en el monitoreo de sectores y zonas de cobertura.

Nivel de señal recibido por el móvil “rxlev sub” (received signal Level)

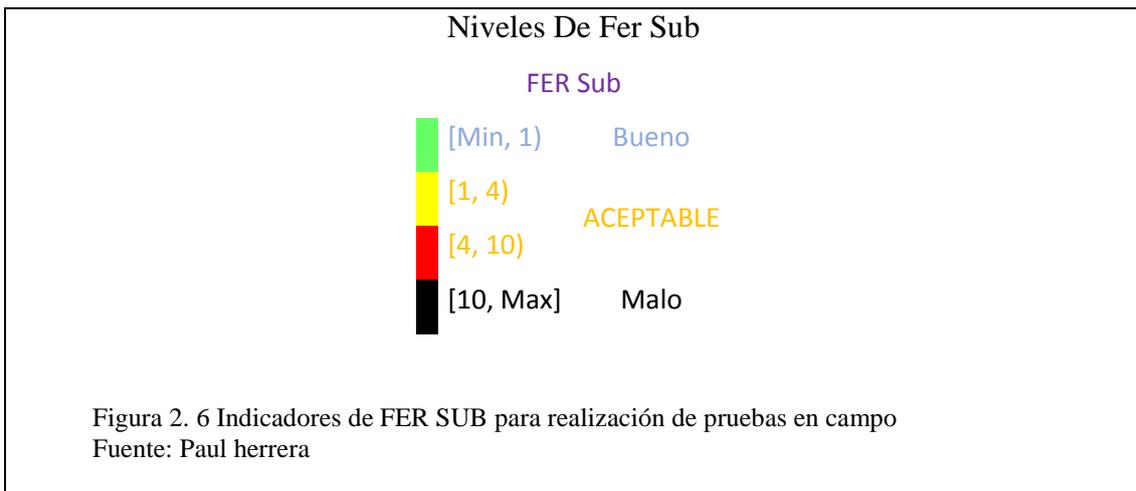
El RxLev sub es el parámetro que muestra la potencia percibida por el móvil, medido en decibelio-milivatio [dBm], básicamente es el parámetro que indica la cantidad de señal que llega dentro de un área geográfica específica medido por un móvil, un bajo nivel de señal RxLev sub (menores a -105 dBm) en la red genera problemas de servicio de telefonía celular. Para permitir una comunicación adecuada entre locutores el RxLev sub debe medir una potencia por encima de -95dBm, para garantizar una comunicación adecuada y sin interferencia en exteriores (outdoor) el RxLev debe indicar valores de -85 dBm a -80 dBm, para interiores (indoor) los valores de RxLev deben ser de -79 dBm a -60 dBm, cabe mencionar que los valores se atenúan con relación a la distancia del móvil a la estación servidora, en una relación directamente proporcional a mayor distancia menor señal. (LEON, 2010, pág. 74)



Frame error rate “FER”

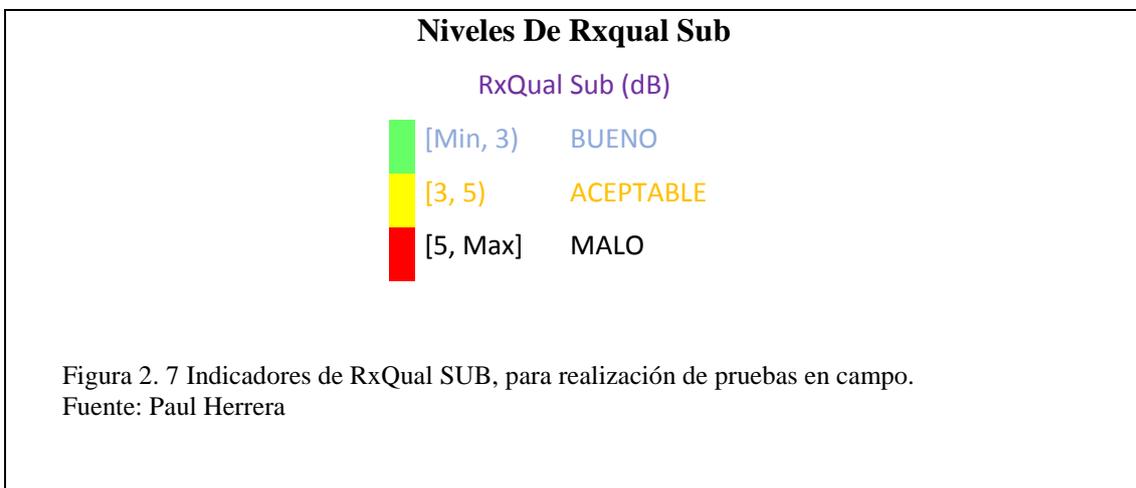
Es el parámetro que indica los niveles de calidad de la señal que percibe el usuario medido por el móvil, el FER es la pérdida de tramas respecto a la trama completa, y afecta directamente a la calidad de voz, también se debe describir el BER (Bit Error Rate) que mide la calidad del canal establecido por el número de errores que se producen durante la transmisión de información. (Campodónico, 2009, pág. 111)

Los niveles con los que se trabaja en este análisis son:



Calidad de señal recibido por el móvil “rx qual sub” (Received Signal Quality)

Es la calidad de recepción de la señal recibida en GSM, además nos indica la cantidad de interferencia medida por el móvil. Para la herramienta de medición TEMS el RxQual Sub se obtiene de transformar la BER en una escala de 0 a 7, es un parámetro indicador de la calidad de la conversación. (Jimenez, 2013, pág. 237)



2.3.2 Para la tecnología WCDMA

Scrambling code “SC”

Indicador de sector. El scrambling code o SC es el indicador del código de acceso múltiple en WCDMA y muestra el identificativo del nodoB. El SC nos muestra el código asignado a una celda en específico dentro de la red WCDMA. A muchos SC medidos por el móvil dentro de un área geográfica pequeña se lo conoce como polución y es muestra de problemas de cobertura. (TUDELA, 2013, pág. 19)

Ultra absolute radio frequency channel number “UARFCN”

El UARFCN es el identificador de portadora sobre el cual se transmite información.

Tabla 2.1 Descripción de canales (portadoras) de Otecel S.A. para la tecnología WCDMA.

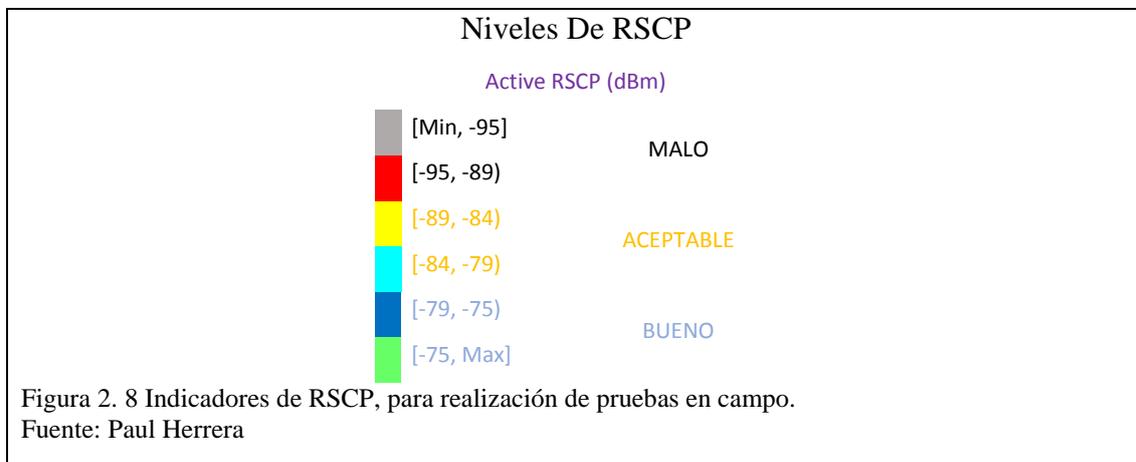
FRECUENCIA	UARFCN
1900 MHz	512
	9387
850 MHz	4412
	4424
	4436

Nota: Códigos de portadoras de Otecel S.A. (Base de datos estaciones Cellopti, 2016)

Recived signal code power “RSCP”

El RSCP es el indicador de potencia de la señal recibida por el móvil que es transmitido por el CPICH (es un canal físico del downlink que transporta una secuencia predefinida de bits), es el parámetro que muestra la cobertura de la tecnología WCDMA.

(Jimenez, 2013, pág. 231)



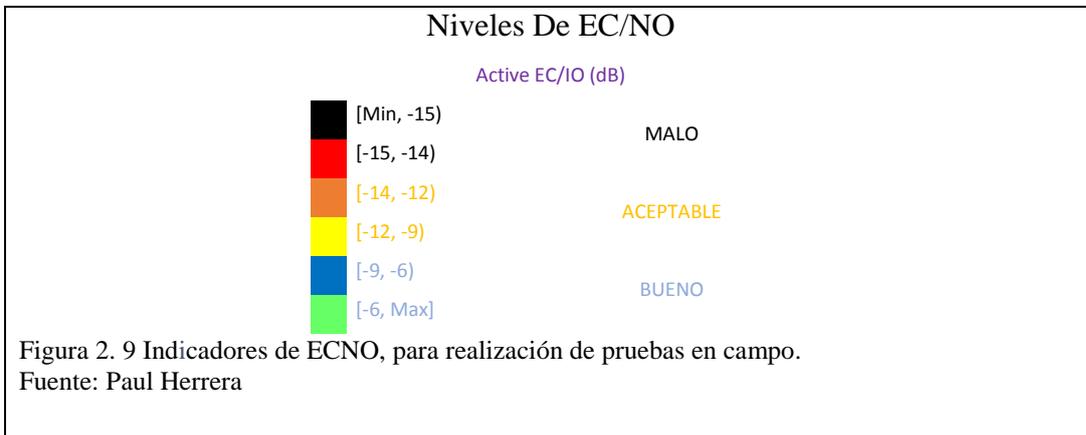
Energy chip on the noise spectral density “EC/NO” O “ECIO”

El EC/NO o ECIO es la energía por chip recibida por la densidad de potencia de ruido, esencialmente es la relación señal a ruido del Primary CPICH para una estación base.

Es la relación entre el RSSI y el RSCP del canal piloto (CPICH), entre más cercano a cero sea el valor medido en el TEMS quiere decir que la calidad de señal recibida es excelente.

RSSI (Received Signal Strength Indication) Identificador de fuerza de señal de recepción, mide el nivel de potencia de las señales recibidas por el dispositivo de telecomunicaciones.

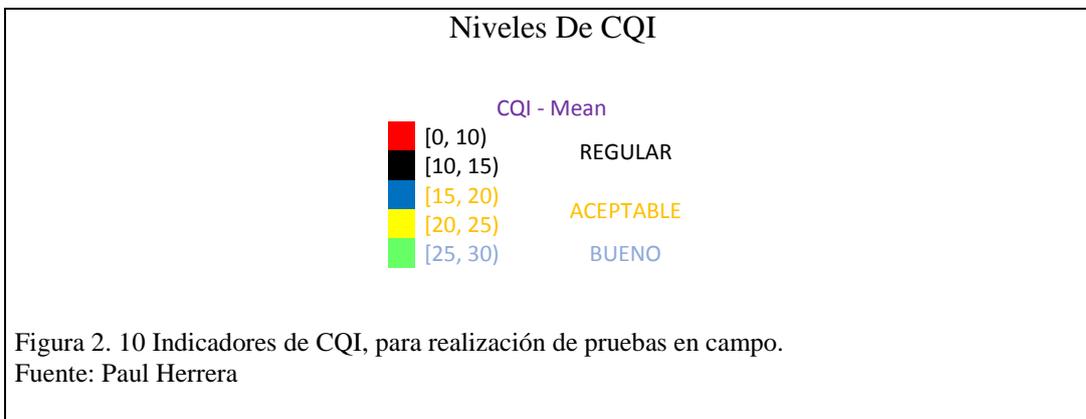
(Jimenez, 2013, pág. 237)



Channel quality indicator “CQI”

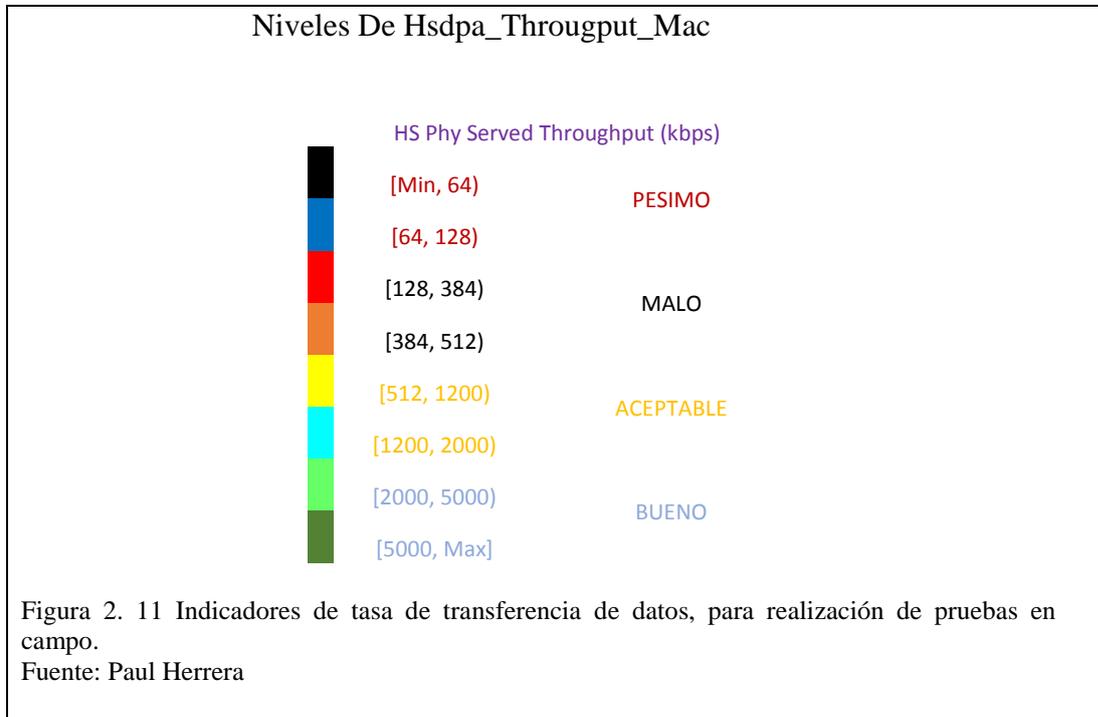
El CQI es un parámetro que muestra la calidad del canal que interactúa con el móvil, es un indicador de la conexión que se establece para la transferencia de información.

(TUDELA, 2013, pág. 19)



High speed downlink packet access “HSDPA”

El parámetro HSDPA_THROUGHPUT_MAC muestra los niveles de descarga de datos en una conexión establecida en la capa física, es el indicador de la tasa de datos transferidos en una sesión de datos en WCDMA. (Jimenez, 2013, pág. 234)

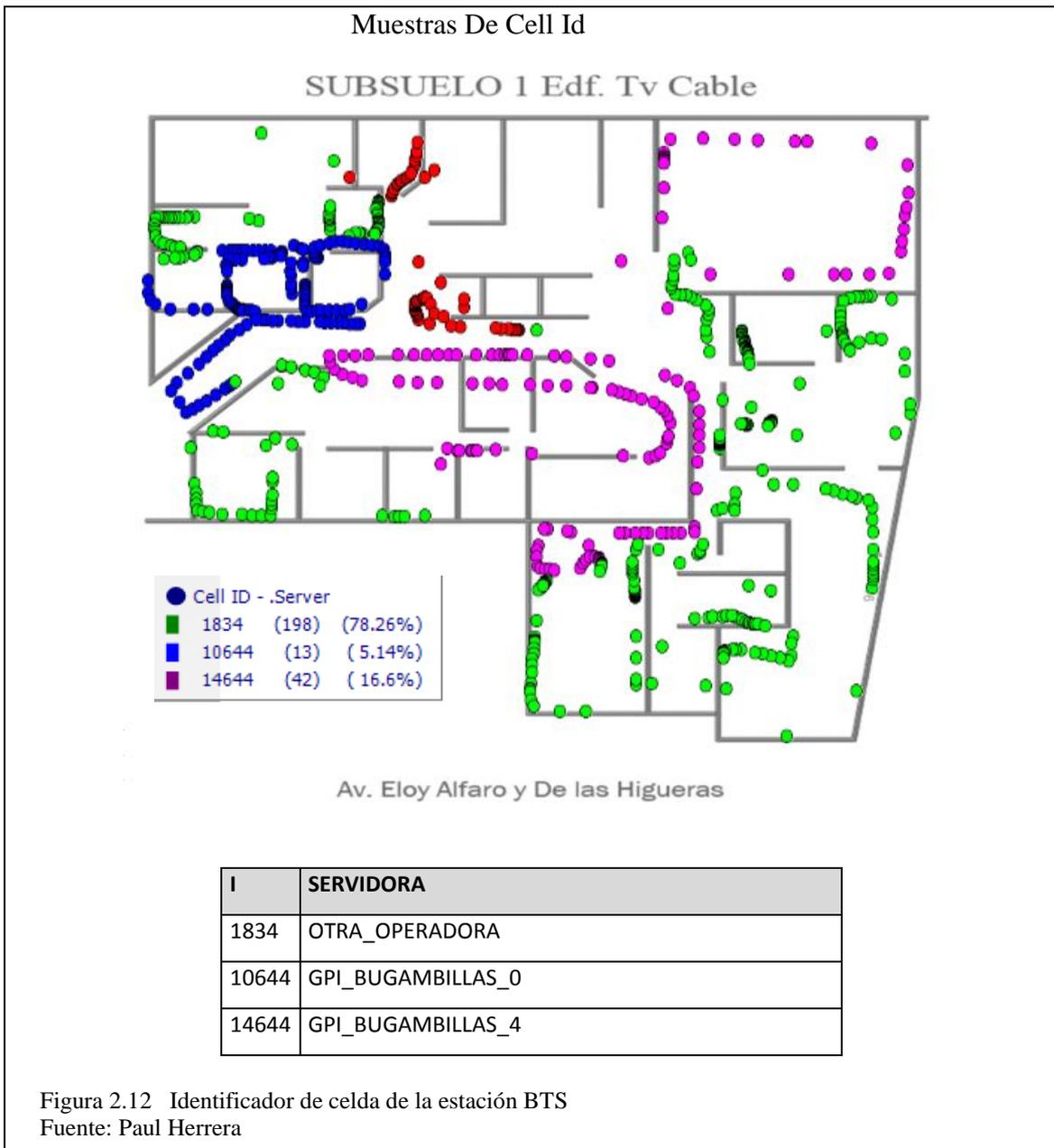


Mediciones del estado actual

El proceso de recolección de datos involucra un análisis minucioso del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable con la finalidad de determinar el estado actual de la institución en varios aspectos que permiten identificar los requerimientos necesarios para la planificación de una red de radio frecuencia eficiente. Para conocer el estado actual de la señal de movistar dentro del subsuelo 1 de Tv Cable se realizaron pruebas de walk test, y puntos fijos, con las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

2.3.3 Para la tecnología GSM:

El cell Id de las estaciones de Otecel S.A. tiene una secuencia de 6 dígitos únicos y registrados en las bases de datos de la operadora, por lo cual de las pruebas realizadas en GSM del estado inicial en la zona de análisis se puede observar en la figura 2.12 que en gran parte de las muestras obtenidas en el terminal de pruebas MS2 se engancha a CI 1834 correspondiente a otra operadora de tal forma que en primera instancia se puede determinar que no existe cobertura de Otecel S.A. en la zona de análisis.



Otro parámetro importante con el cual a priori se determina que existe falta de cobertura en la zona de análisis es el Nivel de Recepción (RxLev), en la figura 2.13 se puede observar que no se tiene muestras en gran parte de la zona de análisis ya que los teléfonos se ponen en modo “no hay red” o “solo llamadas de emergencia”, además que los niveles en su gran mayoría corresponden a niveles inferiores a -95dBm lo cual dificulta la continuidad en el servicio tanto en voz como en datos.

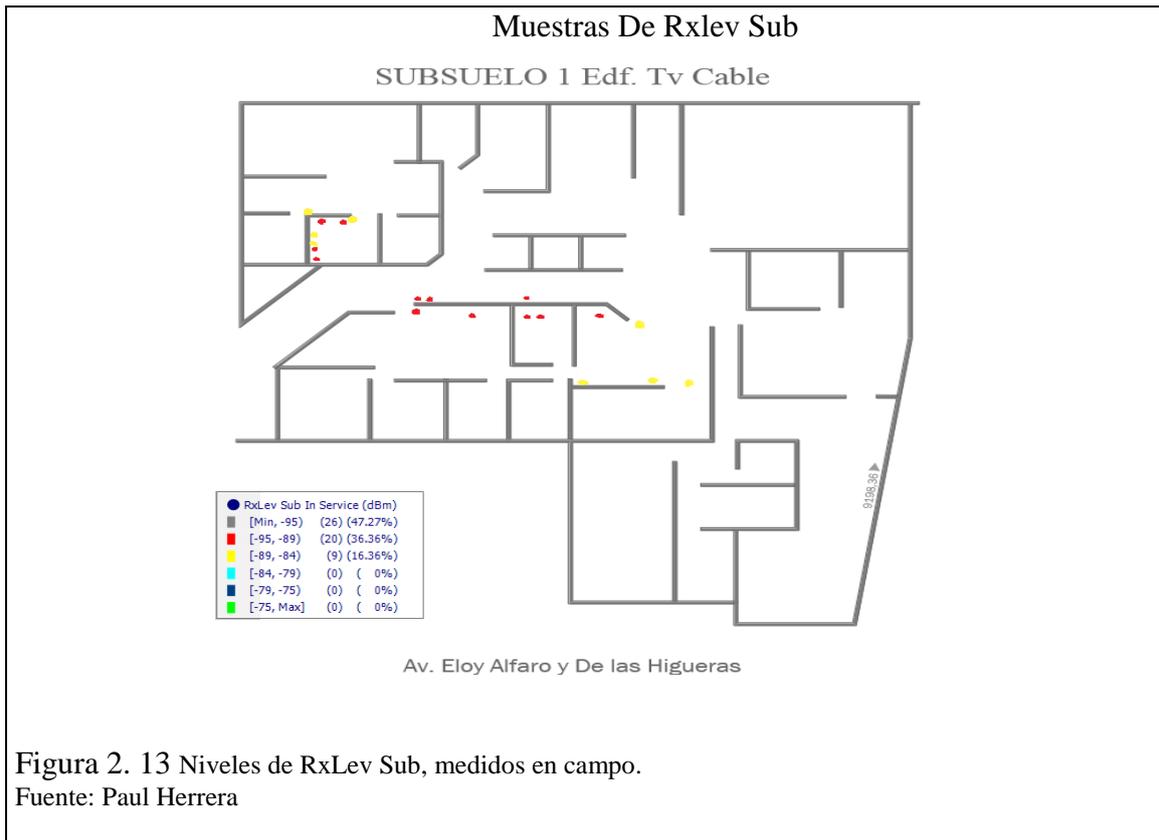


Figura 2. 13 Niveles de RxLev Sub, medidos en campo.
Fuente: Paul Herrera

En la figura 2.14 se muestra la gráfica sobre los niveles de FER medidos por el terminal de pruebas MS2 en la cual se puede observar que no existe muestras, casilla de datos de FER vacía, esto sucede porque el FER indica la calidad percibida por el usuario, al no tener cobertura de Otecel S.A. no se establecieron llamadas y las tramas de voz de los usuarios no se establecieron.

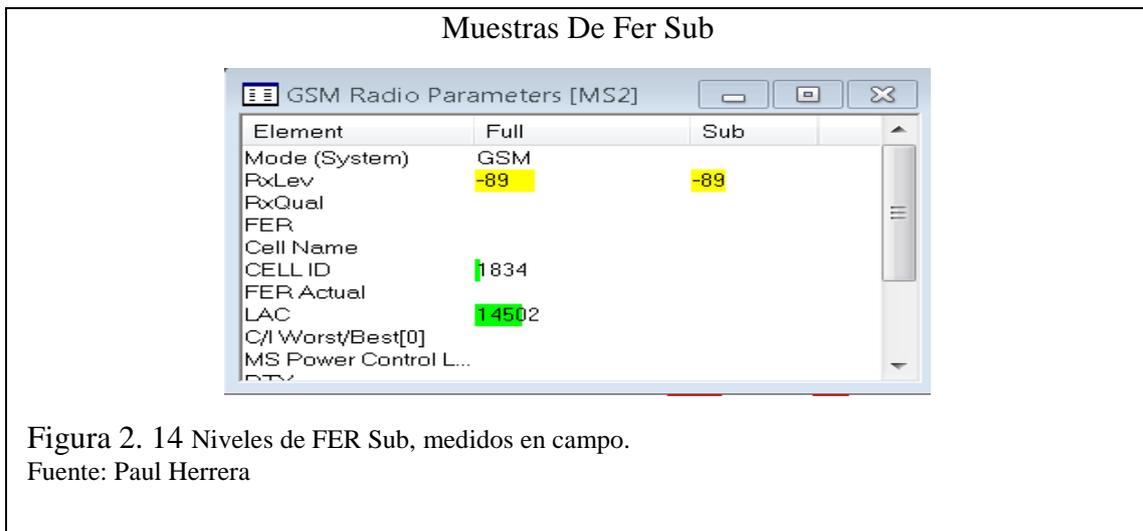
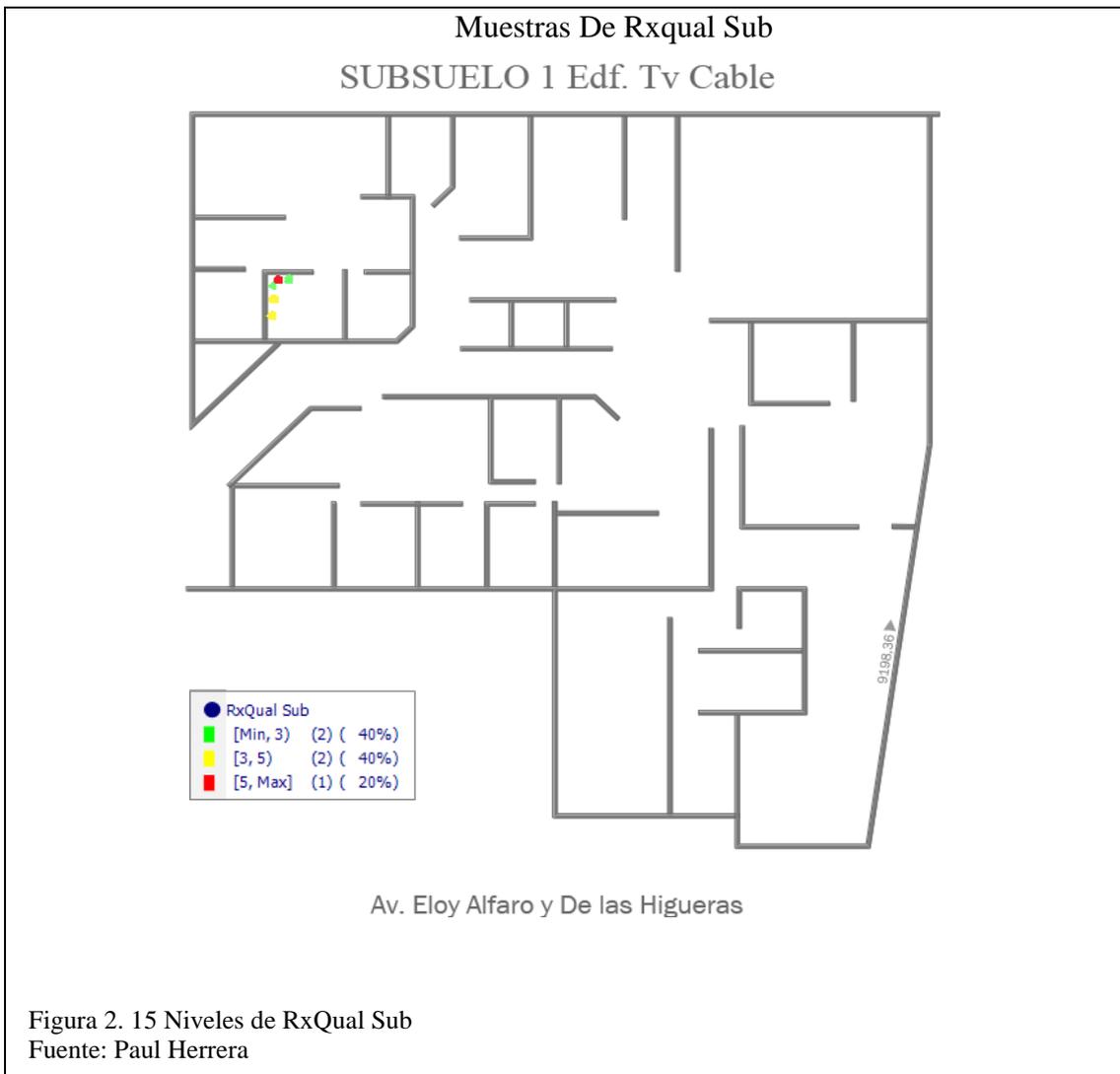


Figura 2. 14 Niveles de FER Sub, medidos en campo.
Fuente: Paul Herrera

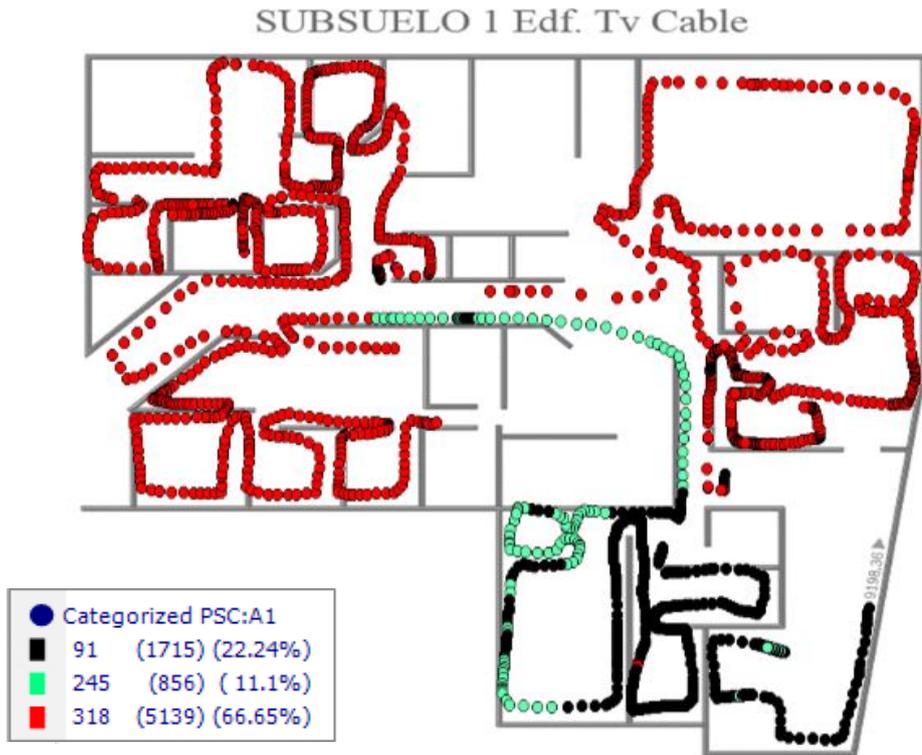
En la figura 2.15 se puede observar que debido a la falta de cobertura, en el área de análisis no se tiene muestras para el RxQual en gran parte del área de análisis, esto debido a que no se establecieron llamadas durante el recorrido, sin embargo se tiene muestras de color verde que indican que se realizó una llamada esto sucede debido a que el terminal de pruebas MS2 logro engancharse a la red y realizar una llamada aunque la misma tuvo un audio degradado.



2.3.4 Para la tecnología WCDMA:

De los datos obtenidos en las pruebas iniciales en el terminal de pruebas MS2, en la figura 2.16 se puede observar que el NodoB con mas presencia en la zona de analisis es la estacion SC 318 UPI_BUGAMBILLAS_1B que tiene el 65% de muestras en la zona de analisis.

Muestras De Sc



Av. Eloy Alfaro y De las Higueras

SC	SERVIDORA
91	UPI_GAMA_TV_UIO_1A
245	UPI_MONTEOLIVO_1C
318	UPI_BUGAMBILLAS_1B

Figura 2. 16 Identificador del sector de la estación NodoB
 Fuente: Paul Herrera

En la figura 2.17 el indicador UARFCN nos muestra el canal (portadora) 4412 de Movistar con la que se está llevando la información, tiene el 100% de muestras en la zona de análisis y es el canal con el cual se establecen las llamadas.

Muestras De UARFCN
SUBSUELO 1 Edf. Tv Cable

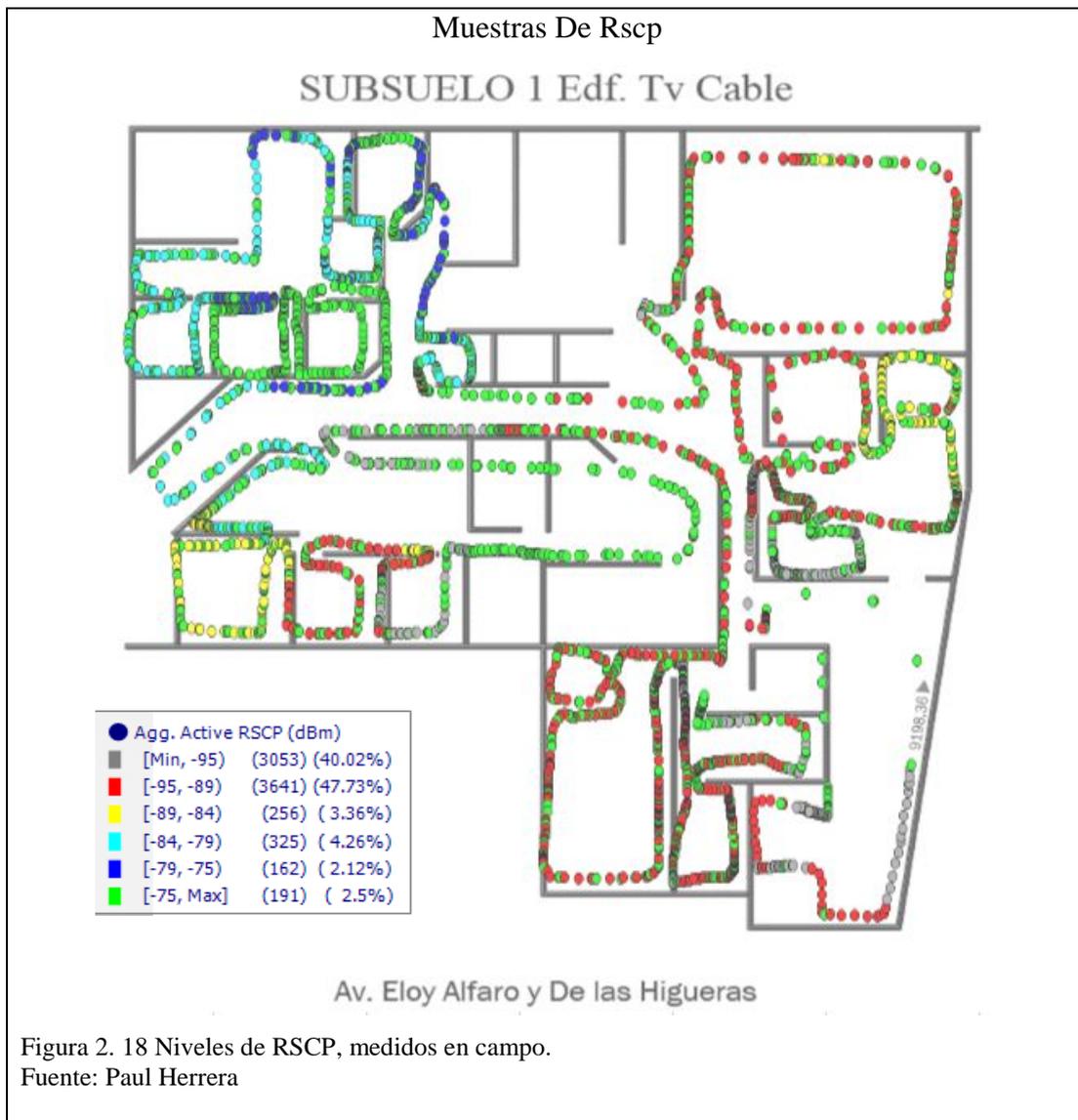


Av. Eloy Alfaro y De las Higueras

UARFCN
4412

Figura 2. 17 Identificador del sector de la estación NodoB
Fuente: Paul Herrera

En la figura 2.18 se muestran los niveles de potencia de la señal recibida en la cual podemos observar que en gran parte de las muestras se tiene niveles de cobertura degradados menores a -95dBm con lo cual no se puede garantizar la continuidad del servicio tanto en voz como en datos.



En la figura 2.19 se muestra los niveles de ECNO obtenidos en el estado inicial de la red de movistar, se puede observar que un 71% aproximadamente se tiene muestras entre -12dB a -9dB, con lo cual se puede percibir que se tiene niveles de ruido elevados.

Muestras De Ecno

SUBSUELO 1 Edf. Tv Cable

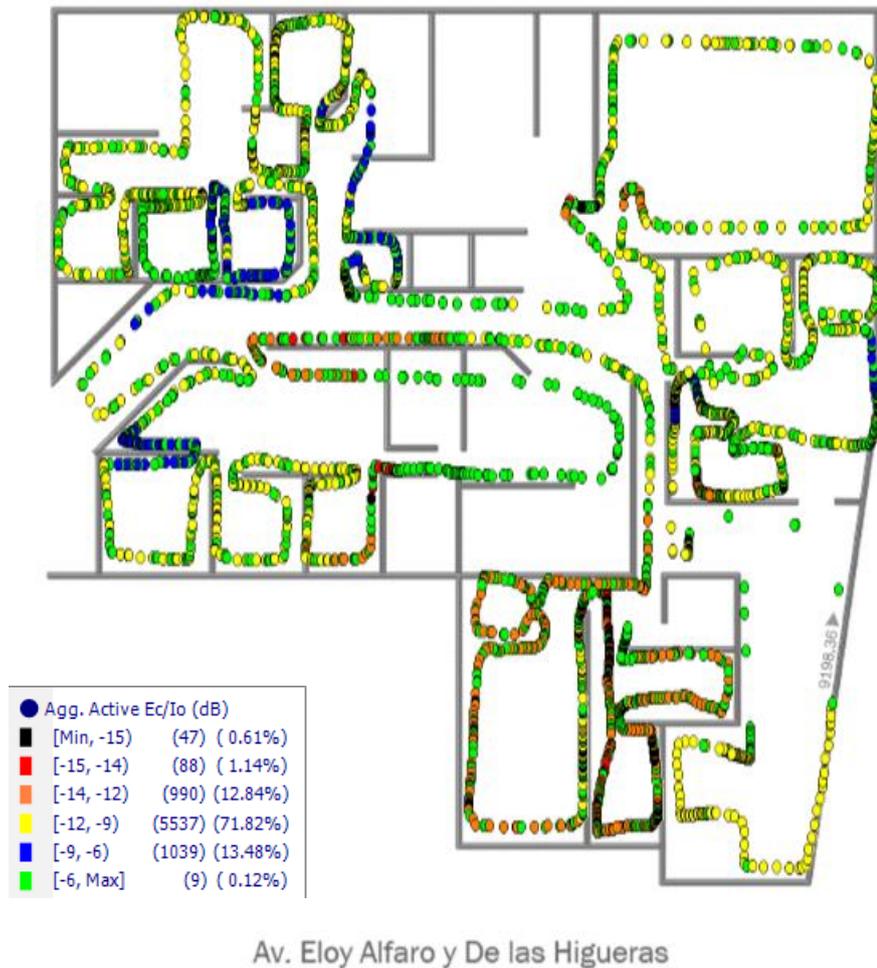


Figura 2. 19 Niveles de ECNO, medidos en campo.

Fuente: Paul Herrera

En la figura 2.20 se muestran los niveles de CQI parámetro que nos indica la calidad del canal además está asociado a la tasa de transferencia de archivos, entre mejor este el cqi en la zona de análisis más alto va a ser el throughput.

Muestras De Cqi

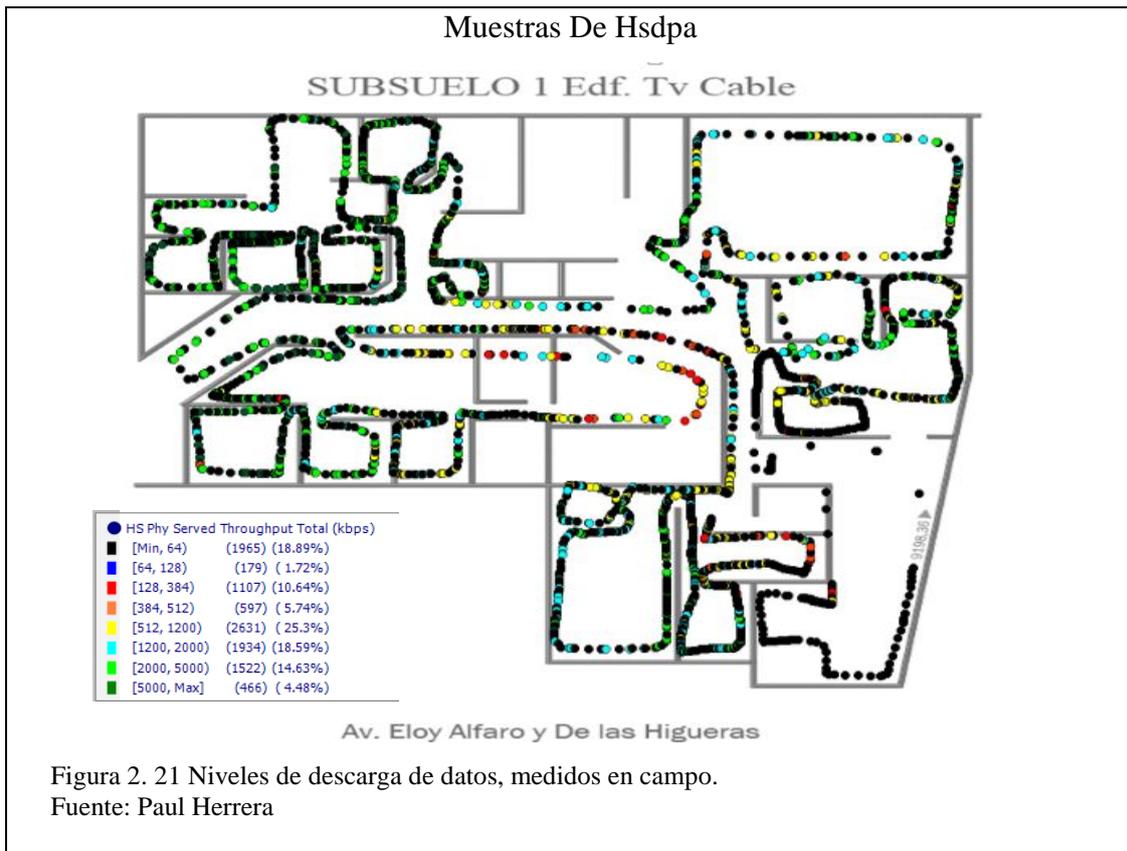
SUBSUELO 1 Edf. Tv Cable



Av. Eloy Alfaro y De las Higueras

Figura 2. 20 Niveles de CQI, medidos en campo.
Fuente: Paul Herrera

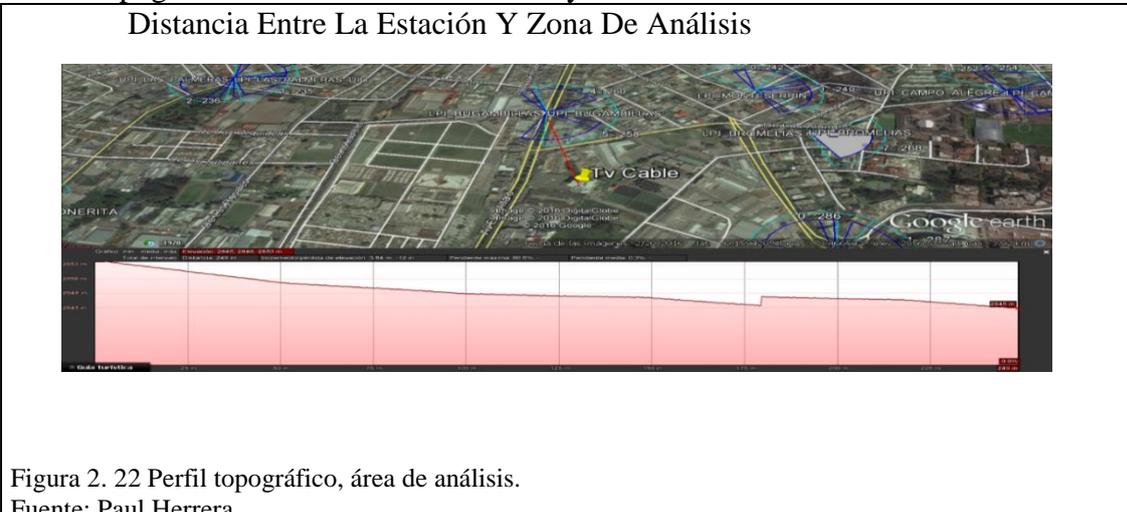
En la figura 2.21 la huella montada sobre el plano corresponde a los niveles de descarga que se obtuvo en las pruebas de estado inicial de la red, en la cual se tiene que el porcentaje con mayor muestras corresponde a tasas de transferencia de datos menores a 64kbps.



2.4 Análisis de los resultados de estado inicial

En este capítulo se detalla mediante la utilización de herramientas de radio network planning que en el área de análisis tiene un problema de cobertura celular del servicio de la operadora Movistar, básicamente se sustenta mediante las herramientas TEMS DISCOVERY, ATOLL y GOOGLE EARTH que se tiene servicio de telefonía celular deficiente en el área de análisis.

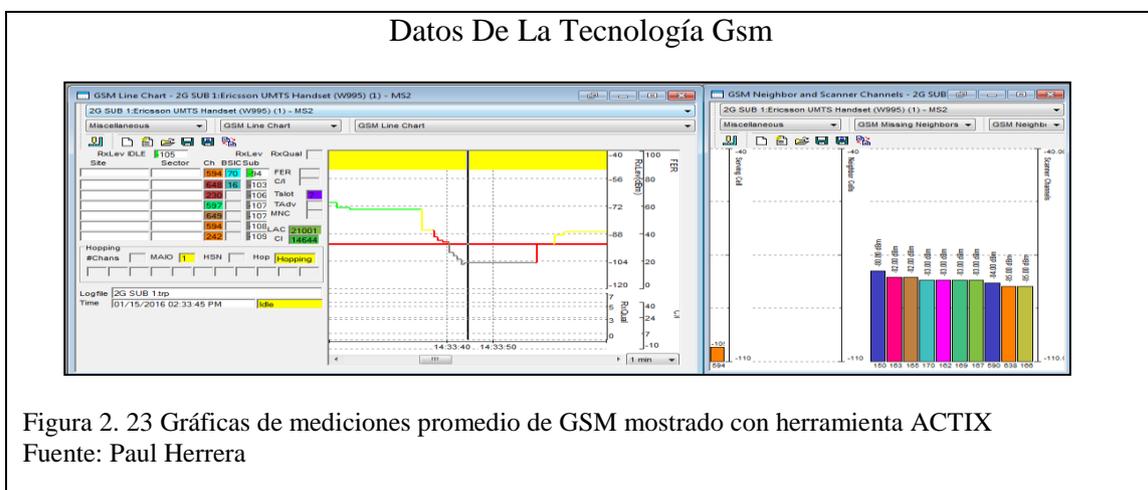
Perfil topográfico entre la zona de análisis y el nodo UPI_BUGAMBILLAS



La zona de análisis se encuentra ubicado en las calles Eloy Alfaro y de las Higueras con coordenadas igual a latitud -0.161418° , longitud -78.466241° . De acuerdo a lo mostrado en la Figura 22, se puede observar que el nodo UPI_BUGAMBILLAS con coordenadas igual a latitud -0.159201° , longitud -78.466701° ubicado a 245 metros, por distancia llega a brindar servicio en la zona de análisis con niveles de radio frecuencia óptimos en el exterior, sin embargo se tiene problemas de servicio celular a nivel de cobertura/penetración ya que la zona critica se ubica en el subsuelo del edificio de Tv Cable.

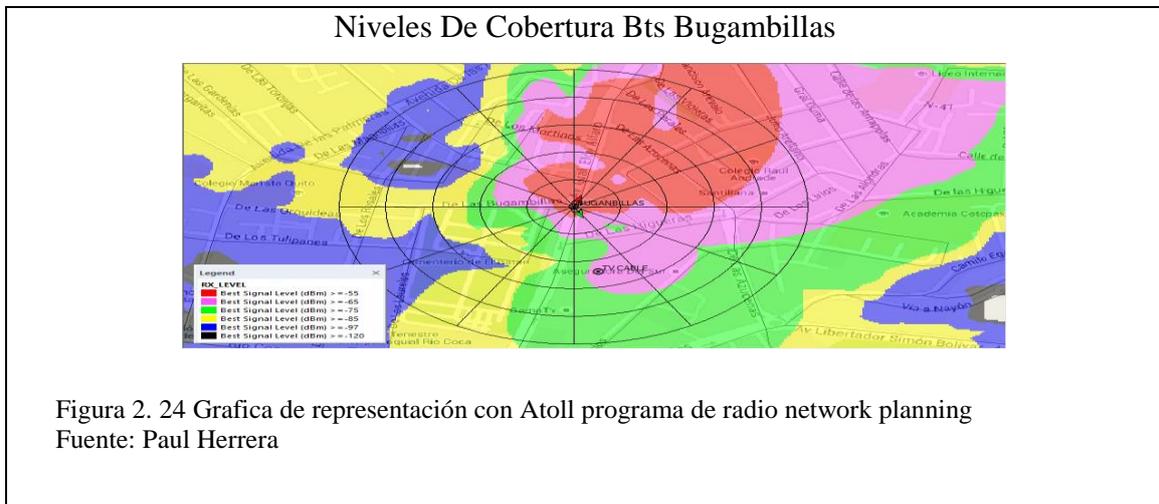
2.4.1 Análisis en GSM

De los resultados de las mediciones se observa que el ambiente de radio frecuencia en la tecnología 2G presenta inconvenientes por problemas de cobertura/penetración y calidad, la mayoría de llamadas se efectúan con la servidora de otra operadora, mientras que se observan que se establecen 17% de las llamadas con la celda GPI_BUGAMBILLAS_4 (CI_14644; BCCH_594 BSIC_70) se observa niveles de Rxlev Sub menores a -95 dBm, niveles con los que no se garantiza calidad y continuidad en el servicio de VOZ en esta tecnología. En la figura 2.23 se muestra el ambiente de radio frecuencia de la celda expuesta.



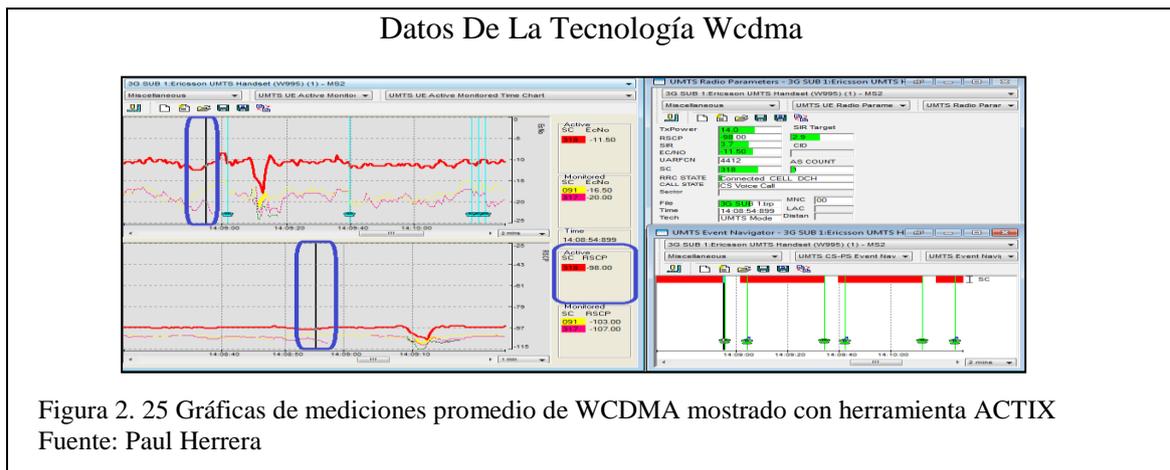
El ambiente de radio frecuencia en la tecnología GSM presenta inconvenientes debido a problemas de cobertura, el terminal de prueba MS2 logra establecer la mayoría de llamadas con la celda de otra operadora. En la figura 2.24 utilizando técnicas de radio network planning se muestra el patrón de radiación de la estación BTS BUGAMBILLAS, en la cual se observa que hasta la zona de análisis se tiene

aproximadamente niveles de RxLev de -65dBm lo cual implica que se tiene presencia de la estación BTS BUGAMBILLAS con buenos niveles en los exteriores del edificio 1 de Tv Cable.



2.4.2 Análisis en WCDMA:

De acuerdo a la información recopilada el día de la evaluación, en modo FORZADA a 3G se observa que los terminales de prueba presentan inconvenientes, debido a problemas de cobertura por cobertura/penetración, el desempeño de la red en general fue irregular. La mayoría de las llamadas se efectúan con la celda UPI_BUGAMBILLAS_1B (4412). En la Figura 2.25 se muestra el ambiente de RF de la celda expuesta.



En la tecnología WCDMA, las llamadas se efectúa con la servidora UPI_BUGAMBILLAS_1B (4412) SC (378) se observa niveles promedio de señal RSCP – 93 dBm, Ec/No promedio -12dB lo que indica problemas de cobertura en las áreas evaluadas, afectando la calidad de la comunicación.

De los datos mostrados en la tabla 2.2 para las dos tecnologías en GSM y WCDMA se puede notar que en cuanto a calidad y cobertura los niveles de señal son por debajo de los mínimos para brindar un servicio de telefonía adecuado para realizar llamadas y establecer una conversación fluida, con respecto a descarga datos los bajos niveles cobertura y calidad se refleja en los pésimos niveles de throughput.

En la tabla 2.3 se indica los intentos de llamadas por el terminal de pruebas MS2 y los eventos asociados a las llamadas.

Tabla 2.3 Eventos del terminal de pruebas 2 (Mobile station MS2)

2G	SERVICORA PRINCIPAL	SC	INTENTOS DE LLAMADA	LLAMADAS ESTABLECIDAS	LLAMADAS BLOQUEADAS	LLAMADAS CAIDAS
	OTRA OPERADORA	1834	8	0	8	0
3G	SERVICORA PRINCIPAL	SC	INTENTOS DE LLAMADA	LLAMADAS ESTABLECIDAS	LLAMADAS BLOQUEADAS	LLAMADAS CAIDAS
	UPI_BUGAMBILLAS_1	318	8	2	4	2

Nota: Se muestra los resultados de las pruebas realizadas.

De la información mostrada en la tabla 2.3 se puede notar que para la tecnología GSM no se establecieron ningún intento de llamadas de acuerdo a las rutinas a realizar se realizaron 8 intentos de llamada los mismos que no se establecieron debido que el terminal MS2 no tiene señal, para la tecnología WCDMA de los 8 intentos de llamada se tienen varios eventos de los cuales se describen 4 intentos de llamadas que son bloqueadas debido a bajos niveles de cobertura y calidad, además se tiene 2 llamadas caídas por bajos niveles de cobertura representada en los parámetros de RSCP -100 dBm y ECNO -16 dB, y 2 llamadas establecidas con percepción de audio degradado se escucha mucho ruido además que la llamadas se entrecorta.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

3.1 Definición de la solución

Con el fin de mejorar el servicio de VOZ y DATOS en la tecnología 2G y 3G para la operadora de Movistar, la solución de optimización a utilizar será una red de radio frecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema DAS (Sistema de antenas distribuidas), debido a que la empresa Movistar provee la solución indoor sin ningún costo para ser implementado en la zona de análisis, además que es una solución de optimización low-cost y factible de implementar en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable ya que no es una área extensa para satisfacer los requerimientos de cobertura y capacidad. Cabe mencionar que los equipos a implementar en la red de radio frecuencia están disponibles en la empresa Cellopti S.A. Es importante mencionar que no se realizarán cambios físicos debido a que se trata de un piso-subsuelo y cualquier cambio que se realice afectaría el resto de pisos del edificio de Tv Cable, provocando molestias en el servicio de telefonía celular, los usuarios de los pisos fuera de la zona de análisis presentarían problemas al realizar llamadas, cargar páginas apropiadamente o enviar mensajes a través de redes sociales.

3.1.1 Soluciones de optimización INDOOR

La telefonía móvil fue diseñada con el fin de permitir a un abonado estar comunicado en cualquier momento, esto a medida que transcurrió el tiempo incremento el número de usuarios de telefonía móvil y paso de ser un servicio de recreación a ser un servicio básico de comunicación, lo que generó que se presente molestias en el interior de hogares y centros de trabajo ya que varios abonados optaron por utilizar en gran medida el servicio celular, además que no se consideró la proyección de la tecnología celular, hoy en día la telefonía celular ha desplazado el uso de la telefonía convencional ya que en muchos casos las personas prefieren el uso de la telefonía celular en sus domicilio u oficinas a la telefonía convencional, para solventar el problema que se genera por penetración de cobertura se han diseñado varias soluciones para mejorar el servicio celular en los interiores sin afectar la cobertura en el exterior. (Senatel, 2014, pág. 7)

3.1.2 Repetidores RF

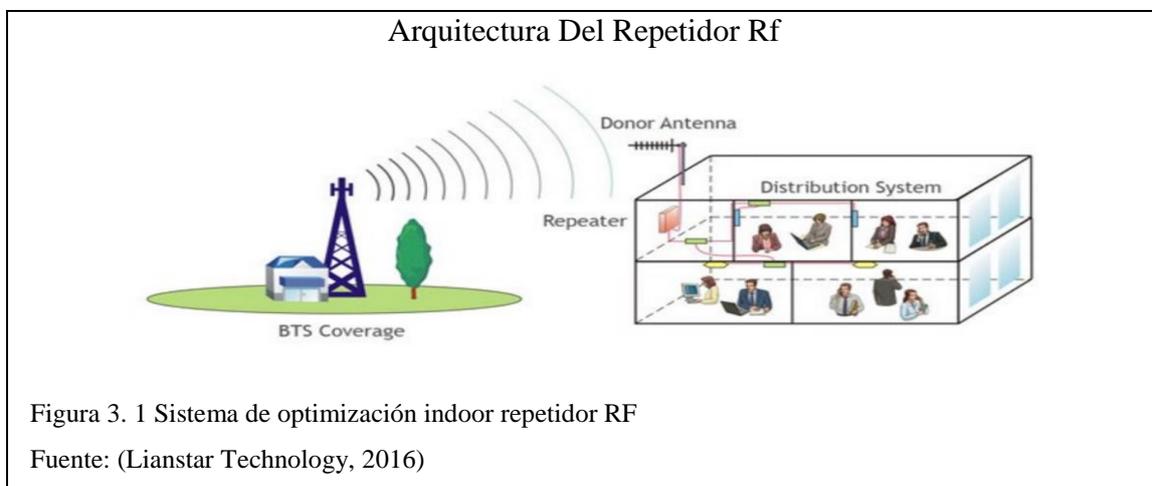
Es un dispositivo transmisor/receptor, transmisor en cuanto a que amplifica la señal de la estación donante al interior mediante el sistema de antenas distribuidas DAS y receptor mediante antena donadora que permite obtener la señal de la estación celular y tener mejor servicio celular, el principio básico de funcionamiento es que se toma la señal de la estación más cercana que presente niveles buenos de cobertura mediante la antena donadora, la señal es llevada al equipo repetidor como tal a través de cable coaxial y la distribuye en el interior en las áreas que presentan problemas mediante el sistema de antenas distribuidas.

DAS (sistema de antenas distribuidas): es un conjunto de antenas que tienen como función principal amplificar la cobertura celular, están separadas y conectadas a un equipo de gestión y control que es el equipo que genera la señal que sirve para dar servicio de telefonía celular dentro de un área determinada, así puede ser repetidor, nodo A o IBS. El sistema de antenas distribuidas DAS garantiza una cobertura homogénea en todo el piso o área a cubrir. (Campodonico, 2009, pág. 65)

Se tiene dos tipos de repetidores de banda y de canal:

Repetidores de banda son aquellos en los cuales se configura las frecuencias de todas las bandas en las cuales se va a amplificar la cobertura celular.

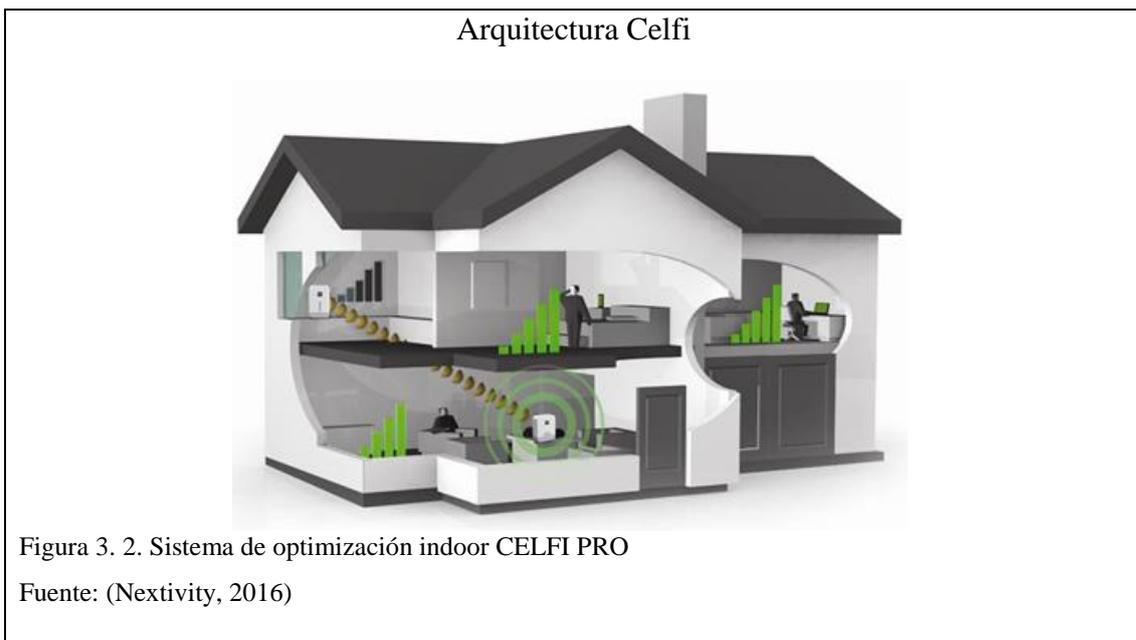
Repetidores de canal son aquellos en los cuales se configura las frecuencias específicas de los canales en los cuales va a operar el repetidor con una frecuencia central y amplificar la cobertura celular. (CORAL, 2016, pág. 45 y 46)



3.1.3 CELFI (Potenciador de señal)

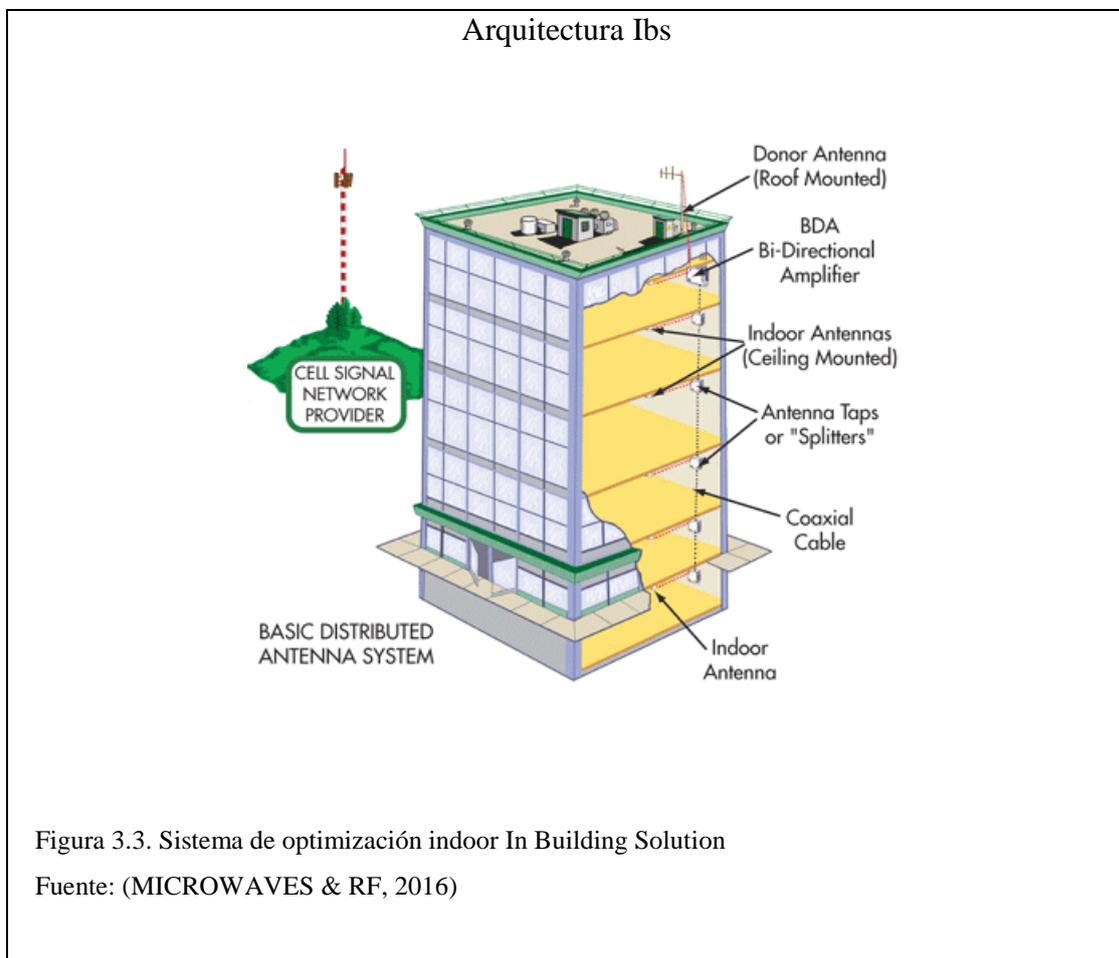
Es un dispositivo de telecomunicaciones el cual permite dar una solución integral de cobertura celular, el cual tiene dos unidades monógamas para su funcionamiento, unidad de ventana o unidad de red y unidad de cobertura. Básicamente es un amplificador de señal en el cual el equipo unidad de red o unidad de ventana toma la señal de la BTS o Nodo B cercano y la envía directamente mediante wireless al otro equipo unidad de cobertura, desde donde se transmite hacia toda la zona de interés. La unidad de cobertura es la que se encarga de brindar el servicio celular en el interior. Las unidades se comunican mediante wireless en la banda de los 5GHz, la dimensión del área de cobertura a la cual se va a brindar servicio depende de la distancia de los equipos que conforman el CELFI, además es tan versátil porque tiene la posibilidad de usar antena donora para poder tomar la señal de la estación más cercana, si los niveles dentro de la establecimiento no son óptimos para brindar servicio. Su deficiencia es que para cubrir varias áreas se necesita varias unidades celfi separadas para evitar interferencia entre las mismas.

Su diseño es amigable con los ambientes del hogar o centro de trabajo gracias su tamaño y que no necesita demasiados elementos para su funcionamiento genera que CELFI se posicione en el mercado como una gran solución de cobertura celular



3.1.4 Nodo A o IBS

Es un sistema in-building solutions que optimiza la cobertura celular en el interior de un edificio o zona de baja cobertura, básicamente se tiene un dispositivo con funciones similares a un Nodo B pero de menor capacidad conocido como Nodo A. El nodo A irradia al interior la información mediante un DAS, la diferencia principal con las soluciones antes mencionadas es que el Nodo A es un elemento activo de la red, este no toma la señal sino que está conectado al sistema GSM o WCDMA a través de la arquitectura propia de la red, otra diferencia importante es que el nodo A o IBS es una solución a gran escala.



En la Tabla 3.1 se muestra el resumen de características de las soluciones de optimización indoor que puede ser aplicable dentro de un sistema de antenas distribuidos.

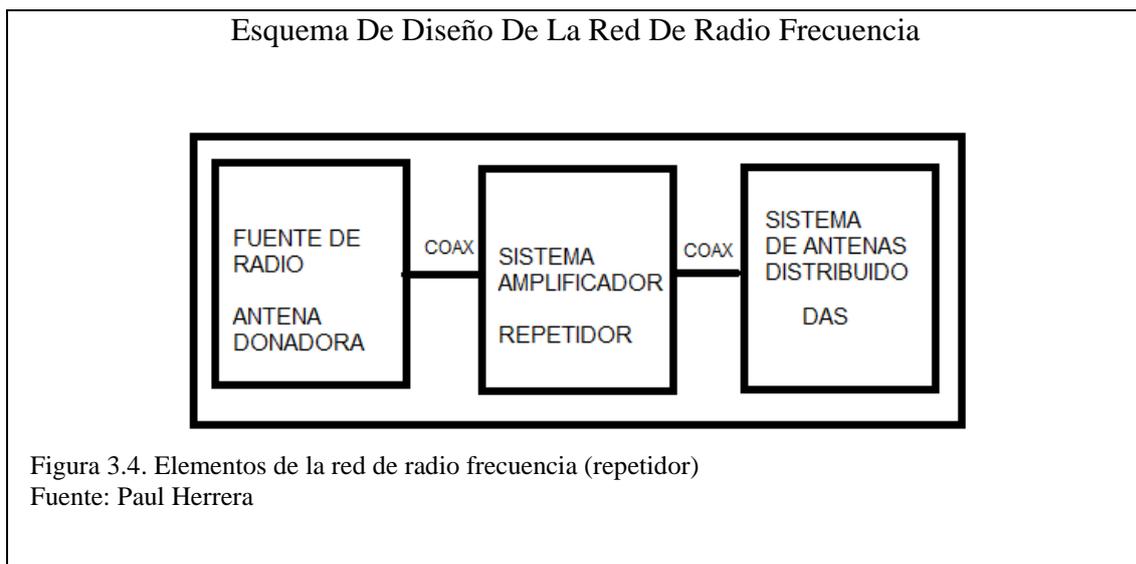
Tabla 3. 1 Comparación entre soluciones de optimización indoor

OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Repetidor RF	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de optimización indoor pasiva no interactúa con la red. • Funciona en bandas separadas, trabaja en 850 MHz o 1900MHz. • Amplifica la señal recibida con una ganancia de 15dB. • Equipo de fácil instalación. • Puede trabajar con niveles mínimos de cobertura (RSCP -95dBm). • Disponible en la empresa Cellopti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita de una antena externa para su funcionamiento. • Capacidad de cobertura limitada al equipo amplificador. • La calidad de la señal depende de los niveles obtenidos en la antena donora.
Celfi Pro	<ul style="list-style-type: none"> • Permite tomar la señal con antena interna en la unidad de red o mediante una antena externa. • Amplifica la señal recibida con una ganancia de 10dB. • No necesita de una instalación adicional a la de sus unidades (solución pug&play). • Funciona en bandas separadas, trabaja en 850 MHz o 1900MHz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de optimización indoor que funciona en pares entre sus equipos (unidades). • Solución de cobertura para pequeñas áreas (max 10m de alcance unidad de cobertura).
IBS (In-Building Solutions)	<ul style="list-style-type: none"> • Es un nodo (NodoB indoor) dentro de la red. • Solución de optimización indoor que interactúa directamente en la red celular. • Solución de cobertura para grandes áreas (mayor 3 pisos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de optimización costosa.

Nota: Descripción de ventajas y desventajas de soluciones de optimización.

3.2 Elección y diseño de la solución

Para la zona de análisis en base a los datos obtenidos y de las gráficas mostradas de análisis se ha determinado que para el diseño de la red de radio frecuencia óptima para potenciar la señal indoor en las tecnologías de GSM y WCDMA, se utilizara como parte de amplificador de cobertura indoor el repetidor radio frecuencia el cual mediante el diseño de antenas distribuidas extendería el servicio celular en la zona de análisis subsuelo 1 del edificio de Tv Cable, además a nivel de red no presenta problemas al tomar la señal de la estación UPI_BUGAMBILLAS_1B debido al análisis de indicadores de desempeño de red a nivel lógico (KPI) que comprobó que la estación está en la capacidad de asumir más usuarios simultáneos sin afectar su desempeño o el desempeño de la red al momento de poner al aire el repetidor RF. La solución escogida repetidor RF logra una cobertura de interiores óptima sin generar consumo extra de potencia en las celdas externas, igualmente es una gran alternativa técnico-económica de bajo costo para su implementación.



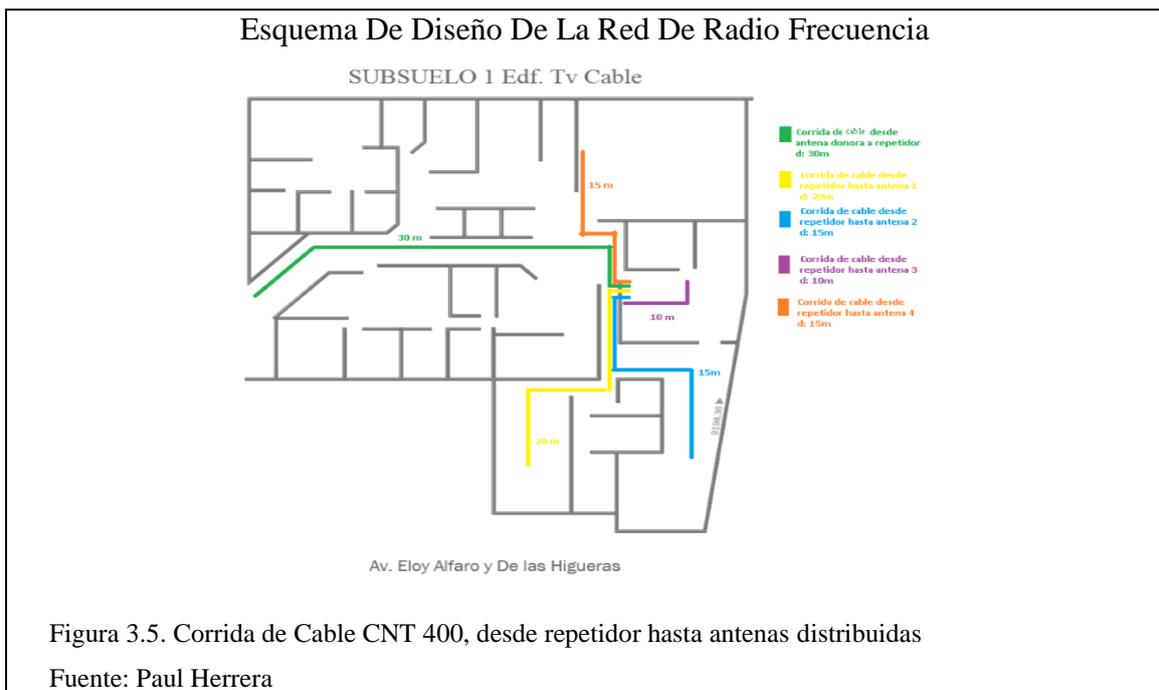
3.3 Diseño de la solución

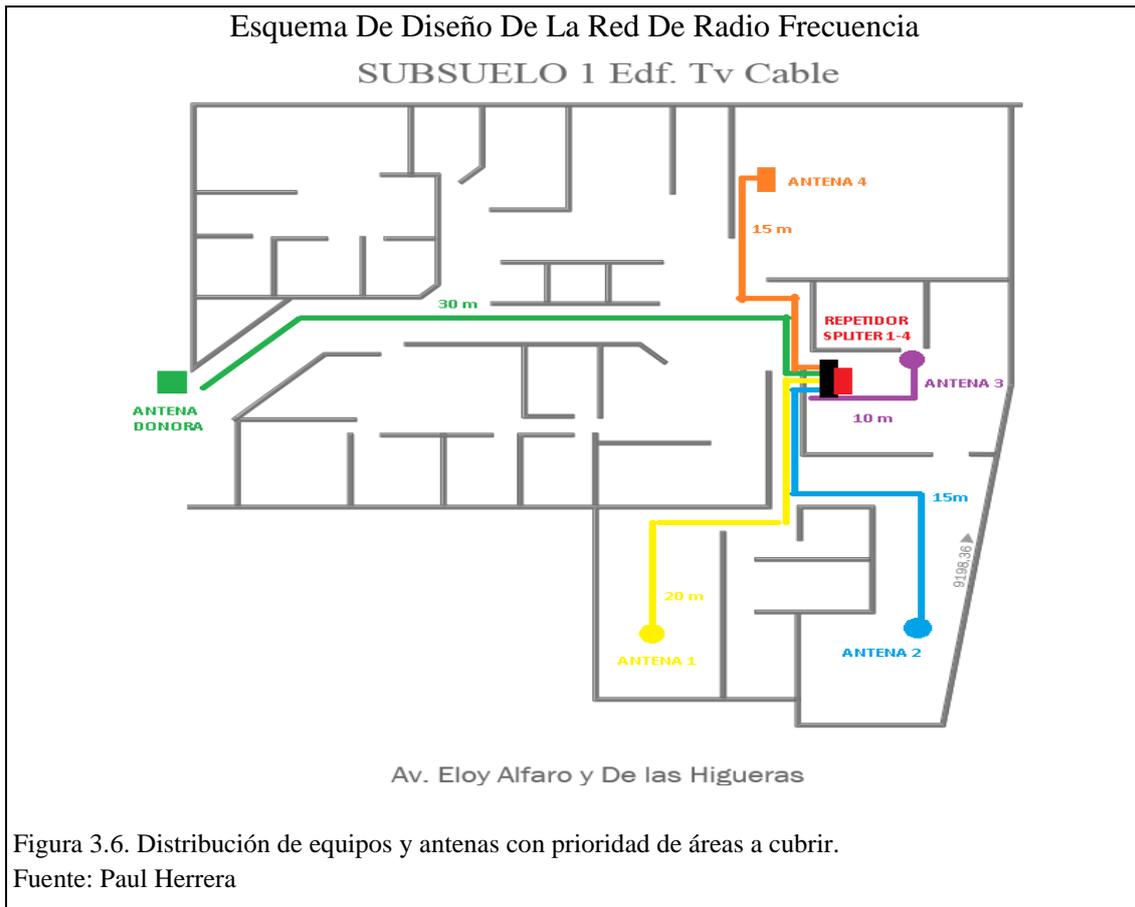
Para el diseño de la red de radio frecuencia se realiza un site survey en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable. La red de radio frecuencia diseñada para el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable se enfoca en satisfacer los requerimientos de cobertura y capacidad, determinados mediante la utilización de herramientas de radio network planning. La capacidad de usuarios simultáneos en cada infraestructura especialmente en los puntos críticos se solventa con la implementación de la red de radio frecuencia con tecnología GSM y UMTS en un sistema distribuido de antenas DAS, el alcance de cobertura se

evalúa mediante el análisis de radiofrecuencia generada por los sistemas radiantes mediante pruebas de walk test en todo el área del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable. Además se realiza un estudio en situ para el reconocimiento de las áreas a cubrir y la cantidad de elementos a utilizar, priorizando las áreas que representen mayor concentración de usuarios.

Para la red de radio frecuencia en las tecnologías GSM y WCDMA se utiliza una antena panel como antena donora la cual toma la señal recibida desde la estación servidora UPI_BUGAMBILLAS_1, y la transmite a través del cable coaxial CNT 400 hasta el elemento amplificador el repetidor MRx18 que en su configuración se especifican las bandas en las cuales va a operar 850MHz y 1900MHz, para complementar la red de radio frecuencia se utiliza un splitter de 1 a 4 para dividir la señal obtenida en la antena donora y distribuirla mediante cable coaxial CNT 400 a las antenas indoor omnidireccionales y panel que conforman el sistema de antenas distribuido para potenciar la cobertura celular en el interior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable.

En la figura 3.5 se muestra una gráfica de los datos aproximados obtenidos in situ de los metros de cable CNT 400 que se utiliza para la distribución de antenas y la corrida de cable hasta el equipo repetidor durante la instalación. En la figura 3.6 se muestra la distribución de los equipos y su ubicación dentro de las oficinas.





3.4 Elementos de la red de radio frecuencia

3.4.1 Sistema de Antenas Distribuido

Es un sistema de antenas posicionadas para potenciar la cobertura celular en interiores o exteriores, en este caso de análisis se utiliza un sistema pasivo de bajo costo y de instalación inmediata. El sistema tiene como objetivo principal amplificar la señal de radio frecuencia de la estación UPI_BUGAMBILLAS sector 2 obtenida en la antena donora ubicada en el exterior de la zona de análisis.

3.4.2 Cable Coaxial

Para el diseño de la red de radio frecuencia se utilizará el cable coaxial CNT 400 que se tiene disponible en la empresa Cellopti S.A., el mismo que se utiliza para distribuir la señal de la estación UPI_BUGAMBILLAS y formar los enlaces entre los elementos del sistema dentro de los interiores del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable.

El cable coaxial 400 tiene como características principales una impedancia característica de 50 Ohm también tiene una atenuación de 10dB en 100m, además se

utiliza para la conexión de la red de radio frecuencia para el cableado horizontal desde el cuarto de monitoreo a cada una de las antenas distribuidas considerando las especificaciones del fabricante COMMSCOPE en los enlaces, que establece que la distancia máxima de un enlace permanente no debe superar los 100m, esta distancia es medida desde la terminación mecánica (splitter) hasta la antenas que conforman el DAS.

(Commscope, 2016)

3.4.3. Splitter

Este componente de la red de radio frecuencia divide la señal que envía el repetidor MRx18 en varias señales de salida en el presente caso se utilizara un splitter 1 a 4 el cual permite distribuir la señal de radio frecuencia proveniente del repetidor a 4 antenas que conforman el sistema das y potenciar la cobertura de Movistar dentro de la zona de análisis.

3.4.4. Antenas

Para el dispositivo de recepción dentro de la red de radio frecuencia se utiliza una antena panel Huawei HADA - 0809/1825 la cual con su lóbulo de radiación (pattern) para la banda de 850MHz tiene un ángulo de 60° en el plano vertical y 90° en el plano horizontal y para la banda de 1900MHz tiene un ángulo de 55° en el plano vertical y 65° en el plano horizontal, que permite recibir la señal de la estación UPI_BUGAMBILLAS y tener una ganancia de 8dBi en la banda de 850MHz y 10dBi en la banda de 1900MHz que extiende la capacidad de cobertura emitida por la estación UPI_BUGAMBILLAS, con lo cual se incrementa la ganancia en potencia de salida en un rango de 15dBm, la señal amplificada por el repetidor será distribuida por el sistema de antenas que constara con 4 antenas de interiores y serán ubicadas de acuerdo a la figura 3.5.

Para el sistema de transmisión de la señal dentro de la red de radio frecuencia se utilizara 3 antenas omnidireccionales COMMSCOPE CELLMAX-O-CPUSE las mismas tienen un lóbulo de radiación de 360° y ganancia para la banda de 850MHz de 2dBi y una antena Huawei HADA - 0809/1825 con una ganancia de 8dBi en la banda de 850MHz y 10dBi en la banda de 1900MHz, que ubicadas de acuerdo al diseño incrementan la cobertura celular de Otecel S.A. en las áreas de mayor concentración de usuarios y donde se tiene un alto flujo de tráfico del servicio celular. (HUAWEI, 2011)

3.4.5. Repetidor

El dispositivo principal de la red de radio frecuencia es el amplificador de señal repetidor 2G/3G MRx18 de marca ANDREW con serie 3441 tiene como características principales la capacidad de amplificar señales en multibanda (multi-carrier) para el caso de amplificar en la banda de 850MHz y en la banda de 1900MHz, además que tiene un diseño amigable y de fácil instalación. El repetidor MRx18 toma la señal de la estación UPI_BUGAMBILLAS recibida en la antena donora y la envía mediante cable coaxial de la antena donora al repetidor que la amplificara con una ganancia de 15dBm y se transmite en el área de análisis utilizando antenas distribuidas en el interior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable. (COMMSCOPE, 2016)

Interfaz de configuración repetidor

El repetidor en su configuración muestra una interfaz amigable con el usuario, al menú de configuración se puede acceder mediante un cable Ethernet directamente conectado al equipo MRx18 y a través de una navegador web se conecta al repetidor mediante una red LAN, configurando la red con la IP de equipo en el rango de 192.168.1.5 - 192.168.1.10 y la IP de gateway 192.168.1.1/24, esta configuración nos permite acceder a la página de operación del equipo. En la figura 3.7 se muestra la interfaz de configuración, en el parámetro PASSBAND DL se configura las frecuencias en las que el equipo Repetidor MRx18 opera para extender la red de radio frecuencia, las frecuencias de funcionamiento son 891.80 MHz a 893.60 MHz y 880.00 MHz a 890.00 correspondientes a OTECEL S.A. El equipo hace la función de filtro pasabanda que permite únicamente amplificar las frecuencias configuradas dentro del umbral del operación.

Interfaz De Configuración


Status
Settings
Maintenance

Radio Frequency
Alarms
Modem Control
Lan Connectivity
User Account

Power

Band	Power
MR8518	<input checked="" type="checkbox"/> Power ON Band MR8518
MR8518	<input checked="" type="checkbox"/> Power ON Band MR8518

General

Band	Passband (MHz)		Gain Setting (dB)		Auto Gain	Maximum Output Power (dBm)	
	DL	UL	DL	UL		DL	UL
MR8518	<small>Range: 869 - 894</small> <input type="text" value="891.80"/> - <input type="text" value="893.60"/>	<small>Range: 824 - 849</small> 846.80 - 848.60	<input type="text" value="64"/>	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="disable"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="14"/>
MR8518	<small>Range: 869 - 894</small> <input type="text" value="880.00"/> - <input type="text" value="890.00"/>	<small>Range: 824 - 849</small> 835.00 - 845.00	<input type="text" value="64"/>	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="disable"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="14"/>

Figura 3.7. GUI DE USUARIO con configuración de frecuencias a operar
 Fuente: Paul Herrera

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo se detalla el proceso que se lleva a cabo para la implementación de la red de radio frecuencia con tecnología GSM y UMTS en un sistema distribuido de antenas DAS, en TVCABLE para mejorar la cobertura.

4.1 Permisos de instalación y operación

Para la implementación de la solución de optimización indoor se considera los requerimientos de instalación que contempla la empresa Tv Cable en sus prácticas de seguridad industrial. El sistema requiere la instalación de una antena donora en la parte exterior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable a 3 metros de altura para la instalación de la antena donora, se debe utilizar equipo de protección personal EPP para el trabajo en alturas además para la ubicación de instalación del repetidor MRx18 serie 3441 que es montado en la pared del cuarto de monitoreo desde el cual se distribuye las antenas de cobertura omnidireccionales y panel hacia las oficinas de mayor uso del servicio celular, de lo mostrado en la figura 33 la disposición de equipos se lo realiza en el interior de las oficinas y no se requiere el uso de implementación adicional. La ventana de trabajo en las instalaciones está definida para los días lunes a viernes en el horario de 14h00 a 19h00.

4.2 Equipos a utilizar

Previamente se determinó que la solución más óptima será el repetidor de RF, en base a lo detallado previamente en la descripción de funcionamiento y arquitectura del repetidor de RF y a los equipos disponibles por la empresa Cellopti se detalla a continuación los elementos que se utilizan para la implementación de la solución.

Tabla 4. 2 Equipos a utilizar

Dispositivo	Marca	Modelo	Serie
REPETIDOR	COMMSCOPE	MRX18	3441
SPLITTER 1-4	COMMSCOPE	VD-S4-CPUSE-H-N	BC21309062017
ANTENA PANEL	HUAWEI	S/S	S/S
ANTENA PANEL	HUAWEI	S/S	S/S
ANTENA OMNI	COMMSCOPE		
ANTENA OMNI	COMMSCOPE		
ANTENA OMNI	COMMSCOPE		

Nota: Descripción de equipos de RF para implementación

Tabla 4. 3 Imágenes de equipos para la implementación.

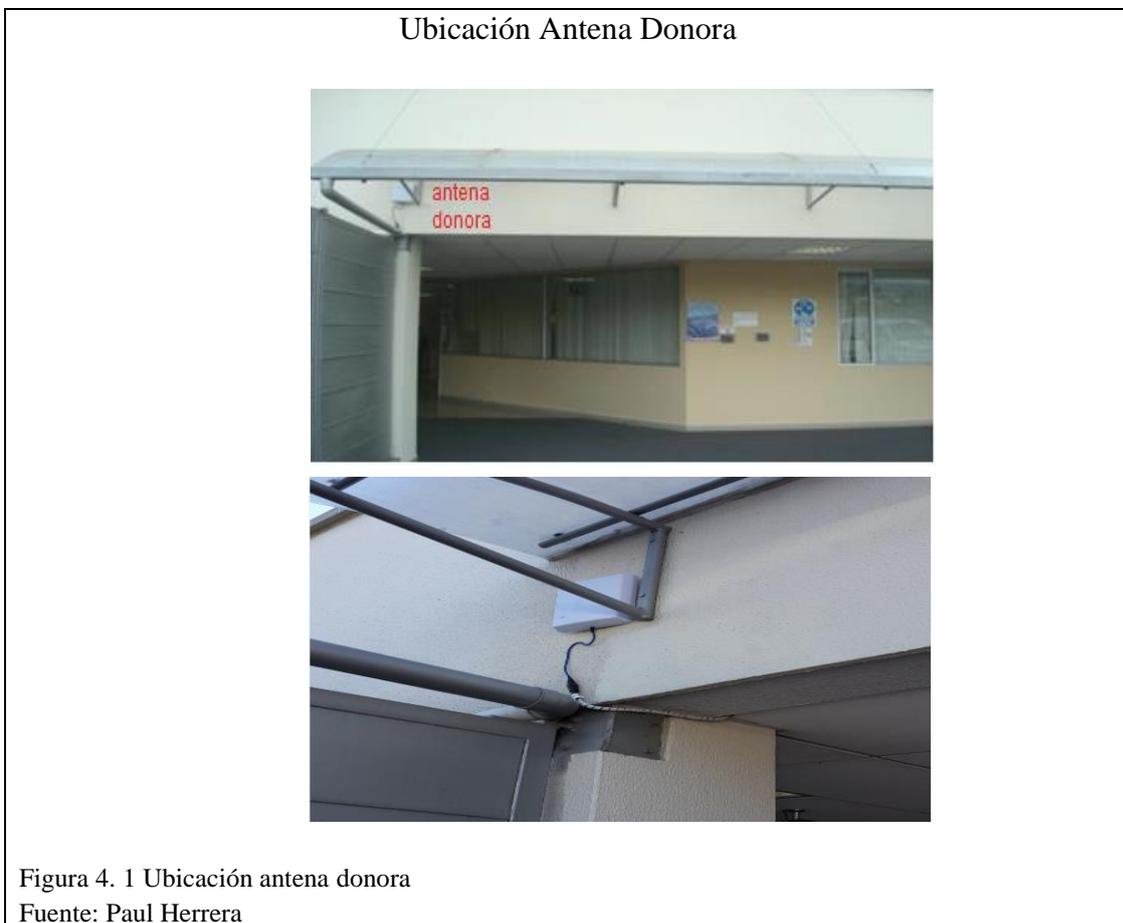
DISPOSITIVO	Imagen
REPETIDOR	
SPLITTER 1-4	
ANTENA PANEL	
ANTENA OMNI	
CABLE CNT400	

4.3 Descripción técnica de equipos

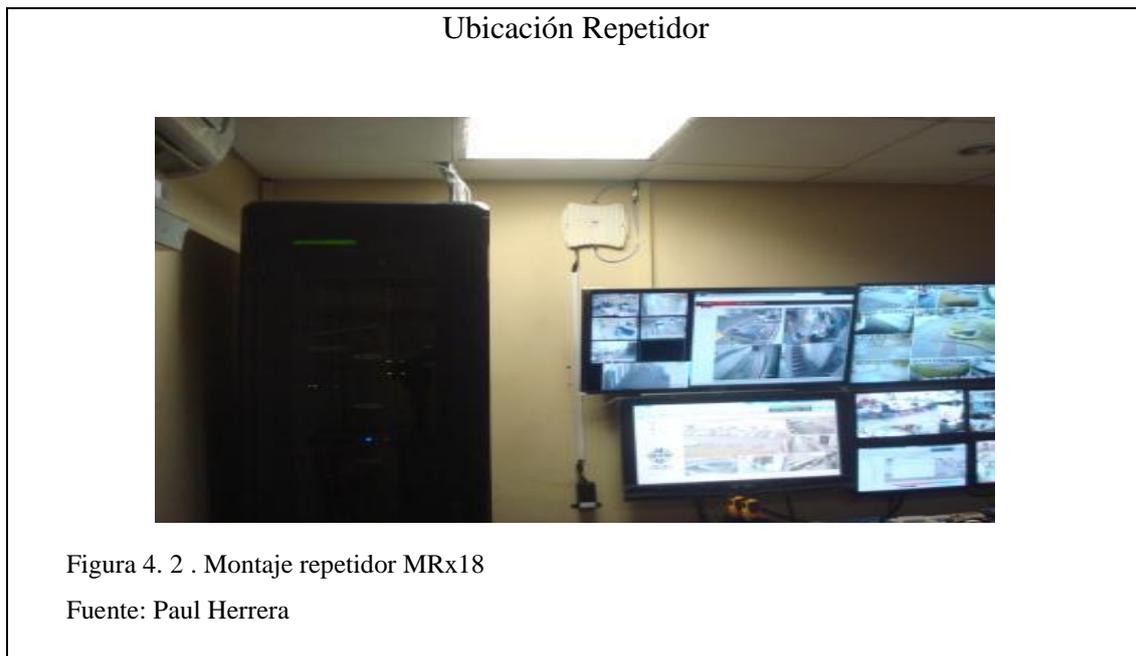
Para conocer las especificaciones técnicas de los equipos a utilizar se acudió a los datos del fabricante el cual muestra todas las especificaciones necesarias para la implementación, los datos serán mostrados como anexos al presente trabajo.

4.3.1 Ubicación antena donora

De acuerdo al análisis in situ realizado en el site survey y de las predicciones realizadas en la simulación se ha determinado que la ubicación de antena donora es el exterior frontal del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable en el cual se obtuvo niveles de radio frecuencia en WCDMA (3G) de RSCP -70 dBm A -80 dBm y ECNO -8 dB a -12 dB, para el caso de GSM (2G) se obtuvo niveles de radio frecuencia de RxLev Sub -70 dBm a -75dBm y RxQual de 0 a 3, en el terminal de pruebas MS2 con lo cual se puede garantizar continuidad y calidad en el servicio tanto como en voz y datos, tomando los niveles obtenidos para amplificarlos y repetirlos con una ganancia de 15dB en el interior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable. El lóbulo de radiación de la antena panel utilizada es de 60° especificados en los datos del fabricante.



La ubicación del equipo amplificador de cobertura (repetidor) se ha descrito en la figura 4.2, se ha instalado sobre la pared en el cuarto de monitoreo ubicación estratégica en la cual se puede distribuir la antenas de cobertura indoor, y el cableado de los equipos se lo ha realizado sobre el techo falso evitando cables vistos. Los niveles percibidos de RSSI por el repetidor son -47dBm con lo cual se puede tener una ganancia de 15dB a la salida, la potencia de salida del repetidor es de 20.8dBm .



4.3.2 Ubicación das (sistema de antenas distribuido)

Para la implementación del DAS se lo realizo de acuerdo al diseño y simulación con lo cual se espera cubrir áreas que antes se encontraban afectadas por un mal servicio de telefonía Movistar, el sistema DAS está conformado por antenas OMNI que tienen su lóbulo de radiación de 180° y tienen un rango de cobertura de 15m con una ganancia de 15dBm , además lo conforma una antena panel con su lóbulo de radiación de 60° y con su rango de cobertura de 15m mas directivo motivo por el cual se consideró que cubra el área de capacitación de un área más extensa 20 m^2 .

Ubicación Sistema De Antenas Distribuido

Ubicación Antena Omni 1 (NOC)



Ubicación Antena Omni 2 (AIC)



Ubicación Antena Omni 3 (SEGURIDAD)



Ubicación Antena Omni 4 (AREA DE CAPACITACIÓN Y CALL CENTER)



Figura 4. 3 Sistema de antenas distribuido, instalado en oficinas.
Fuente: Paul Herrera

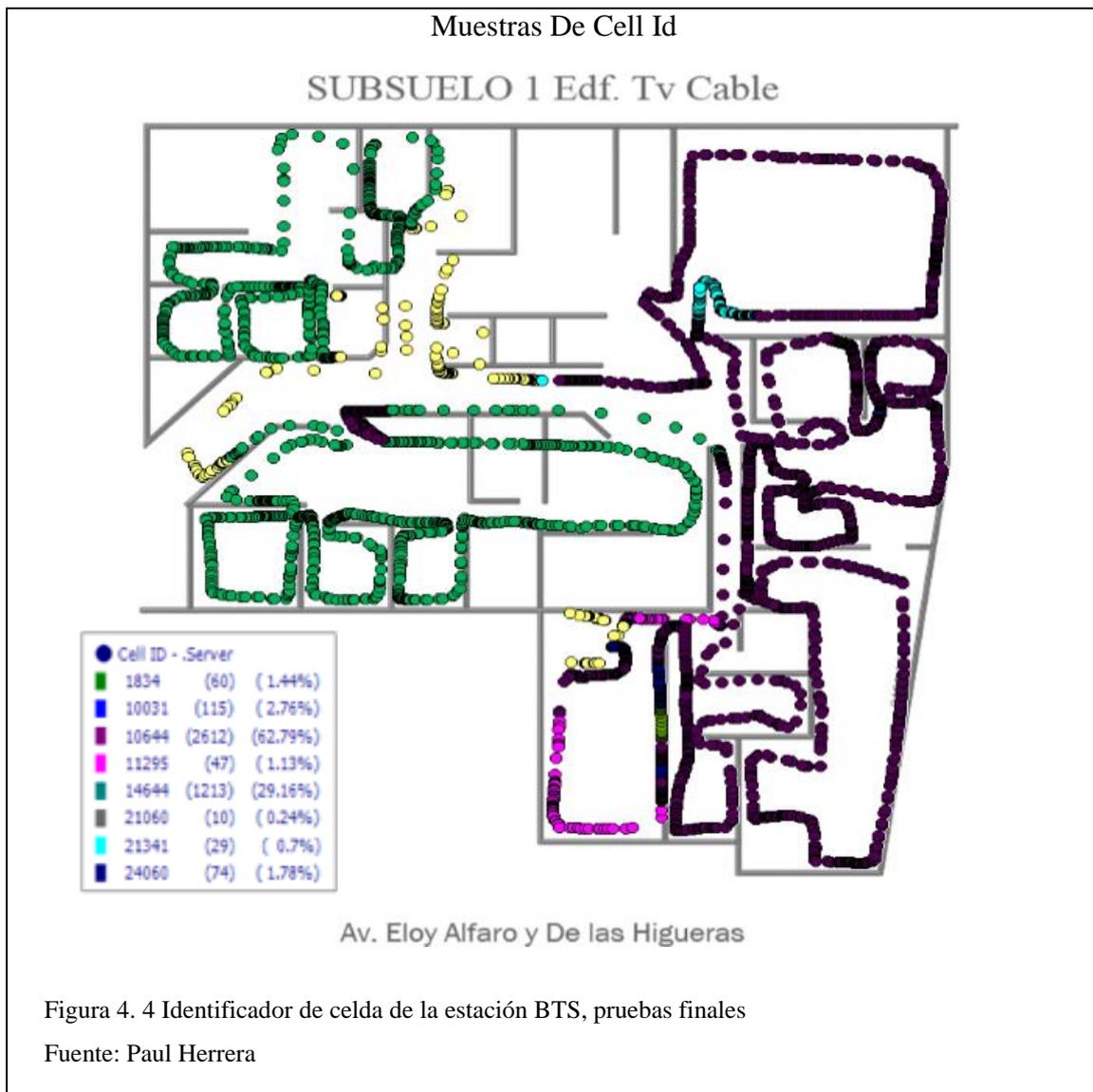
4.4 Verificación de funcionamiento

Para comprobar que la red de radio frecuencia implementada cumpla con su finalidad de potenciar la cobertura, capacidad y calidad de la red celular de la empresa OTECEL S.A. se realiza las pruebas descritas en el capítulo 2.2, para el estado inicial de la red.

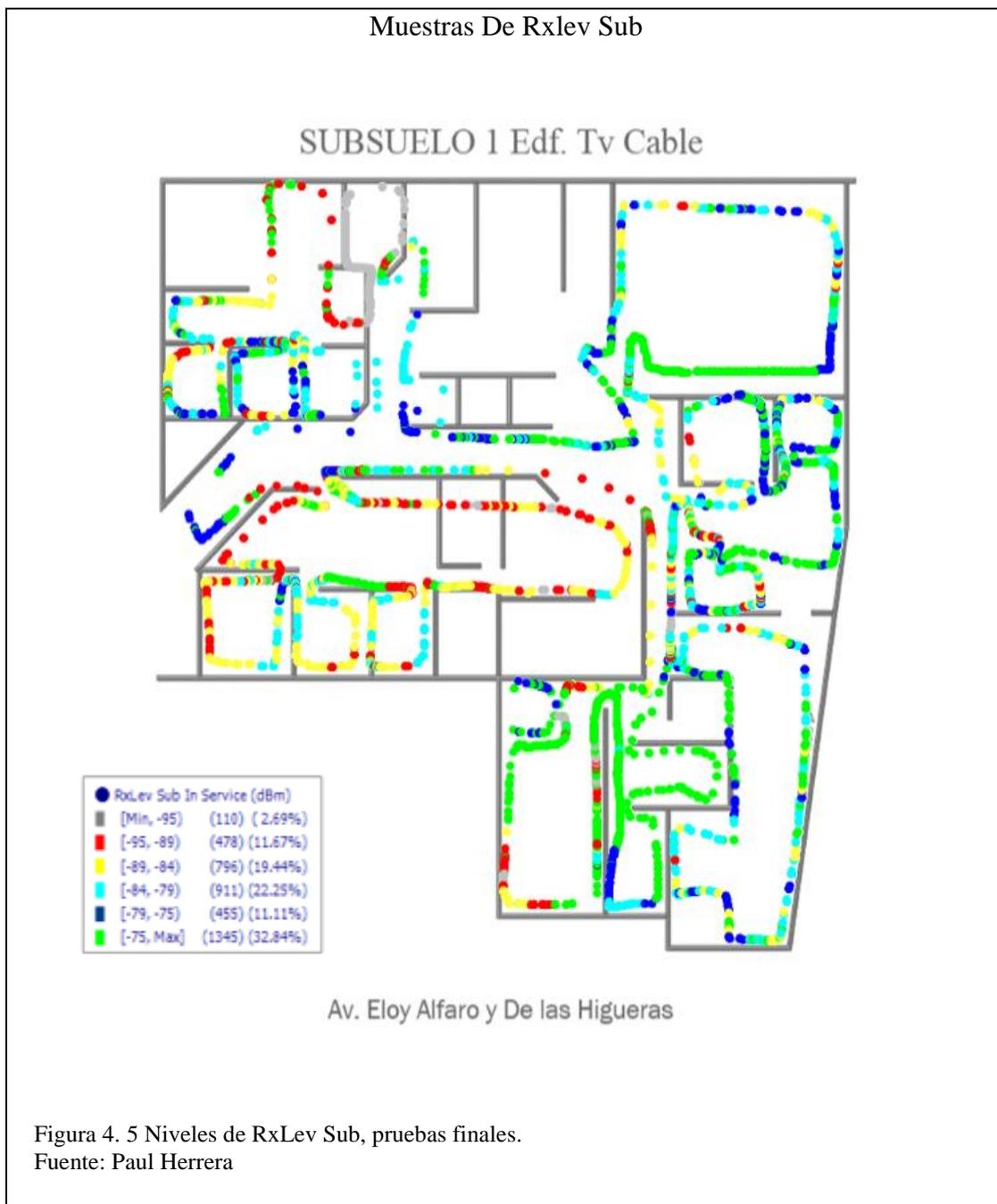
Para lo cual se tiene los siguientes resultados:

4.4.1 Para la tecnología GSM

Posterior a la implementación de la red de radio frecuencia se realizó pruebas de walk test de las cuales se tiene como resultado, para el identificador de celda en GSM, que el 63% de muestras obtenidas se conectó a la servidora GPI_BUGAMBILLAS_0, que corresponde a la estación tomada como servidora en la antena donora, lo cual establece que la red de radio frecuencia potencia el servicio celular en el área de análisis.



En la figura 4.5 se observa que la cobertura en GSM incide con buenos niveles para el parámetro RxLev, se tiene el 32% de muestras de la intensidad de señal que corresponde a -75 dBm, lo cual garantiza el servicio en el área de análisis, además se nota que en las áreas que se implementó la red de radio frecuencia se tiene óptimos niveles de radio frecuencia.



En la figura 4.6 se observa los niveles de FER, parámetro que indica la tasa de error por tramas, se tiene el 99% de muestras con un valor inferior a 1, que determina que se tiene una buena calidad de conexión en la zona de análisis.

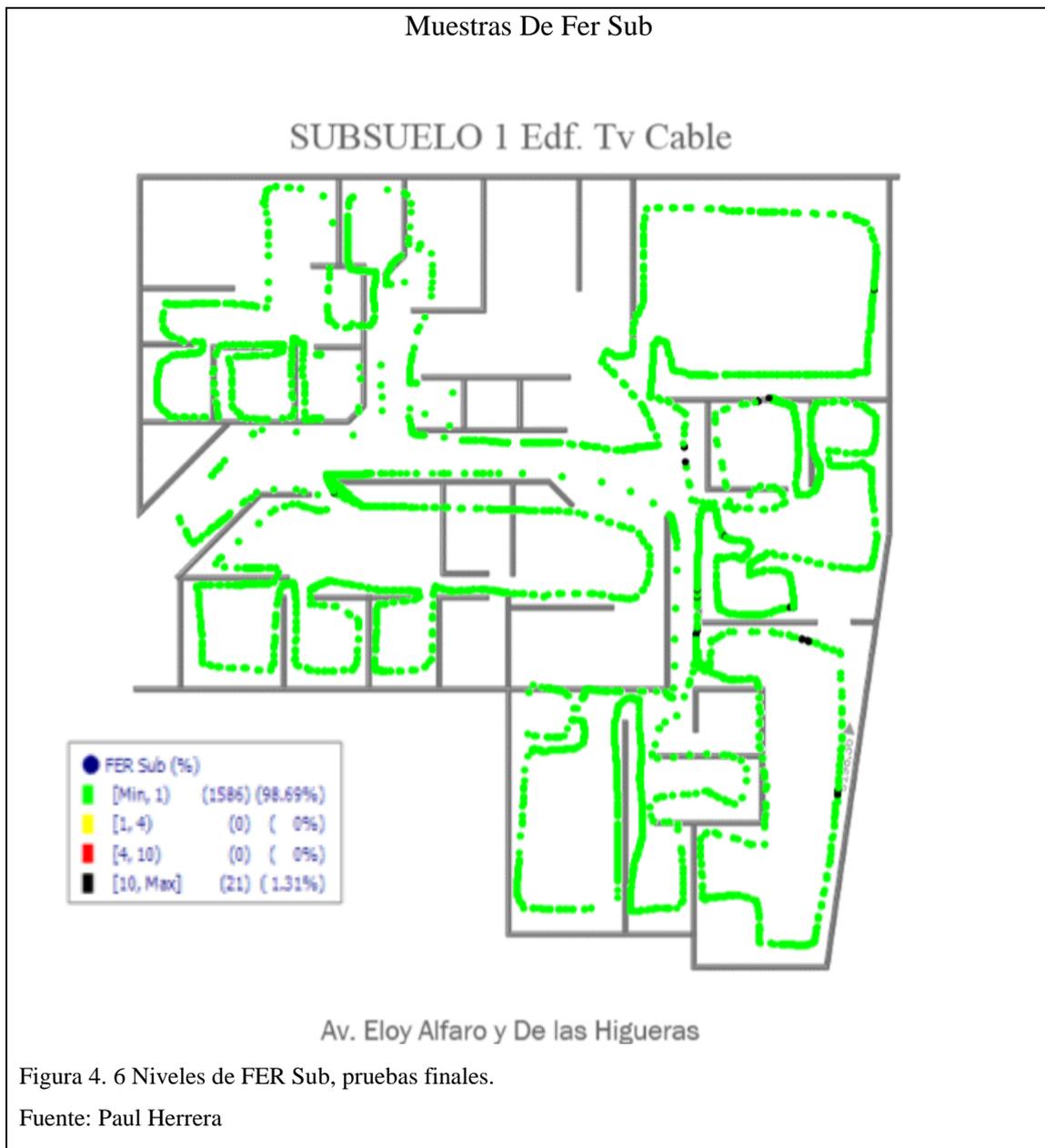
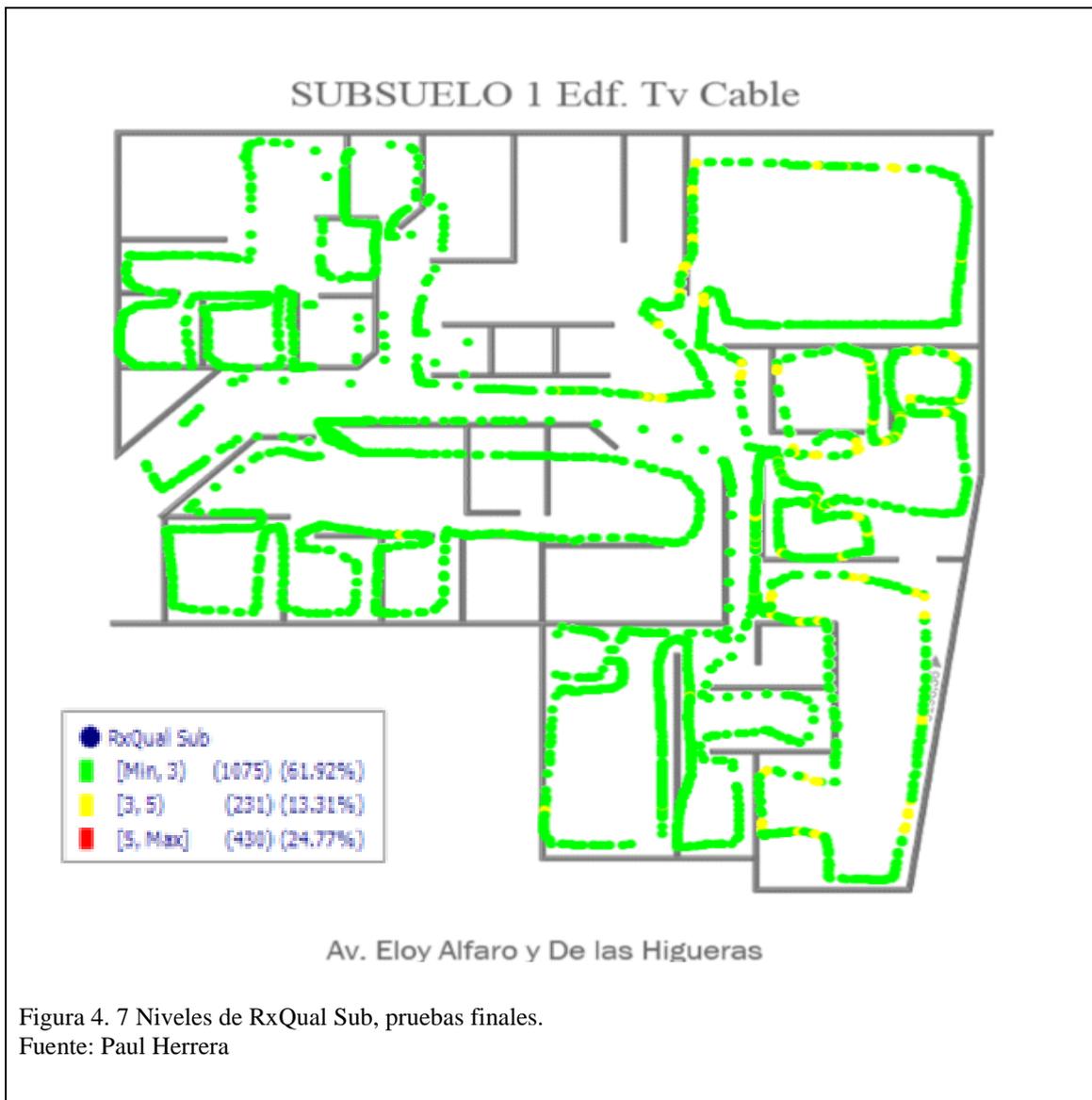


Figura 4. 6 Niveles de FER Sub, pruebas finales.

Fuente: Paul Herrera

En la figura 4.7 se muestran los datos obtenidos posterior a la implementación de la red de radio frecuencia, para el parámetro RxQual sub se tiene muestras del 62% correspondientes a valores de 3 dB o inferiores, lo cual nos indica que la calidad de recepción en downlink para la zona de análisis es óptimo y garantiza la calidad del servicio celular.

MUESTRAS DE Rxqual Sub



4.4.2 Para la tecnología WCDMA:

Para la tecnología WCDMA posterior a la implementación de la red de radio frecuencia con un sistema de antenas distribuidas, se obtuvo como servidora principal la estación UPI_BUGAMBILLAS_1B (4412) / UPI_BUGAMBILLAS_2B (4436), con la que se obtuvieron el 98% de muestras, lo que comprueba que se tiene como servidora principal la estación tomada en la antena donora.

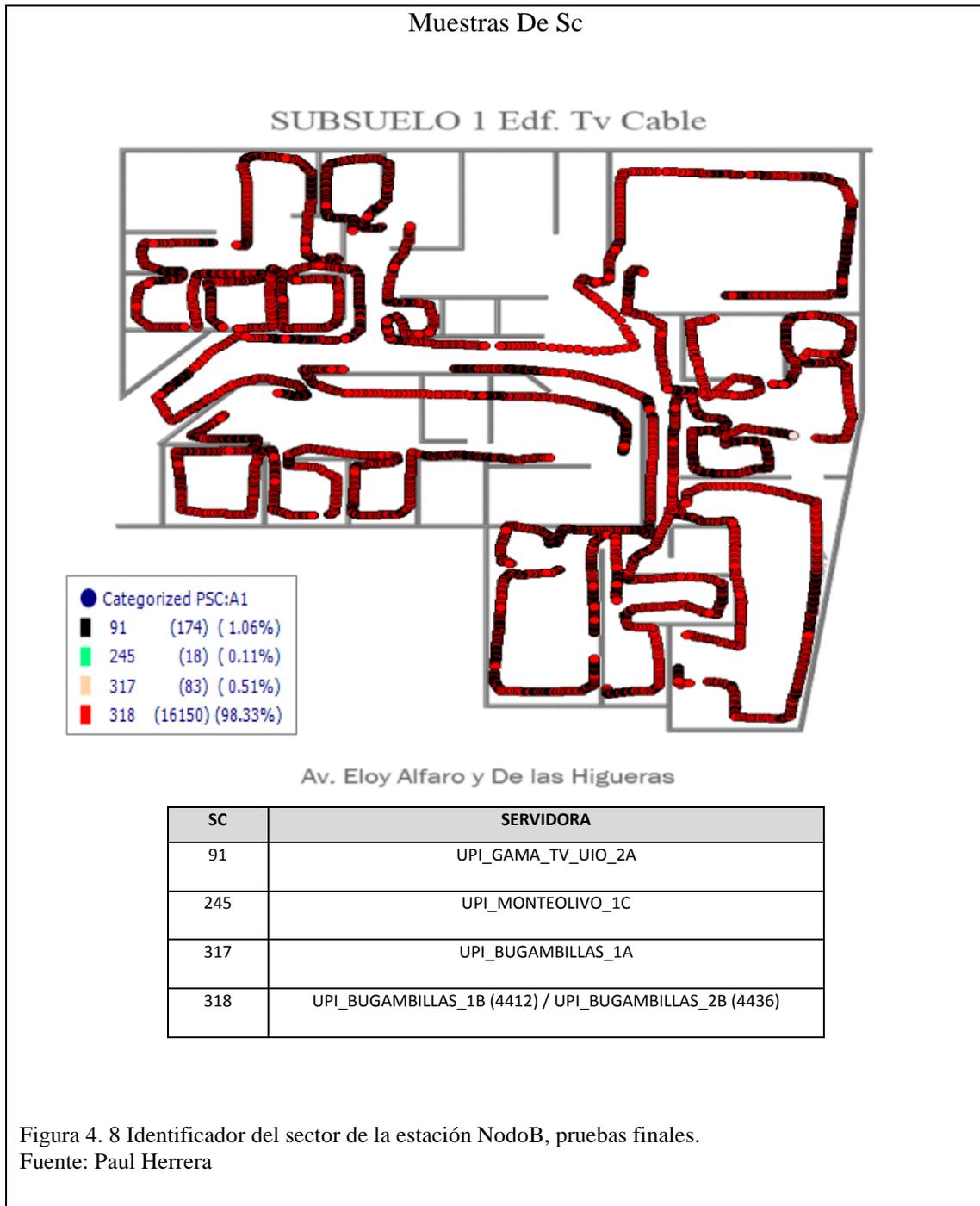


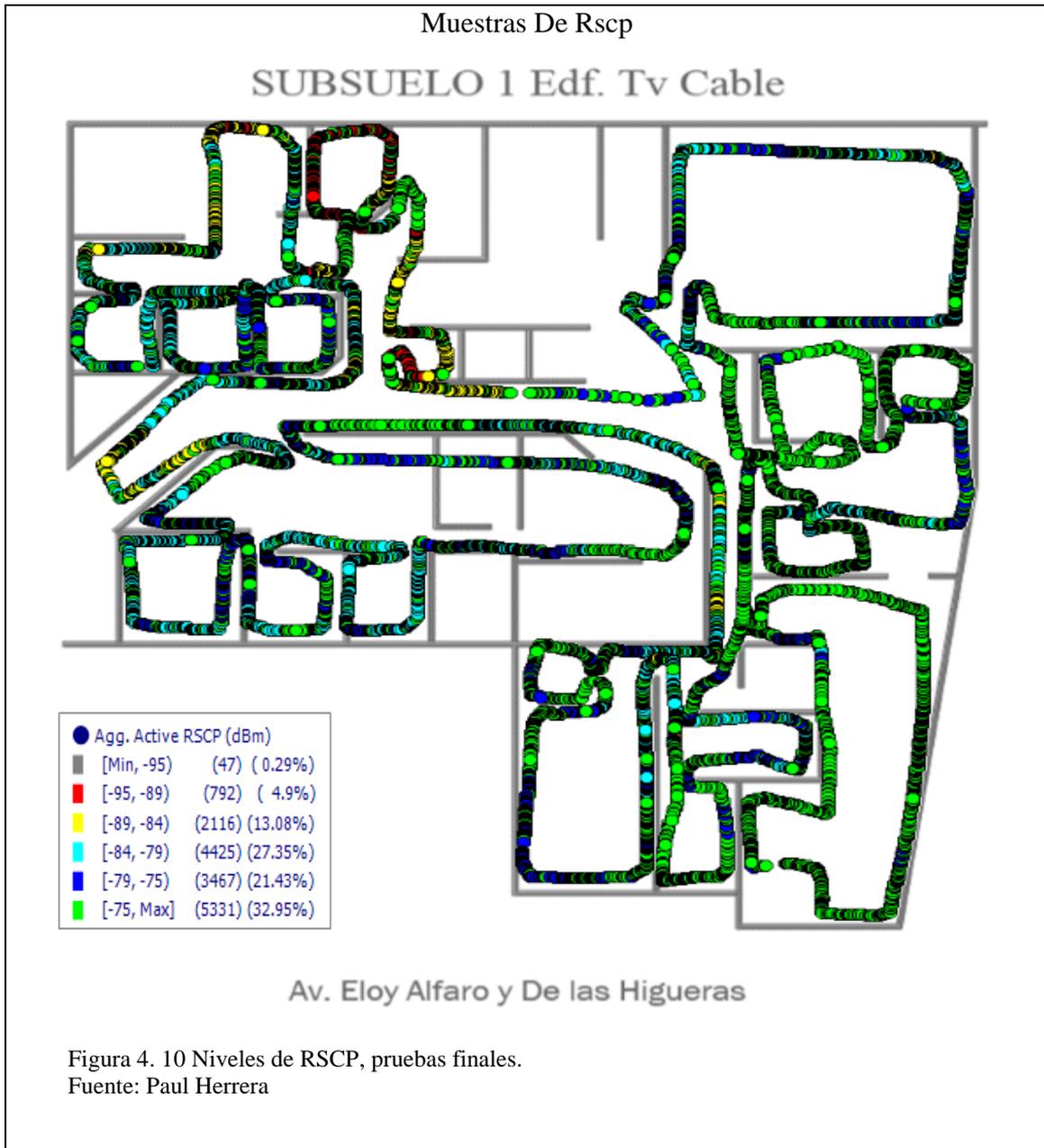
Figura 4. 8 Identificador del sector de la estación NodoB, pruebas finales.
Fuente: Paul Herrera

En la figura 4.9 se muestra los datos obtenidos de la portadora 4412 con la cual el terminal de pruebas MS2 se conectó para realizar las llamadas, se tiene un porcentaje de muestras de 87% con lo cual se determina que el canal 4412 incide sobre la zona de análisis para llevar información.

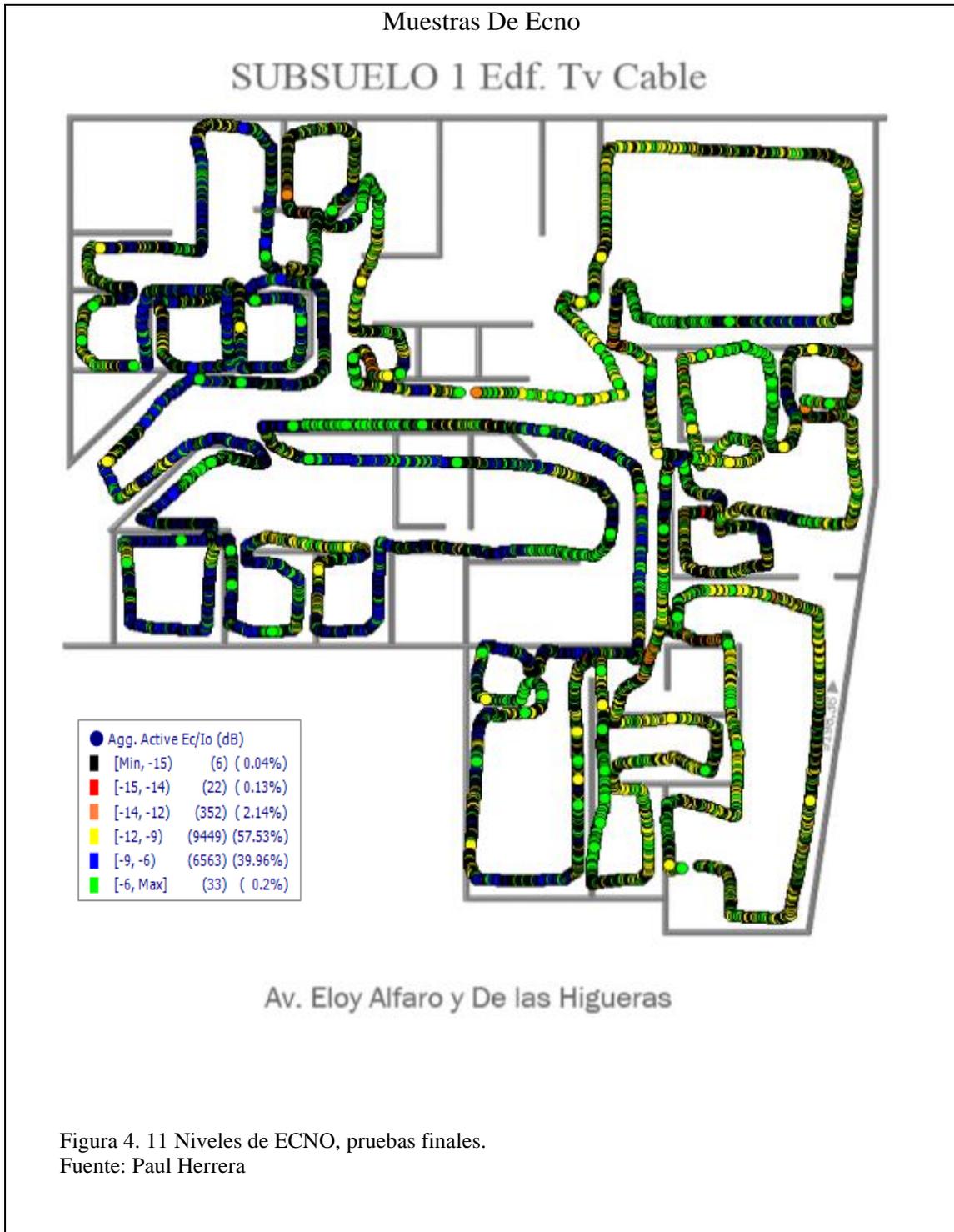


Figura 4. 9 Identificador de portadora, pruebas finales.
Fuente: Paul Herrera

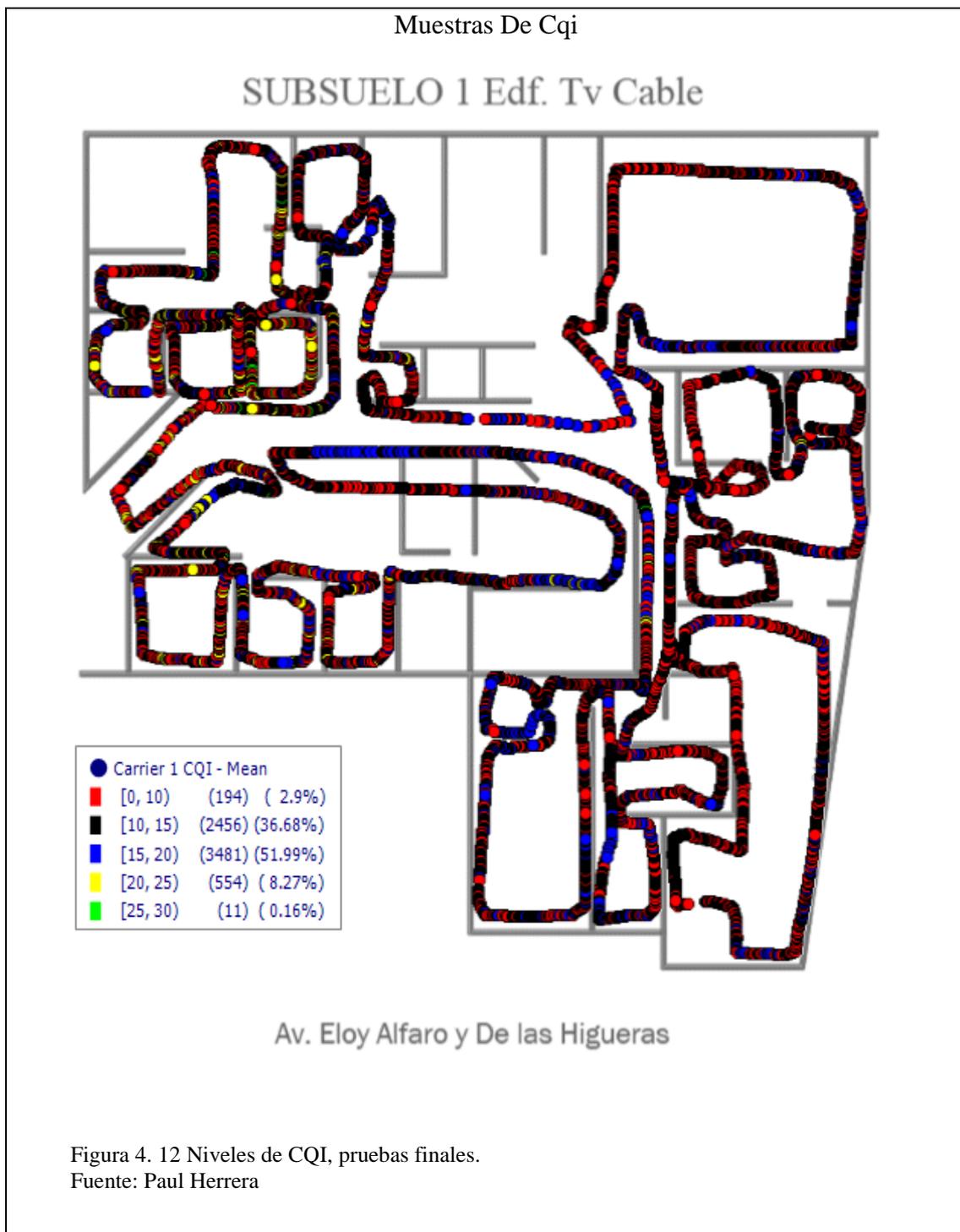
En la figura 4.10 se muestra los datos obtenidos para el parámetro RSCP, posterior a la implementación de la red de radio frecuencia se tiene un 33% de muestras mayores a -75dBm, con lo cual se determina que la solución implementada aumento el nivel de potencia del canal CPICH para la zona de análisis extendiendo la cobertura celular.



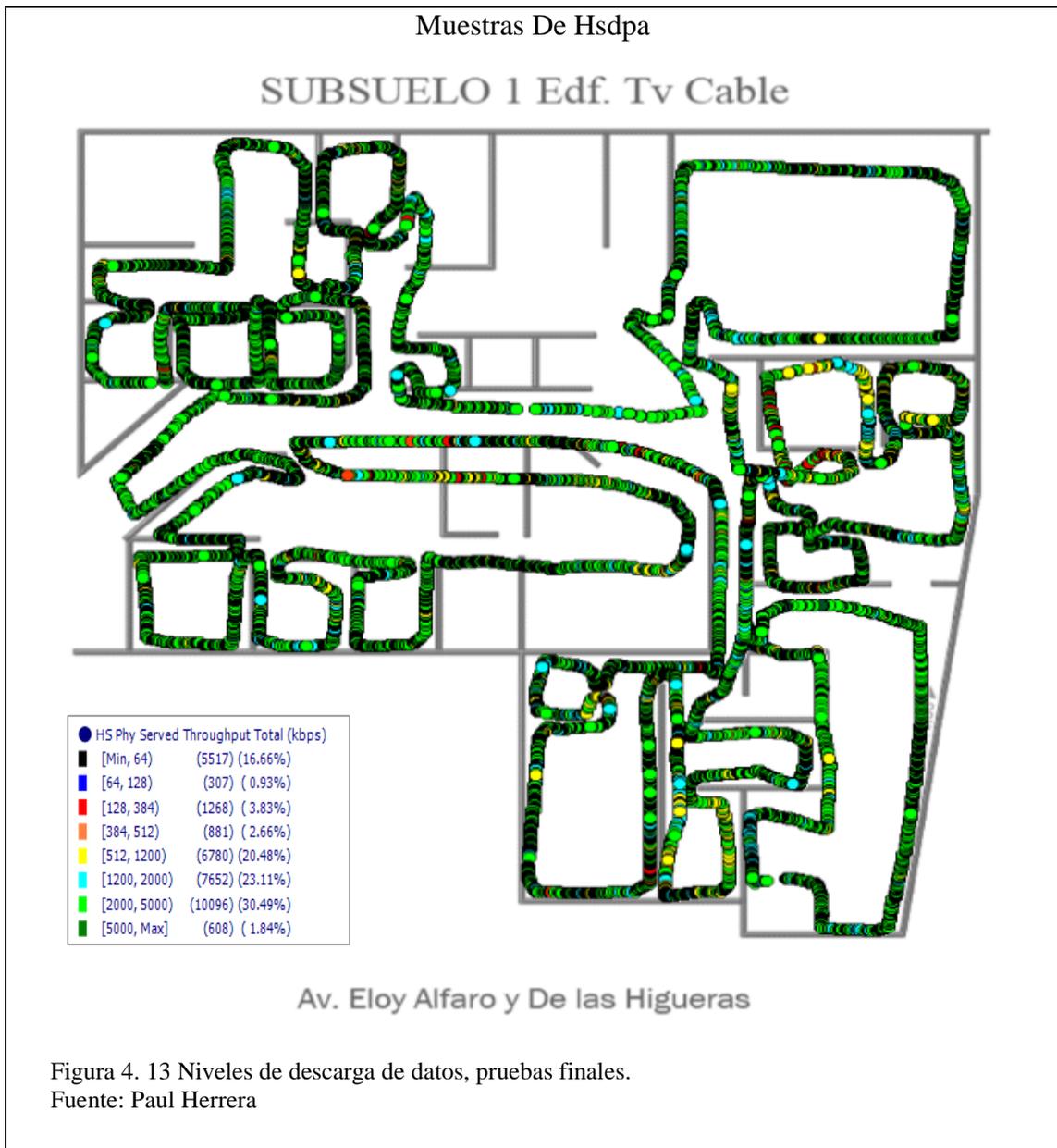
En la figura 4.11 para el parámetro ECNO, la calidad de la señal tiene un porcentaje de muestras del 57% correspondiente a valores de -12dB a -9dB que establece una calidad de señal recibida aceptable, la red de radio frecuencia toma este parámetro de la estación UPI_BUGAMBILLAS_1B, en el canal de downlink.



En la figura 4.12 se puede apreciar que los niveles de CQI están en un porcentaje de 52% con muestras de 15 a 20, valores que aseguran que la red tenga un porcentaje mínimo de paquetes erróneos.



En la figura 4.13 los niveles de HSDPA están entre 2Mbps y 5Mbps con un porcentaje de muestras de 30%, lo que determina que la transmisión en el enlace de descarga tiene un promedio de transferencia de archivos de 2,5Mbps.



4.4.3 Interpretación de resultados obtenidos

Posterior a la implementación de la red de radio frecuencia con tecnología GSM y UMTS en un sistema distribuido de antenas DAS, en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable, se realizaron pruebas de walk test similares a las realizadas para conocer el estado actual de la red en la zona de análisis, las mediciones obtenidas en el interior del subsuelo 1 se evaluó en función de los parámetros establecidos, las muestras logradas se las muestra en la siguiente tabla en comparación al estado inicial de la red.

Los resultados de la siguiente tabla son promedios aproximados de las muestras obtenidas.

Tabla 4. 4 Comparación de niveles obtenidos.

TECNOLOGIA	PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO	ESTADO INICIAL	ESTADO FINAL
2G GSM	RxLev Sub	$\geq -80\text{dBm}$	-95dBm	-75dBm
	FER	≤ 1	No hay muestras	1
	RxQual	$\leq 3\text{dB}$	5dB	3dB
3G WCDMA	RSCP	$\geq -75\text{dBm}$	-90dBm	-75dBm
	UARFCN		4412	4412
	ECNO	$\geq -12\text{dB}$	-12dB	-9dB
	CQI	≥ 15	15	20
	HSDPA	$\geq 3\text{Mbps}$	64 Kbps	4Mbps

Nota: Descripción de los niveles obtenidos en campo.

Se puede observar en la tabla 4.4 que los resultados obtenidos posterior a la implementación de la solución cumplen con los parámetros establecidos para garantizar cobertura, calidad y capacidad en el servicio de telefonía móvil, con lo cual se puede decir que la red de radio frecuencia desplegada es satisfactoria.

4.5 Pruebas finales

Para determinar que la solución implementada cumple con las expectativas de los usuarios se realiza pruebas de site survey post implementación, las mismas consisten en determinar si el usuario aprecia que el servicio celular en el interior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable es óptimo para garantizar cobertura, calidad y capacidad en el servicio de telefonía móvil.

Para conocer como el usuario percibe el servicio celular se realizan varias llamadas que estarán puntuados mediante una escala MOS.

4.5.1 Escala MOS (Mean Opinion Score)

La escala MOS se incluyó en el presente estudio para determinar la calidad de audio percibida por los usuarios del servicio de telefonía celular posterior a la implementación de la red de radio frecuencia con sistema de antenas distribuidas DAS.

MOS (Mean Opinion Score) es una medida subjetiva de la calidad de audio percibida por el usuario cuando se realiza un conjunto de llamadas, el MOS permite tener un porcentaje concreto de como el usuario escucha la llamada, la escala está definida en el presente estudio en base a los inconvenientes o problemas que se percibe durante varias llamadas. (Vera, 2006, pág. 38)

Escala MOS para el audio de la llamada: Las llamadas podrán tener los siguientes inconvenientes: RUIDO, ROBOTIZADA, ENTRECORTADA, ECO, RETARDO, OTROS.

- Si el audio fue nítido y sin inconvenientes, se indicará que la llamada fue Excelente.
- Si el audio tuvo 1 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Buena.
- Si el audio tuvo 2 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Aceptable.
- Si el audio tuvo 3 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Pobre.
- Si el audio tuvo 4 de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Mala.
- Si la llamada no se concretó o se tuvo presencia de los 5 inconvenientes, se indicará que la llamada fue Inaceptable.

En la tabla 4.5 se muestra la escala con la cual los usuarios calificaron el audio de llamada percibido, se realizaron 5 llamadas de 15 segundos cada una, para que los usuarios puedan comprobar el audio en el área de análisis.

Tabla 4.5 Escala MOS

DETALLE DE AUDIO	PONDERACION
Excelente	5
Buena	4
Aceptable	3
Pobre	2
Mala	1
Inaceptable	0

Nota: Escala de ponderación de la calidad de la llamada.

Para la realización de pruebas de calidad de audio se tomó un grupo de 10 usuarios que debían realizar el conjunto de llamadas para detectar si existe o no degradación en la llamada. Para estas pruebas es de gran importancia realizar una comparación de audio con otra operadora, para lo cual se realizó 10 llamadas a la operadora para discriminar el audio entre OTECEL S.A. y la competencia.

4.5.2 Tabulación de resultados

En la tabla 4.6 se muestran los datos obtenidos posterior a la realización del conjunto de llamadas en comparación de operadoras, se realizaron 14 intentos de llamadas en la operadora de Movistar, se observa que todos los intentos de llamadas fueron establecidos, comprobando que la cobertura garantiza el servicio celular.

Tabla 4.6 Comparación de operadoras.

OPERADORA	Intentos	Establecidas	Bloqueadas	Caídas	Finalizadas	Referencia
Movistar	14	14	0	0	14	MEJOR
Otra Operadora	11	5	5	0	6	PEOR

Nota: Descripción del número de llamadas realizadas en campo.

En la figura 4.14 se muestra la tabulación de los resultados de las pruebas MOS, en la cual se observa que los oyentes seleccionados establecieron que el audio de la llamada es excelente, no percibieron inconvenientes durante el establecimiento de la llamada, la retroalimentación sobre el servicio celular fue positiva, además se realiza una comparación con las llamadas en el estado inicial de la red.

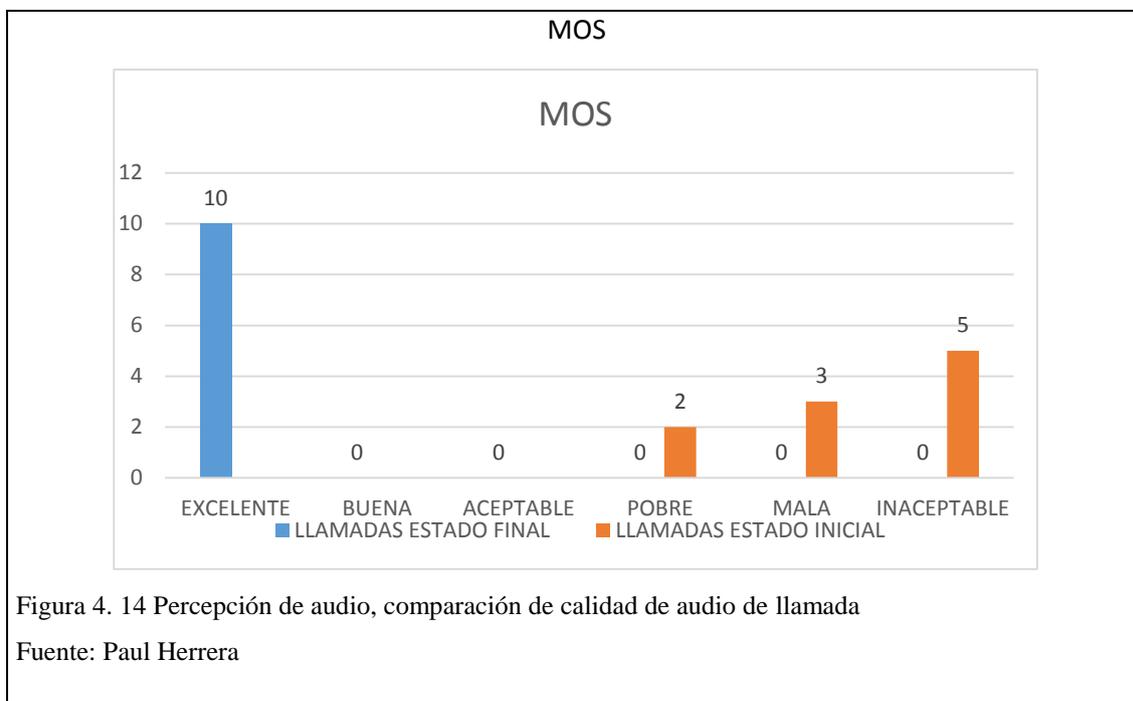


Figura 4. 14 Percepción de audio, comparación de calidad de audio de llamada

Fuente: Paul Herrera

4.6 Análisis económico (costos estimados en la implementación)

Para el análisis económico de la solución implementada, los costos a considerar dentro del desarrollo del proyecto técnico incluyen rubros que no reflejan un gasto para el usuario final, al ser un proyecto técnico auspiciado y financiado por la empresa CELLOPTI S.A. se tuvo acceso a los equipos implementados sin costo, estos rubros incluyen el costo de compra de los elementos que conforman la red de radio frecuencia y el sistema de antenas distribuidas motivo por el cual en la siguiente tabla 4.7 se muestran como costo 0, además en la tabla 10 se muestra el costo del personal que brinda ayuda en la implementación de la solución y por último se incluye el costo de movilización desde que se decidió emprender el proyecto técnico.

Tabla 4. 7 Resumen de costos

Ítem	Descripción	Valor estimado
Herramientas	Alicate, cortafrío, pinza recta, destornilladores martillo, inclinómetro, brújula, EPP, equipo de alturas.	CELLOPTI
Materiales	Repetidor Andrew, antenas COMMSCOPE, antena HUAWEI, antena donora, cable coaxial.	CELLOPTI
Movilización	Gastos por traslado al sitio del proyecto, movilización para la realización de las pruebas. Traslados de equipos, gasto conductor.	\$ 500
Papelería	Impresiones, hojas de visita, planos, actas de equipos, etc...	\$ 200
	Valor total	\$ 700

Nota: Se adjunta los valores que son gastados para la realización del proyecto técnico, los valores nombrados como CELLOPTI son asumidos por la empresa en la carta de auspicio y no representan un gasto para el desarrollo del proyecto técnico.

CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas en el estado inicial de la red se comprobó que en el área de análisis se tiene bajos niveles de señal, es decir niveles de potencia menores a -90 dBm para las dos tecnologías GSM y WCDMA, se concluyó basándose en el análisis realizado mediante radio network planning que la mejor alternativa para solventar el problema de cobertura y calidad es la implementación de una red de radio frecuencia dada las necesidades del cliente final ubicado en el subsuelo 1 del edificio de Tv Cable.

El análisis a detalle del estado inicial de la red, evidenció que en el exterior del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable tiene buenos niveles de cobertura para ambas tecnologías GSM y WCDMA menores a -90dBm de la estación BUGAMBILLAS, se realizó mediciones en la posición de la antena donora lo cual determino que los niveles de mayor presencia de señal son en la banda de 850 MHz superiores a -85dBm. La solución se presenta con la implementación del repetidor en la banda de 850 MHz para potenciar la cobertura celular en el área de análisis y permitir la comunicación fluida entre los usuarios.

Los resultados del site survey post implementación, reflejan que se cumple el objetivo de diseño de cubrir las áreas de mayor tráfico y mayor inconvenientes con un nivel de intensidad superior a -75 dBm estos valores son corroborados en la verificación de funcionamiento de la solución, el equipo de pruebas representa el usuario final es decir con celular de características básicas (llamadas, sms y redes sociales), dispositivos de última generación recibirán un mejor servicio por parte de la red en lo que se refiere a cobertura, calidad y capacidad.

Los resultados en potencia obtenidos posterior a la implementación de la red de radio frecuencia son reflejados en escala MOS de percepción de usuario, en el estado inicial de la red se tenía niveles de RF en 3G de RSCP -90 dBm y ECNO de -12 dB y percepción de usuario con voz robotizada, entrecortada hasta llegando a ser nula, en el estado final de la red de radio frecuencia se tiene niveles de RF en 3G de RSCP -75 dBm y ECNO de -9 dB y percepción de usuario con voz nítida, ponderando con la escala MOS excelente.

La implementación de la red de radio frecuencia usando herramientas de radio network planning permiten dimensionar las características de la red, además de la revisión de indicadores de funcionamiento de la estación UPI BUGAMBILLAS, permitió que mediante la utilización de programas como atoll y google earth se pueda modelar la predicción de cobertura que tiene la estación servidora, esto determinó la posición del sistema de antenas distribuida dentro de la zona de análisis, además se puede concluir que la herramienta de medición tems investigation presenta niveles de señal óptimos mayores a -75dBm posterior a la implementación de la red de radio frecuencia, por lo cual se puede garantizar calidad y continuidad en el servicio de voz y datos en todas las áreas evaluadas.

La optimización de la red celular indoor en las tecnologías GSM y WCDMA es un proceso continuo, para lo cual se determinó que la solución a través de la implementación de una red de radio frecuencia mediante la utilización de un repetidor de radio frecuencia y un sistema de antenas distribuidas, en base a las dimensiones del área de análisis y de los estudios de la información obtenida el repetidor de radio frecuencia amplifica los niveles de radio frecuencia obtenidos en la antena donora con una ganancia de 15dB y corroborados en las pruebas in situ posterior a la implementación en las cuales se obtuvo niveles mayores a -80dBm.

El repetidor se configuró en la banda de 850 MHz debido a que en la medición del punto de la antena donora se comprobó que dicha banda tiene mayor presencia con niveles mayores a -80 dBm en el parámetro del RSCP para la tecnología WCDMA y en cuanto a la tecnología GSM en el parámetro RxLev SUB se tiene niveles mayores a -80 dBm, el repetidor se encarga de amplificar las señales de potencia tomada en la antena donora, el parámetro de calidad ECNO y RxQual Sub son niveles propios que emite la estación base servidora.

RECOMENDACIONES

Durante las pruebas de estado inicial es recomendable determinar los puntos críticos de cobertura en función de obstáculos u obstrucciones que se presenten, además es importante identificar los puntos potenciales para la implementación del sistema DAS en base a los requerimientos del usuario final y características de instalación.

Al realizar pruebas de estado inicial es importante tener el equipo de posicionamiento de coordenadas encendido lo cual permite geo-referenciar el área de análisis exacto a la realidad, asimismo es importante verificar que el equipo de mediciones esté correctamente configurado y operativo para evitar problemas de mediciones con el fin de disminuir que los niveles de desempeño de la red sean erróneos.

Para tener mayor información acerca del estado inicial de la red y un análisis más profundo pre diseño de la solución, es importante que los terminales de prueba cumplan funciones específicas, por ejemplo el terminal de pruebas 1 debe estar configurado para escanear todas las frecuencias de la operadora que inciden en la zona de análisis además de mostrar adyacencias con otras estaciones, terminal de prueba 2 que permiten identificar parámetros de accesibilidad a la red y terminal de pruebas 3 que muestra reelección y handovers entre estaciones y tecnologías.

Previo a la instalación de la red de radio frecuencia es de gran utilidad revisar parámetros propios de la estación que será tomada como servidora, los parámetros a revisar deben estar en función de capacidad y calidad que ofrece la estación base servidora para no afectar a la red de distribución y acceso.

Durante el diseño de red es recomendable distribuir los equipos (antenas) de tal forma que la antena donora tenga una distancia de separación con el sistema de antenas distribuido de al menos 10 metros con el fin de evitar retroalimentación en la antena donora, también es importante para la implementación del sistema de antenas distribuido en cuanto al cableado estructurado usar las especificaciones del fabricante ya que por lo pronto no se tiene un estándar definido para cableado estructurado de equipos de radio frecuencia.

Para la verificación de funcionamiento de la red post implementación, es importante tomar un grupo de usuarios que tengan un alto uso de la telefonía celular es decir que reciban o realicen llamadas por tiempos prolongados, para conocer su experiencia con el fin de ponderar el grado de satisfacción del usuario, y conocer la percepción que tienen sobre la solución planteada.

Es importante considerar la evolución de la red y las necesidades del cliente, por lo cual se debe suponer que la red de radio frecuencia a futuro deberá ser actualizada por lo cual se sugiere realizar una evaluación a largo/mediano plazo para comprobar el estado de los equipos y la factibilidad de actualización para brindar servicio en nuevas tecnologías, además de consultar con el operador de telefonía celular acerca de la modernización de la red y nuevos servicios.

Durante las pruebas de estado inicial se puede realizar en campo un análisis corto de acuerdo a las necesidades del cliente y de la ubicación de la zona de interés, en base a esto se puede determinar que en un subsuelo se debe tener como primera opción el diseño de una solución indoor, debido a la cobertura/penetración de los niveles de RF, que es limitada en el área de interés y se deberá potenciar a través de un sistema de antenas distribuido.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Arcotel. (2002). *REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO (Resolución No. 498-25-CONATEL-2002)*. Quito.
- ASCOM/TEMS. (2016). *ASCOM*. Obtenido de <http://www.tems.com/>
- Base de datos estaciones Cellopti, S. (2016). *Bases de datos LTE, WCDMA y GSM*. Quito.
- Campodonico, G. (2009). *DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS CELULARES PARA EL TUNEL DEL CERRO EL CARMEN DE GUAYAQUIL UTILIZANDO CABLE SCTP CAT 5/6 PARA LA BANDA GSM 850 MHZ*. GUAYAQUIL: ESPL.
- Campodónico, G. (2009). *Fundamento Teorico Practicos Aplicaciones y Servicios de la tecnologia GSM Fundamento Teorico Practicos Aplicaciones y Servicios de la tecnologia GSM Fundamento Teorico Practicos Aplicaciones y Servicios de la tecnologia GSM*. Guyaquil.
- Cisneros, D., & Salazar, L. (2011). *DISEÑO DE UNA PLATAFORMA CONTACT CENTER MULTIMEDIA IP NORTEL INTEGRADO A UNA RED CELULAR GSM NOKIA*. QUITO.
- Commscope. (2016). *Commscope*. Obtenido de http://www.commscope.com/catalog/wireless/product_details.aspx?id=26454
- COMMSCOPE. (2016). *MRX18 Mini repeater*. ANDREW.
- CONATEL 2002, A. R.-2. (2012). *ARCOTEL*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- CORAL, J. A. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS MULTIOOPERADORA PARA MEJORAR LA COBERTURA CELULAR 3G EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*. QUITO: EPN.
- Fajardo, D. (2004). *Simulación de tramas de WCDMA*. Puebla. Obtenido de CAPITULO 1: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf
- Galeano, S., Poveda, H., & Merchán, F. (2014). *Estudio comparativo del desempeño de las redes celulares en Panamá*. Panama.
- Gordillo, J. d. (2010). *CAPTURA DE DATOS Y ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE REDES GSM Y UMTS*. Obtenido de revisar

- GSMSPAIN. (2016). *GSMSPAIN INFORMACION TECNICA*. Obtenido de http://www.gsmspain.com/info_tecnica/gsm/index15.php
- GSMTHEORY. (s.f.). *GSMTHEORY*. Obtenido de GSMARCHITECTURE: <https://sites.google.com/site/gsmtheory/>
- Guillen, D. (2008). *DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONIA MOVIL DE TERCERA GENERACION WCDMA PARA LA CIUDAD DE TACNA*. Lima.
- Hassan, M. (2003). *Planificación de sistemas UMTS mediante sistemas de informacion geografica*.
- Hernández, A. (2003). *Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM & IS-54, IS-136*. Puebla.
- HUAWEI. (2011). *HUAWEI In-Building solutions Products catalog 2011*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/100673037/In-Building-Solution-ProductsV1-0>
- Inzaurrealde, M., Isi, J., & Garderes, J. (s.f.). *Telefonia Celular*. Montevideo, Uruguay.
- Jimenez, S. (2013). *DISEÑO Y PARAMETRIZACION DE UNA ESTACION DE TELEFONIA MOVIL 2G/3G. ANALISIS DE DEGRADACIONES*. SEVILLA: UNIVERSIDAD DE SEVILLA.
- Lamilla, T. (2010). *MIGRACION DE GSM A UMTS*. Guayaquil.
- LEON, L. M. (2010). *PLANIFICACION Y DISEÑO DE LA AMPLIACION DE COBERTURA DE LA RED CELULAR GSM Y AJUSTE DE PARAMETROS (INITIAL TUNING) MEDIANTE UN REPETIDOR ACTIVO PARA LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DE NAPO PARA UNA AMPRESA DE TELEFONIA CELULAR*. QUITO.
- Lianstar Technology, C. (2016). *Shenzhen Lianstar Technology Co*. Obtenido de <http://www.lianstar.com/es/repetidor-celular-de-doble-banda.php>
- López, J. (2005). *Simulación de tramas de comunicación para UMTS*. Puebla.
- MICROWAVES & RF, C. (2016). Obtenido de <http://mwrf.com/passive-components/dass-bring-capacity-indoors-outdoors-and-wherever-you-need-it>
- Nextivity. (2016). Obtenido de www.nextivity.com
- Robledo, C. (2007). *Introduccion a la telefonia celular*. Mexico.
- Rubio, A., Gonzalez, D., & Fernandez, A. (2002). *Telefonia Movil (Transmision y Redes de datos)*.
- Senatel. (2014). *BOLETIN ESTADISTICO DEL SECTOR DE TELECOMUNICACIONES*. Quito.

- Sotomayor, A., & Rugel, J. (2015). *ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD EN LOS SISTEMAS UMTS Y DESARROLLO DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA*. Guayaquil.
- Torres, J., & Miranda, C. (2013). *MIGRACION DE UNA ESTACION TERRENA (HUB SATELITAL) EN OPERACION*. Mexico.
- TUDELA, A. D. (MARZO de 2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA RED RF INDOOR EN EL HOSPITAL DE EMERGENCIAS PEDIATRICAS PARA MEJORA DE COBERTURA*. LIMA, PERU.
- Vera, P. (2006). *DESARROLLO DE TECNICAS DE CODIFICACION DE AUDIO BASADAS EN MODELOS DE SENAL PARAMETRICOS*. UNIVERSIDAD DE ALCALA.
- Zambrano, J. (agosto de 2008). *GSM PLANNING*. Quito.