

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES Y REDES



**“ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE
DESCARGA Y LOS NIVELES DE SEÑAL LTE OUTDOOR MEDIDOS
EN EL CAMPUS UPAO – TRUJILLO PARA UN OPERADOR MÓVIL
LOCAL”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y REDES
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: COMUNICACIONES MOVILES E
INALAMBRICAS**

AUTOR:

Br. Frank Harold Rodríguez Alvarado

Br. Cesar Jhonadan Rodríguez Chacón

ASESOR:

Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez

TRUJILLO - PERÚ

2016

ACREDITACIONES

“ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE DESCARGA Y LOS NIVELES DE SEÑAL LTE OUTDOOR MEDIDOS EN EL CAMPUS UPAO – TRUJILLO PARA UN OPERADOR MÓVIL LOCAL”

Elaborado Por:

Br. Frank Harold Rodríguez Alvarado

Br. Cesar Jhonadan Rodríguez Chacón

Aprobado por :

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916

Ing. ALBERTIS FLORIAN VIGO
SECRETARIO
CIP N° 114879

Ing. OSCAR DE LA CRUZ RODRÍGUEZ
VOCAL
CIP N° 85598

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

PRESENTACION

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones y Redes para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE DESCARGA Y LOS NIVELES DE SEÑAL LTE OUTDOOR MEDIDOS EN EL CAMPUS UPAO – TRUJILLO PARA UN OPERADOR MÓVIL LOCAL”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, 21 de Octubre del 2016

Br. Frank Harold Rodríguez Alvarado

Br. Cesar Jhonadan Rodríguez Chacón

DEDICATORIAS

Doy gracias a Dios por guiarme por el buen camino. Este trabajo de investigación la dedico a toda mi familia en especial a mi hija Fabiana por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor, a mi esposa Sally por su sacrificio y esfuerzo aunque hemos pasados momentos difíciles siempre ha estado brindándome su apoyo, comprensión cariño y amor, a mis Padres por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, a mis hermanos que siempre quise ser un ejemplo de superación para que ellos sigan mis pasos y me superen, mis amigos los cuales compartimos 5 años de vida universitaria compartiendo conocimiento, apoyándonos en los trabajos que no eran fáciles, las amanecidas estudiando para poder llegar a un objetivo en nuestras vidas terminar satisfactoriamente la carrera y poder tener el ansiado Título de Ingeniero. Solo me queda agradecerlos a todos por todo su apoyo sin esperar nada a cambio.

Frank

A Dios

Por permitirme la vida, la salud y por permitirme culminar con éxito el esfuerzo de todos estos años de estudio.

A mi madre Carmen Chacón

Por haberme apoyado en todo momento, por enseñarme valores, por su apoyo constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre Rodrigo Rodríguez

Por los ejemplos de constancia que lo caracterizan y por creer en mí.

A todos ellos gracias.

César

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Asesor de Tesis Ing. Eduardo Cerna Sánchez que desde un principio nos brindó su dedicación, paciencia y apoyo que han sido fundamentales para la realización del presente trabajo y obtener el ansiado Título Profesional de Ingeniero.

A todos los Ingenieros quienes se han tomado el arduo trabajo de transmitirnos diversos conocimientos, gracias a ellos hemos logrado importantes objetivos como culminar con éxito la universidad

RESUMEN

La presente tesis se centra en el análisis de parámetros mediante mediciones realizadas en el sistema de comunicaciones móviles LTE en la frecuencia de 1900 MHz.

Con los datos de la red LTE de un operador móvil local se procedió a ubicar a las estaciones celulares (eNodeB) que brindan cobertura al campus UPAO, y luego se procedió a identificar sectores.

Para obtener las mediciones se utilizó una herramienta de drive test en todo el Campus UPAO-Trujillo obteniendo 200 muestras de observación. Luego se realizó el procesamiento de la información recopilada y se clasificó por niveles de señal recibida y por velocidad de descarga.

Los valores clasificados para cada eNodeB muestran una tendencia uniforme entre las muestras clasificadas por velocidad de descarga regular y deficiente lo cual llega a valores por encima de 0.70 de coeficiente de Pearson.

En tanto que al clasificar las muestras por potencia, no se obtienen tendencias uniformes.

Los resultados son discutidos y se presentan finalmente las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

ABSTRACT

The present thesis focusing in the analysis the parameters measurements made by in the mobile communications systems LTE in the frequency 1900MHz.

With the data of the network LTE of one local mobile operator we proceeded to locate cell stations (eNodeB) providing coverage to the Campus UPAO-Trujillo, and then we proceeded to identify sectors.

For obtain the measurements it was used one tool for drive test in all Campus UPAO-Trujillo, getting 200 samples of observation, then it has been made processing of information collected and it was classified for levels of signal received and download speed.

The classified values for each eNodeB show a trend uniform between samples classified for download speed fair and poor which values above 0.70 of Pearson Correlation.

While to the classified the samples for potency not obtained uniform trend.

The results are discussed and presented finally in conclusions and recommendations work.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Realidad Problemática	1
1.2.	Delimitación del Problema.....	2
1.3.	Características y Análisis del Problema.....	2
1.4.	Formulación del Problema	3
1.5.	Formulación de la Hipótesis.....	3
1.6.	Objetivos del Estudio	3
1.7.	Justificación del Estudio	4
1.8.	Limitaciones del Estudio	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Antecedentes.....	5
2.2.	Bases Teóricas.....	6
2.3.	Definición de Términos	25
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	27
3.1.	Material.....	27
3.1.1.	Población.....	27
3.1.2.	Muestra	27
3.2.	Método.....	27
3.2.1.	Nivel de Investigación	27
3.2.2.	Diseño de Investigación.....	27
3.2.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	32
3.2.5.	Procesamiento y Análisis de Datos	39
4.	RESULTADOS.....	62
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
6.	CONCLUSIONES	70
7.	RECOMENDACIONES	71
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.1.Señal Recibida LTE Outdoor	2
Ilustración 1.2. Velocidad de Descarga.....	3
Ilustración 2.1.Evolución de 4G-LTE.....	7
Ilustración 2.2.Arquitectura del Sistema LTE	7
Ilustración 2.3.Equipos de Usuario.....	9
Ilustración 2.4.Interfaz Aire	9
Ilustración 2.5.Ancho de Banda de Transmisión por cada Canal.	10
Ilustración 2.6.Ancho de Banda LTE y Subportadoras Ocupadas.	11
Ilustración 2.7.Estructura de Tiempo y Trama	11
Ilustración 2.8.Estructura General del TTI.....	12
Ilustración 2.9.Estructura General del TTI Extendido.	12
Ilustración 2.10. Resource Block y Resource Element	13
Ilustración 2.11.Multiplexación FDD y TDD.	13
Ilustración 2.12.Diagrama de Constelación	14
Ilustración 3.1. Descriptiva Correlacional.....	27
Ilustración 3.2.Aplicación Network Info Cell	32
Ilustración 3.3.Aplicación G-NETTRACK PRO	33
Ilustración 3.4.Ubicación y Sectorización de eNodeB	34
Ilustración 3.5.Realizando el recorrido campus Upao – Trujillo	36
Ilustración 3.6.Registro de Datos.....	37
Ilustración 3.7. Valores del Reporte de Medición	39
Ilustración 3.8. Porcentaje de muestras por Site (eNodeB).....	400
Ilustración 3.9. Clasificación y Cantidad de muestras por eNodeB.....	41
Ilustración 3.10.Mediciones Totales de todos los eNodeB	422
Ilustración 3.11. Diagrama de Dispersión de todos los eNodeB	422
Ilustración 3.12.Diagrama de Distribución eNodeB Prolongación Vallejo	433
Ilustración 3.13. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo	444
Ilustración 3.14. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Deficiente.	455
Ilustración 3.15. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Regular.	466
Ilustración 3.16. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Bueno	466

Ilustración 3.17. Diagrama de dispersión Prolongación Vallejo Deficiente	477
Ilustración 3.18. Diagrama de dispersión Prolongación Vallejo Regular	48
Ilustración 3.19. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Bueno.	49
Ilustración 3.20. Diagrama de distribución Taiwán.....	500
Ilustración 3.21. Diagrama de dispersión eNodeB Taiwán.....	500
Ilustración 3.22. Diagrama de dispersión Taiwán Deficiente.	511
Ilustración 3.23. Diagrama de Dispersión Taiwán Deficiente.	522
Ilustración 3.24. Diagrama de distribución Ovalo Larco	533
Ilustración 3.25. Diagrama de dispersión-Ovalo Larco	544
Ilustración 3.26. Diagrama de dispersión-Ovalo Larco-Deficiente.....	555
Ilustración 3.27. Diagrama de dispersión Ovalo Larco Deficiente.....	56
Ilustración 3.28. Diagrama de distribución San Eloy Almendros	577
Ilustración 3.29. Diagrama de dispersión-San Eloy Almendros	577
Ilustración 3.30. Diagrama de dispersión-SanEloy-Almendros-Regular.....	588
Ilustración 3.31. Diagrama de dispersión-San Eloy Almendros-Deficiente	59
Ilustración 3.32. Diagrama de Dispersión San Eloy Almendros-Regular	600
Ilustración 4. 1 Coeficientes de Pearson para mediciones totales y eNodeB´s.....	63
Ilustración 4. 2 Correlación de Pearson para la separación de la Velocidad de Descarga...66	
Ilustración 4. 3 Correlación de Pearson para la separación de la niveles de señal (RSRP)..67	

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Index MSC Modulation Order.....	15
Tabla 2.2. Categorías de UE en LTE.....	16
Tabla 2.3. Transport Block Size (TBS).....	18
Tabla 2.4. Configuración Especial del Subframe.....	19
Tabla 2.5. Mapas de RSRP dBm.....	22
Tabla 2.6. Serving RSRP (dBm).....	22
Tabla 2.7. RSRQ Mapping	23
Tabla 2.8. Serving RSRQ (dBm).....	23
Tabla 2.9. Condiciones Radio para mediciones SINR.....	24
Tabla 3.1. Correlación.....	28
Tabla 3.2. Operacionalización de la Variable Independiente.....	29
Tabla 3.3. Operacionalización de la Variable Independiente.....	30
Tabla 3.4. Operacionalización de la Variable Dependiente.....	31
Tabla 3.5. Ubicación de los eNodeB (sites).....	34
Tabla 3.6. Sectorización de eNodeB's.....	35
Tabla 3.7. Parámetros Operativos de LTE.....	38
Tabla 4.1. Correlación de Pearson para mediciones totales.....	62
Tabla 4.2. Valores de Correlación de Pearson de acuerdo a cada eNodeB.....	62
Tabla 4.3. Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Prolongación Vallejo.....	64
Tabla 4.4. Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Taiwán.....	64
Tabla 4.5. Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Ovalo Larco.....	65
Tabla 4.6. Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB San Eloy Almendros.....	65

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Los sistemas de comunicaciones móviles se han ido desarrollando acorde a los nuevos intereses de los nuevos usuarios y en vista de la creciente demanda de las comunicaciones móviles, los usuarios exigen cada vez más y mejores servicios a los operadores de telefonía móvil estos servicios tienen que ver con la mejora de la calidad de las llamadas, amplia cobertura y soporte de aplicaciones de altas velocidades de transmisión como video llamadas, acceso rápido a internet, descarga de aplicaciones como, música, videoconferencia, internet móvil, descarga de archivos multimedia, televisión móvil, juegos en línea, la telemedicina, domótica, etc, a una buena velocidad. (Calle, 2013)

La tecnología LTE ha sido desarrollada en los últimos años con vocación de convertirse en la cuarta generación de las comunicaciones móviles, está orientada a datos y basada en una arquitectura de conmutación de paquetes IP. (Lopez, 2016)

En Trujillo una de las provincias con más crecimiento económico y poblacional a nivel nacional los operadores se han visto en la necesidad de reducir el tamaño de sus macro celdas a micro celdas con el propósito de brindar una mejor cobertura y la mejora de velocidades de acceso a la red.

Los grandes centros concentración son centros comerciales, institutos, universidades, con las que nuestra ciudad cuenta.

Según (Ordas, 2016), uno de los lugares críticos en calidad de servicio es el Campus UPAO Trujillo debido al incremento de población estudiantil y también el uso de teléfonos móviles 4G LTE.

▪ Contexto donde se Presenta el Problema

- Campus-UPAO Trujillo.

1.2. Delimitación del Problema

Por expuesto, la presente investigación se delimita a la relación de la velocidad de descarga y los niveles de señal LTE Outdoor medidos en el Campus UPAO-Trujillo.

1.3. Características y Análisis del Problema

1.3.1. Características Problemáticas

- a. Zonas con niveles de señal LTE Outdoor deficientes en relación a la velocidad de descarga medidos en el campus UPAO-Trujillo.

1.3.2. Análisis de Características Problemáticas

Con el objetivo de evidenciar la realidad problemática de los servicios 4G LTE de un operador móvil en la ciudad de Trujillo especialmente en el campus-UPAO se realizó pruebas de Downlink, en diferentes días y horas desde el 10 de mayo del 2016 al 14 de junio del 2016.

a.- Zonas con niveles de señal LTE Outdoor deficientes en relación a las velocidades de descarga medidos en el campus UPAO-Trujillo.

Para relacionar y tener un análisis de los niveles de señal recibida LTE Outdoor y la velocidad de descarga medidos en el campus UPAO-Trujillo se utilizó un Smartphone con sistema operativo Android y la aplicación G-NETTRACK PRO en modo Download, donde los resultados obtenidos se pueden observar en las ilustraciones 1.1 y 1.2, donde existen zonas con niveles de señal deficientes y también existe baja velocidad de descarga.

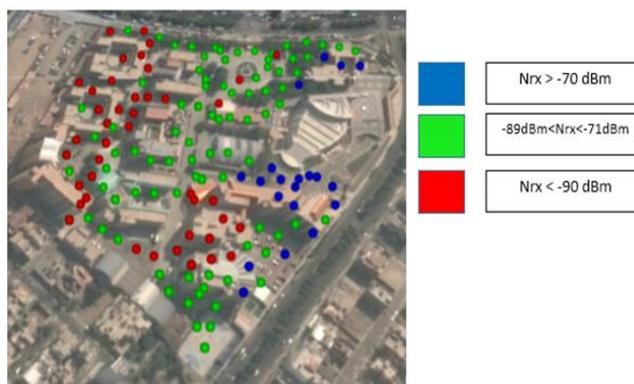


Ilustración 1.1. Señal Recibida LTE Outdoor

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 1.2 se aprecia que los puntos de color amarillos son los puntos especiales donde se observa que:

- No todos los niveles deficientes tienen deficientes velocidades de descarga, como también los niveles de señal regular tienen velocidades de descarga regular y los niveles de señal bueno tienen velocidades de descarga buena.

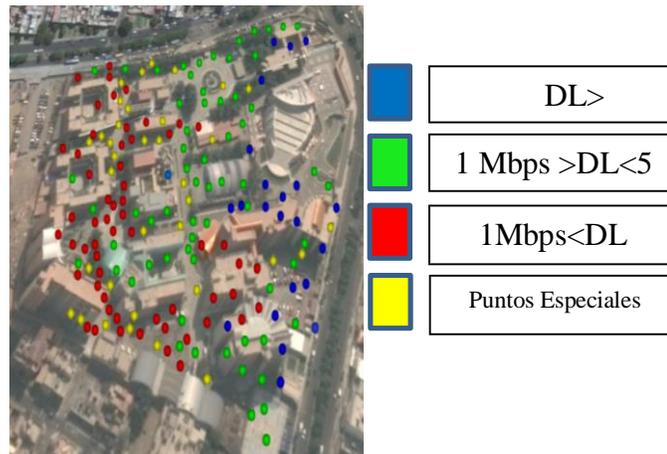


Ilustración 1.2 Velocidad de Descarga

Fuente: Elaboración Propia

1.4. Formulación del Problema

¿En qué medida se relacionan los niveles de señal recibida y la velocidad de descarga en el Campus UPAO -Trujillo?

1.5. Formulación de la Hipótesis

Existe una correlación significativa entre los niveles de señal Outdoor LTE recibida y la velocidad de descarga medida en el campus UPAO.

1.6. Objetivos del Estudio

1.6.1 Objetivo General:

Contrastar la relación entre los niveles de señal LTE Outdoor con la velocidad de descarga mediante mediciones realizadas en el Campus UPAO-Trujillo.

1.6.2 Objetivos Específicos:

-Describir los parámetros LTE más relevantes para la comparativa entre señal recibida y velocidad de descarga.

-Establecer una clasificación de los niveles de recepción de potencia RSRP Outdoor LTE en el campus UPAO Trujillo.

- Establecer una clasificación de las mediciones de velocidad de descarga Outdoor LTE en el campus UPAO Trujillo.
- Comparar los niveles de señal recibida y la velocidad de descarga evaluando su posible correlación.

1.7. Justificación del Estudio

1.7.1 Importancia de la Justificación:

a) Justificación Académica.

El proyecto se justifica académicamente porque va dirigido a la aplicación de conocimientos adquiridos durante el pregrado y al uso de las TIC's (Tecnologías de la Información y Comunicación) que contribuyen a la contratación de la relación entre potencia y velocidad de descarga en un escenario real.

1.8. Limitaciones del Estudio

La presente investigación en el tiempo solo alcanza o comprende 4 meses, se limita a aspectos técnicos en el Outdoor donde precisa y analiza los niveles de señal y la velocidad de descarga del operador móvil local Claro. Debido al presupuesto limitado no se considera comprar equipos más sofisticados para el drive test.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- a. Moposita y Moyano (2015) en su investigación titulada *“Evaluación de Calidad de Servicio (QoS) de la Tecnología Móvil HSPA+, y su Migración a la Tecnología LTE”*, se propuso como objetivo: determinar cuál de ellas presenta las mejores ventajas para la migración de usuarios llegando a los siguientes resultados obtenidos se concluye que la nueva tecnología LTE sin duda alguna brinda una mejor calidad de servicio y ofrece a los usuarios móviles mayores experiencias.
- b. López, A (2016) en su investigación titulada *“Diseño de una herramienta de simulación de coberturas para el estudio de estrategias de densificación en LTE”*, se propuso como objetivo: diseñar en MATLAB, un simulador que permita realizar, para las distintas estrategias, cálculos de cobertura en diferentes escenarios y que, además, permita evaluar mediante datos estadísticos los parámetros más relevantes de las redes de comunicación llegando a los siguientes resultados obtenidos y los posteriores análisis, la estrategia que presenta unos resultados más favorables es la hiperdensificación. Además, debido al uso de small cells, esta estrategia ofrece una solución muy buena al problema de capacidad al haber una mayor reutilización de los recursos de red debido al gran número de estaciones desplegadas
- c. Rizwan, Muhammad, Hasnain y Shabbir (2011) en su investigación titulada *“Comparación de Modelos de radio propagación para la Red LTE”* se propuso como objetivo: verificar los modelos de propagación según las pérdidas en el trayecto de acuerdo a las áreas urbanas, suburbanas y rurales llegando a los siguientes resultados mostrar las pérdidas según los modelos.

- d. Top Optimized Technologies (2012) en su investigación titulada *“Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos”* se propuso como objetivo: recoger los resultados de los requisitos técnicos necesarios para determinar la cobertura LTE y la caracterización de la cobertura de las tecnologías LTE y su evolución LTE-A partiendo desde HSPA 3.5 llegando a los siguientes resultados elaborar un modelo de calculo que permite obtener los niveles de señal recibida necesaria para recibir una velocidad de usuario determinada.

2.2. Bases Teóricas

Según el autor (Agusti, 2010, págs. 150-155) menciona los aspectos más relevantes que destacan en LTE, por primera vez, todos los servicios, incluida la voz, se soportan sobre el protocolo IP (Internet Protocol), y que las velocidades de pico la interfaz radio se sitúan dentro del rango de 100 Mb/s y 1Gb/s, ampliamente superiores a las conseguidas en los sistemas predecesores.

• Descripción de LTE-4G

Según el autor (Agusti, 2010, págs. 160-162) el objetivo de LTE es alcanzar velocidades de transmisión del orden de 100 Mbits/s en el Downlink se considera una canalización de 20 MHz. Las canalizaciones posibles para LTE son 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz. LTE permite también su explotación tanto en FDD como TDD, incrementando así la flexibilidad en su despliegue.

Una técnica de modulación es OFDM permite evitar la transmisión de una única señal de banda ancha mediante la transmisión de un conjunto de señales de banda estrecha ortogonales, dando empleo a la técnica de acceso múltiple OFDMA proporciona un alto grado de flexibilidad al permitir la asignación dinámica de las diferentes subportadoras a los diferentes usuarios, así mismo también la técnica SC-FDMA, empleada en el enlace ascendente para mitigar los inconvenientes que presenta OFDMA en cuanto a que la potencia instantánea transmitida puede ser significativamente superior a la potencia media, lo que dificulta la realización del amplificador de potencia a incorporar en el terminal móvil.

A velocidades de pico teórica alcanzable en el Downlink para 2×20 MHz (FDD), 64-QAM y 4×4 MIMO resulta de 326 Mbits/s como se muestran en la ilustración 2.1

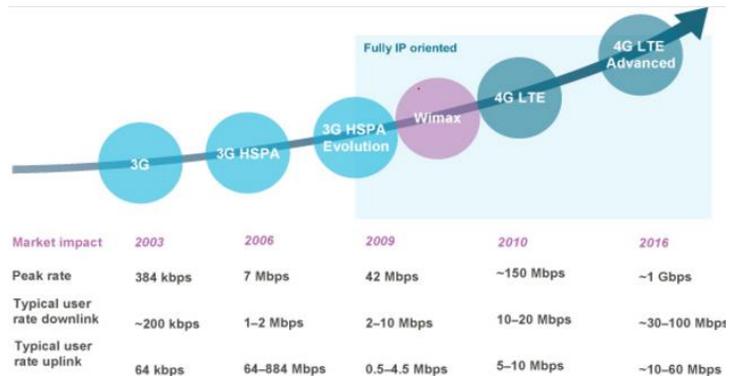


Ilustración 2.1 .Evolución de 4G-LTE

Fuente: (Agusti, Ramon , 2010)

• Arquitectura del Sistema LTE

El análisis inicial de la arquitectura genérica adoptada en los sistemas celulares 2G/3G actuales, se identifican las piezas fundamentales que componen la arquitectura de red de toda la familia de sistemas especificada por 3GPP (GSM, UMTS, LTE). En la ilustración 2.2 descrita por (Nokia Siemens Network, Training Material, 2010), se ilustra de forma simplificada la arquitectura completa del sistema LTE, denominado en las especificaciones como Evolved Packet System (EPS). Los componentes del sistema LTE, por un lado la red de acceso E-UTRAN, el dominio de paquetes EPC de la red troncal y el subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS.

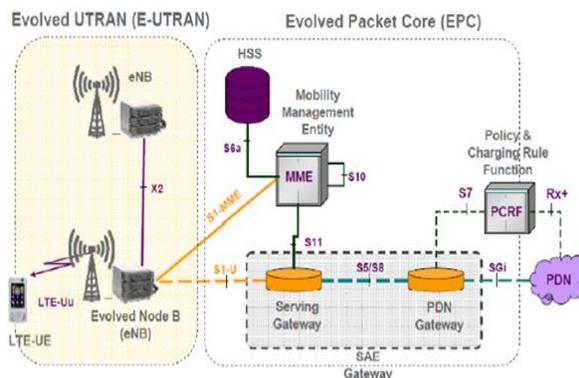


Ilustración 2.2.Arquitectura del Sistema LTE

Fuente: (Nokia Siemens Network, Training Material, 2010)

1) Evolved NodeB (eNodeB)

Según el autor (Agusti, 2010, pág. 65), comenta que la arquitectura general de EUTRAN, el eNodeB integra todas las funciones de la interface de red de acceso, el eNodeB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización. La transferencia de paquetes IP entre un eNodeB y un equipo de usuario se denomina formalmente como un Servicio Portador Radio (Radio Bearer, RB). La funcionalidad clave de un eNodeB consiste en la gestión de los recursos radio; donde el eNodeB alberga funciones de control de admisión a los servicios portadores radio, control de movilidad (decisión de realizar Handover), asignación dinámica de los recursos radio en el enlace descendente y ascendente (denominadas funciones Scheduling), control de interferencia entre estaciones base, control de realización y del envío de mensajes desde los equipos que pueden ser útiles para la gestión de recursos.

Entre las funciones también importantes del eNodeB es la selección dinámica de MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. A diferencia de otras redes como la UTRAN en EUTRAN los eNodeB pueden conectarse simultáneamente a múltiples MME de la red troncal y ese conjunto de MME's que tiene acceso al eNB llamado POOL AREA. Un eNodeB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red EPC, teniendo funciones de encaminamiento de tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red EPC.

2) Equipo de Usuario (UE)

Según el autor (Agusti, 2010, págs. 105-109), es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE mediante la interfaz aire (LTE-Uu). La arquitectura funcional de los equipos de usuario de la red LTE es la misma que en los sistemas GSM y así posteriormente para UMTS. En la ilustración 2.3 muestra dos elementos básicos: un módulo de suscripción de usuario (SIM/USIM) y el equipo propiamente dicho. Existe un grado de flexibilidad en el diseño del equipo móvil, eso hace que exista una separación física entre el equipo que contiene funciones propias de la comunicación (MT) y el equipo se

ocupa de la interacción con el usuario (TE), que puede contener multitud de aplicaciones adicionales.

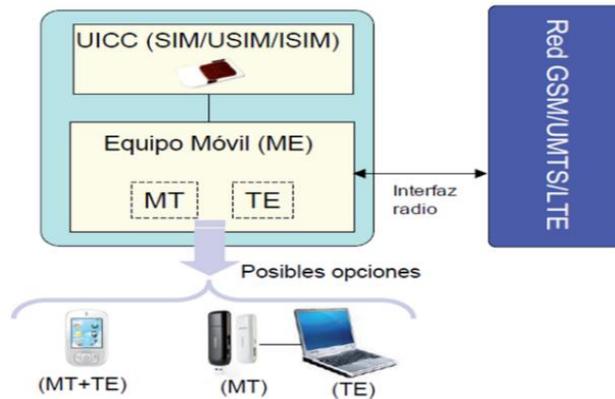


Ilustración 2.3 .Equipos de Usuario

Fuente: (LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Moviles, 2010)

3) Interfaz aire (LTE-Uu)

La interface aire de LTE definida como E-UTRA (Evolved- Universal Terrestrial Radio Access) y soporta un ancho de banda variado que va desde 1.4MHz hasta 20MHz como se muestra en la ilustración 2.4. Según (Huawei Proprietary and Confidential, 2010) , el equipo de usuario utilizara un canal de banda ancha basado en la configuración del eNB. Donde también los eNB´s implementan múltiples canales y mejoran la capacidad como parte de reusar la frecuencia.

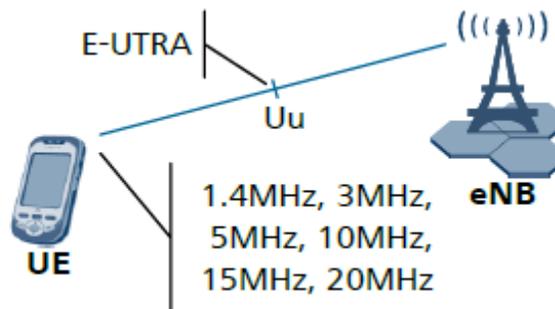


Ilustración 2.4 .Interfaz Aire

Fuente: (LTE Air Interface, 2010)

4) Protocolos de Interface Radio LTE

La interface E-UTRA provee conectividad entre el equipo de usuario y el eNB. Está dividido lógicamente en Control Plane y User Plane. Según (Huawei Proprietary and Confidential, 2010) hay dos control Plane, la primera portadora está previsto por el RRC (Radio Resources Control) y señalización de portadoras entre el UE y el eNB. La segunda portadora NAS (Non Access Stratum) son mensajes de señalización al MME (Mobility Management Entity).

El User Plane se centra en los envíos de datagramas IP desde el eNB al EPC (Evolved Packet Core) llamado S-GW (Serving-Gateway) y PDN-G (Packet Data Network-Gateway) mediante la interfaz SU Y S5.

5) Relación entre ancho de banda (BW) y Resource Block RB.

El ancho de banda es afectado directamente por el throughput. Diferentes ancho de bandas BW's tienen diferente número de resource block RB's como se muestra en la ilustración 2.5.

Transmission bandwidth configuration for each channel bandwidth

Channel bandwidth	MHz	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration	N_{RB}	6	15	25	50	75	100
	MHz	1.06	2.7	4.5	9	13.5	18

Ilustración 2.5. Ancho de Banda de Transmisión por cada Canal.

Fuente. 3GPP TS 36.104

Aquí el cálculo que nos ayuda a encontrar el número de subportadoras y resource block.

El 10 % total del ancho de banda (BW) es asumido para ser usado por la banda de guarda

Aunque el 10 % de la banda de guarda no es asumido o no es válido para la ancho banda de 1.4Mhz.

Por ejemplo

Para 20 Mhz.

10% de 20 Mhz es respectivamente 2 Mhz de banda de guarda.

Numero de subportadoras = $18 \text{ Mhz}/15 \text{ Khz}= 1200$

Numero de subportadoras ocupadas = $18\text{Mhz}/180\text{Khz}= 100$.

Según 3GGP TS 36.104, nos muestra en la ilustración 2.6 el ancho de banda y el espacio de subportadoras.

	1.4MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Frame Duration	10ms					
Subcarrier Spacing	15 kHz					
Sampling Rate (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Data Subcarriers	72	180	300	600	900	1200
Symbols/slot	Normal CP=7, extended CP=6					
CP length	Normal CP=4.69/5.12 μsec , extended CP= 16.67 μsec					

Ilustración 2.6 Ancho de Banda LTE y Subportadoras Ocupadas.

Fuente. 3GGP TS 36.104

5.1 Estructura de tiempo y trama en LTE.

La unidad de tiempo en LTE es TS. Este es definido como $1/(1500/2048)=32.56$ Ns, donde 15000 es el ancho de banda de la subportadora y 2048 es el máximo número de FF TS soportado. Cada elemento de tiempo es Múltiple de estos valores como se muestra en la ilustración 2.7.

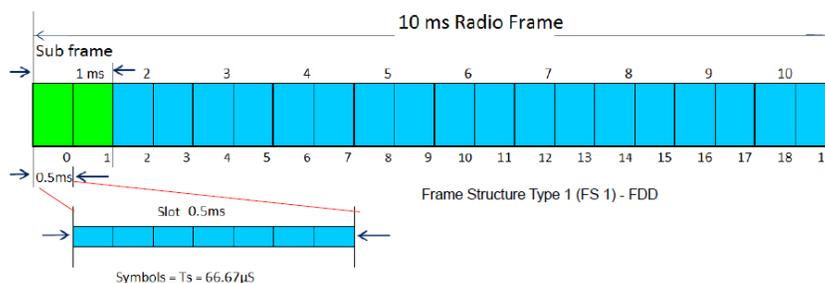


Ilustración 2.7 .Estructura de Tiempo y Trama

Fuente 3GGP TS 36.104

En LTE los Slots de 500 μs es subdividido en la (parte útil de) símbolos (azul claro) y CPs como muestra la ilustración 2.8.

(Transmission Time Intervals)4 TTI

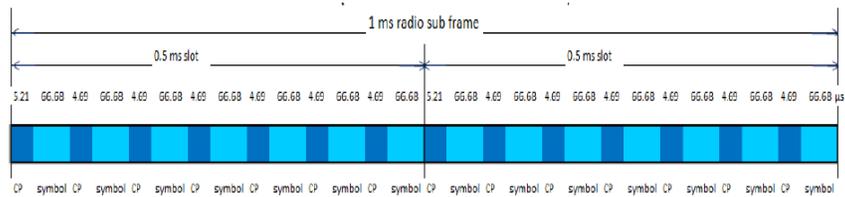


Ilustración 2.8 .Estructura General del TTI

Fuente 3GGP TS 36.104

Para los CP extendidos la estructura en general 500 μ s es mantenido como muestra la ilustración 2.9, pero el número de símbolos es reducido en orden de grado a la duración del CYCLIC PREFIX CP.

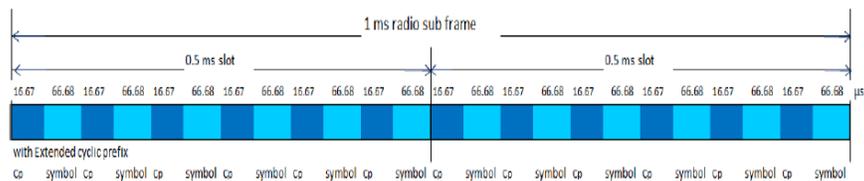


Ilustración 2.9 .Estructura General del TTI Extendido.

Fuente 3GGP TS 36.104

5.2 El Resource Block.

Según 3GGP TS 36.104 la toma de mapeo de canales en los dominios de tiempo y frecuencia LTE. El primer elemento que soporta el proceso de mapeo es el Resource Block (RB). El RB tiene tamaño fijo y es comúnmente todo el ancho de banda del canal/FFT.

En el dominio del tiempo el RB es un solo slot (7x66.67 μ s símbolos). En el dominio de la frecuencia son 12x15 KHz subportadoras como se muestra en la ilustración 2.10. Un símbolo y una subportadoras son conocidos como un resource element como se muestra en la ilustración 2.10.

RB ocupa 12x15 KHz=180KHz de ancho de banda. En 5MHz de canal de radio estarán 300 RB ocupando 4.5 MHz de espectro. El número de FFTs requerido para el proceso es 512, asumiendo el tamaño de subportadoras de 15 KHz, 512 KHz x 15KHz=7,68 MHz. 7.68 MHz es el espacio ocupado por 512 puntos FFT y no es transmitido en el ancho de banda.

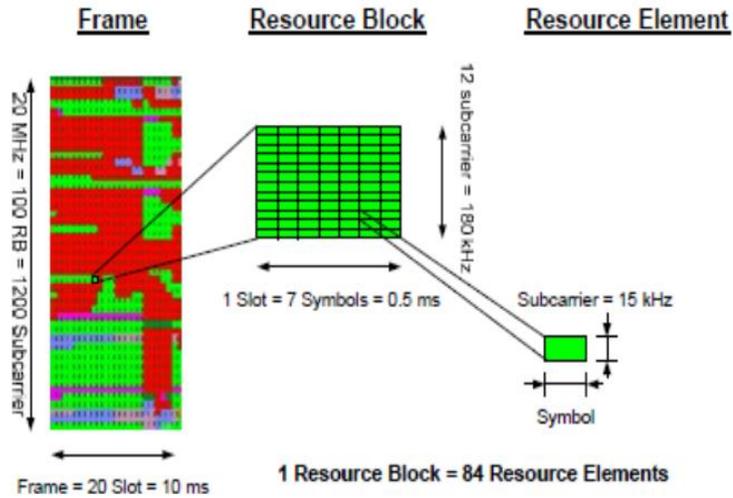


Ilustración 2.10 Resource Block y Resource Element

Fuente 3GPP TS 36.104

5.3 Multiplexación y ancho de banda (BW).

Según (kanwar, 2012) LTE soporta ambos tipos de Multiplexación FDD así como también TDD.

El espectro FDD es también llamado espectro emparejado lo que significa que cuando decimos 20 Mhz FDD, tiene 20 Mhz de ancho de banda emparejado. Ejemplo 20 Mhz en Downlink y 20 Mhz para UpLink.

El espectro TDD es también llamado no emparejado significa que cuando decimos 20 Mhz, que tiene solo 20 Mhz que es usado para ambos tanto para Downlink y UpLink como se muestra en la ilustración 2.11.

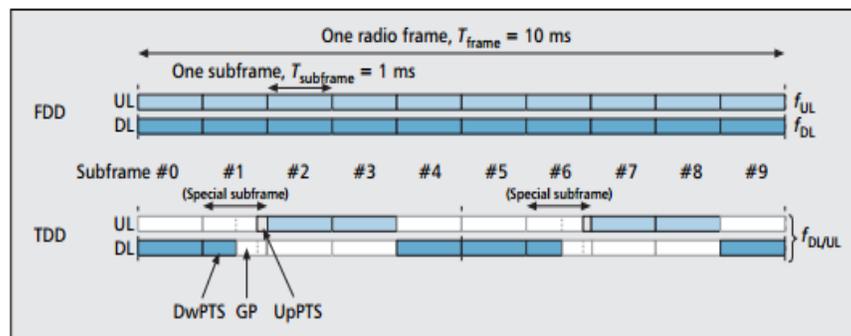


Ilustración 2.11. Multiplexación FDD y TDD.

Fuente Throughput Calculation for FDD and TDD systems

5.4 Modulación y velocidad de codificación.

Según el reléase 8 la modulación de soporte LTE como QPSK, 16 QAM y 64 QAM en Downlink y QPSK. 16 QAM en el UpLink.

Cada modulación tiene sus bits de capacidad de carga por símbolo.

Un símbolo QPSK puede portar 2 bits, un símbolo de 16 QAM poder portar 4 bits y un símbolo 64 QAM puede portar 6 bits, como se muestran en la ilustración 2.12.

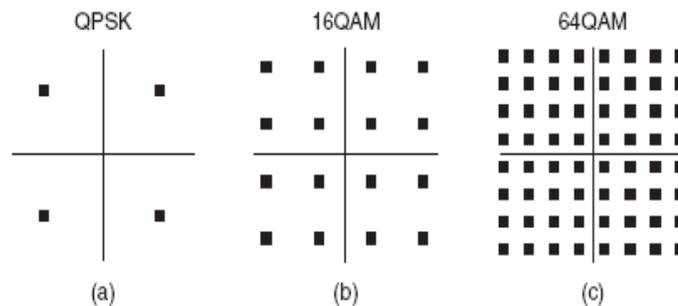


Ilustración 2.12 Diagrama de Constelación

Fuente Throughput Calculation for FDD and TDD systems

A lo largo de la modulación hay un término llamado Coding Rate. Coding Rate describe la eficiencia y del esquema particular de modulación. Por ejemplo si decimos 16 QAM con coding rate de 0.5, esta modulación significa que el 50% es eficiente, como 16 QAM puede portar 4 bits pero con coding rate de 0.5. Puede portar 2 bits de información y restarle 2 bits para redundancia de información.

LTE usa diferentes coding rate, con QPSK, 16 QAM y 64 QAM. La combinación de Modulación y Coding Rate Modulation Coding Scheme (MCS). Como se muestra en la tabla 2.1 de la MCS índice (index) y modulation order que describe el tipo de modulación (2 para QPSK, 4 para 16 QAM y 6 para 64 QAM). LTE soporta 0 a 28 MCS en el Downlink y 0 a 22 MCS en el UpLink como menciona el reléase 8.

Tabla 2.1. Index MSC Modulation Order

MCS Index IMCS	Orden de Modulación Qm	TBS Index Itbs
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	2	Reserved
30	4	
31	6	

Fuente 3GPP TS 36.213

5.5 Categorías de UE en LTE.

La categoría de UE especifica la habilidad de los dispositivos en términos de Throughputs DL/UP, Soporte de antena en DL/UP, el tamaño admitido de TBS en el DL/UP y soporte de modulación.

La tabla 2.2 muestra las 8 categorías de UE, existiendo 1-5 categorías para el reléase 8 y 9 y 6-8 categorías de UE son para el reléase 10 de LTE-Advance.

Los UE comerciales que tenemos ahora son comúnmente Categoría 3 (Cat 3) que tiene 2 receive chains y 1 transmit chains como se muestra en la tabla 2.2. UEs Cat 3 no soportan 64 QAM en el UpLink.

El tamaño máximo TB soportado en Downlink es 75376 bits y en el UpLink es 51024 bits. Este tamaño límite de TB el throughput mientras que el extremo UE no tiene tal limitación en el lado del eNodeB.

Tabla 2.2.Categorías para UE.

Description	5MHz	10MHz	20MHz
Maximum resource blocks	DL 25 UL 20	DL 50 UL 45	DL 100 UL 95
Maximum data rate with Category 4 UE	DL 36.7Mbps UL 10.7Mbps	DL 73.4Mbps UL 19.1Mbps	DL 150.8Mbps UL 40.6Mbps
Maximum data rate with Category 3 UE	DL 36.7Mbps UL 10.7Mbps	DL 73.4Mbps UL 19.1Mbps	DL 102.0Mbps UL 40.6Mbps
Maximum data rate with Category 2 UE	DL 36.7Mbps UL 10.7Mbps	DL 51.0Mbps UL 19.1Mbps	DL 51.0Mbps UL 25.5Mbps

Fuente TS 36.306

5.6 Máximo Throughput con máximo Ancho de Banda.

Según (kanwar, 2012) cualquier sistema el throughput es calculado como símbolos por segundo.

En LTE para 20 MHz, son 100 Resource Blocks y cada Resource Block tiene $12 \times 7 \times 2 = 168$ Símbolos por ms en el caso Normal CP.

También son 16800 símbolos por ms o 16800000 símbolos por segundo o 16.8 Msp. Si es usada la modulación de 64 QAM (6 bits por símbolo) entonces el throughput será $16,8 \times 6 = 100,8$ Mbps para un solo chain.

Para un sistema LTE 4x4 MIMO (4T4R) el throughput será cuatro veces de un solo chain throughput (403.2 Mbps). Muchas simulaciones y estudios muestran

que hay un 25 % de overhead usado para señalización y control. Por lo que el efectivo throughput será 300 Mbps.

Los 300Mbps en el Downlink y no es válido para UpLink. En UpLink tenemos que transmitir un chain al UE final. Así que con 20 MHz podemos obtener un máximo de 100.8 Mbps como calculamos en el párrafo anterior. Considerando después el 25 % de overhead obtenemos 75Mbps en UpLink.

Esta es la manera de cómo obtener un throughput de 300Mbps para Downlink y 75 Mbps para UpLink mostrado en todas partes.

5.7 Uso de la especificación 3GPP TS 36.213 para Calculo de Throughput.

En la especificación 3GPP TS 36.213 “E-UTRA Physical Layer”, muestra la tabla 3 el mapeo entre MCS (Modulation and Coding Scheme) index y TBS (Transport Block Size) index. El más alto MCS index 28 (64 QAM con el menor de codificación). Que es mapeado a TBS index 26 como muestra la tabla 2.1.

En la tabla 2.3 muestra el tamaño de transporte de bloque (TBS). Esta tabla indica el número de bits que pueden ser transmitidos en un subframe /TTI (Transmit Time Interval), Bandwidth (número de RBs). El TBS indicado en esta tabla es considerado después el control de overhead.

Usando estas dos tablas el número de bits puede ser calculado, con la combinación de Index MCS y el Número de Resource Block.

Por ejemplo.

Con 100 RBs y index MCS de 26. El TBS es 75376. Asume 4x4 MIMO, la velocidad pico será $75376 \times 4 = 301.4 \text{ Mbps}$.

Tabla 2.3. Transport Block Size (TBS)

I_{TBS}	N_{PRB}									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0	1128	1160	1192	1224	1256	1256	1288	1320	1352	1384
1	1480	1544	1544	1608	1608	1672	1736	1736	1800	1800
2	1800	1864	1928	1992	2024	2088	2088	2152	2216	2216
3	2408	2472	2536	2536	2600	2664	2728	2792	2856	2856
4	2984	2984	3112	3112	3240	3240	3368	3496	3496	3624
5	3624	3752	3752	3880	4008	4008	4136	4264	4392	4392
6	4264	4392	4584	4584	4776	4776	4968	4968	5160	5160
7	4968	5160	5352	5352	5544	5736	5736	5992	5992	6200
8	5736	5992	5992	6200	6200	6456	6456	6712	6968	6968
9	6456	6712	6712	6968	6968	7224	7480	7480	7736	7992
10	7224	7480	7480	7736	7992	7992	8248	8504	8504	8760
11	8248	8504	8760	8760	9144	9144	9528	9528	9912	9912
12	9528	9528	9912	9912	10296	10680	10680	11064	11064	11448
13	10680	10680	11064	11448	11448	11832	12216	12216	12576	12960
14	11832	12216	12216	12576	12960	12960	13536	13536	14112	14112
15	12576	12960	12960	13536	13536	14112	14688	14688	15264	15264
16	13536	13536	14112	14112	14688	14688	15264	15840	15840	16416
17	14688	15264	15264	15840	16416	16416	16992	17568	17568	18336
18	16416	16416	16992	17568	17568	18336	18336	19080	19080	19848
19	17568	18336	18336	19080	19080	19848	20616	20616	21384	21384
20	19080	19848	19848	20616	20616	21384	22152	22152	22920	22920
21	20616	21384	21384	22152	22920	22920	23688	24496	24496	25456
22	22152	22920	22920	23688	24496	24496	25456	25456	26416	27376
23	23688	24496	24496	25456	25456	26416	27376	27376	28336	28336
24	25456	25456	26416	26416	27376	28336	28336	29296	29296	30576
25	26416	26416	27376	28336	28336	29296	29296	30576	31704	31704
26	30576	30576	31704	32856	32856	34008	35160	35160	36696	36696

I_{TBS}	N_{PRB}									
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
0	2536	2536	2600	2600	2664	2664	2728	2728	2728	2792
1	3368	3368	3368	3496	3496	3496	3496	3624	3624	3624
2	4136	4136	4136	4264	4264	4264	4392	4392	4392	4584
3	5352	5352	5352	5544	5544	5544	5736	5736	5736	5736
4	6456	6456	6712	6712	6712	6968	6968	6968	7224	7224
5	7992	7992	8248	8248	8248	8504	8504	8760	8760	8760
6	9528	9528	9528	9912	9912	9912	10296	10296	10296	10296
7	11064	11448	11448	11448	11448	11832	11832	11832	12216	12216
8	12576	12960	12960	12960	13536	13536	13536	13536	14112	14112
9	14112	14688	14688	14688	15264	15264	15264	15264	15840	15840
10	15840	16416	16416	16416	16992	16992	16992	16992	17568	17568
11	18336	18336	19080	19080	19080	19080	19848	19848	19848	19848
12	20616	21384	21384	21384	21384	22152	22152	22152	22920	22920
13	23688	23688	23688	24496	24496	24496	25456	25456	25456	25456
14	26416	26416	26416	27376	27376	27376	28336	28336	28336	28336
15	28336	28336	28336	29296	29296	29296	29296	30576	30576	30576

Fuente 3GPP TS 36.213

5.8 LTE FDD and its Frame Structure.

Según (Djanatliev, 2010), El espectro de TDD es no pareado, tenemos usar diferentes anchos de banda para DL y UL en tiempos compartidos. Suponiendo si tenemos 20 MHz de espectro, tenemos que usar 20 MHz de ancho de banda en DL, UL.

Subframe especial tiene 9 configuraciones diferentes, un Subframe especial dividido en DwPTS, GP, UpPTS dependiendo el número de símbolos como muestra la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Configuración Especial del Subframe.

Special subframe configuration	Extended cyclic prefix length in OFDM symbols			Normal cyclic prefix length in OFDM symbols		
	DwPTS	GP	UpPTS	DwPTS	GP	UpPTS
0	3	8	1	3	10	1
1	8	3		9	4	
2	9	2		10	3	
3	10	1		11	2	
4	3	7	2	12	1	2
5	8	2		3	9	
6	9	1		9	3	
7	-	-		10	2	
8	-	-	-	11	1	

Fuente LTE TDD Technology.

5.9) Circuit Switched Fall Back.

Es una opción estandarizada por el 3GPP para uso en redes LTE. Permite realizar llamadas de voz en LTE regresen al dominio de conmutación de circuitos de los sistemas 2G, 3G, según comenta el autor (Sharawi, 2013), lo que facilita este cambio es una interfaz denominada SGs que une el MME de LTE con el MSC de la red 2G o 3G, siendo esa interfaz la que los sistemas se comunican y comparten mensajes de señalización.

- **Modelos de Radio Propagación:**

1) Modelo Okumura

Para el autor (Rizwan, 2011), el Modelo Okumura es uno de los más comúnmente usados. Casi todo el modelo de propagación ha mejorado de forma de modelo Okumura. Esto puede ser usado para frecuencias arriba de 3000MHz. La distancia entre el transmisor y el receptor puede ser alrededor de 100km mientras la altura del receptor puede ser de 3m a 10 m. la pérdida de trayectoria en el modelo Okumura puede ser calculado como:

$$Pl(dB) = Lf + Amn(f,d) - G(ht) - G(hr) - Garea$$

Aquí L_f es el espacio libre de pérdida de trayectoria y es calculado por la siguiente expresión:

$$L_f = -20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)$$

Mientras $G(h_b)$ y $G(h_r)$ son factor de ganancia de antena BS y factor de ganancia recibida respectivamente. Sus fórmulas son las siguientes:

$$G(h_b) = 20 \log\left(\frac{h_0}{200}\right)$$

$$G(h_r) = 10 \log\left(\frac{h_r}{3}\right)$$

Donde h_b y h_r son alturas de las estaciones base y receptoras respectivamente. $A_{m,n}(f,d)$ son llamadas como factor de atenuación media. Diferentemente las curvas del factor de atenuación media son usadas dependiendo en la frecuencia y en la distancia del transmisor y receptor. La ganancia G_{area} depende del área usada y es graficada con el factor de atenuación media.

- **Principales key Performance Indicators**

Según (Heidary & Ahmed, 2015), la planificación del desenlace de acceso radio existe un gran número de parámetros utilizados para obtener buena red apropiada en términos de cobertura, calidad de servicio, capacidad, costo, utilización de frecuencias, despliegue de equipos, y el rendimiento.

En una red celular cuando un móvil se desplaza de una celda a otra celda se lleva a cabo la selección/re-selección y handover dependiendo de la medición de fuerza/calidad de la señal de las celdas vecinas.

En la red LTE, un equipo de usuario (UE) mide dos parámetros en señal de referencia (RS): RSRP (Reference Signal Received Power) y RSRQ (Reference Signal Received Quality).

1) KPI para 4G.

Según (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011), menciona los siguientes KPIs para LTE.

✓ **RSSI (Received Signal Strength Indicator):** El portador RSSI mide el promedio total de potencia recibida observado solo en símbolos OFDM que contiene símbolos de referencia en el puerto 0 de la antena (OFDM symbol 0 & 4 in a slot) en la medición de ancho de banda sobre N Resource blocks.

Según los autores (Heidary & Ahmed, 2015) menciona que total de potencia recibida de la portadora RSSI incluye la potencia desde co-channel serving y non-serving cells, interferencia de canal adyacente, ruido termino, etc. Totales medidos más de 12 subportadoras incluyendo RS desde Serving Cell, Traffic in the Serving Cells.

- **RSSI**= wideband power = noise+ serving cell power + interference power.
- **RSSI** = $12*N*RSRP$
- **RSSI** por resource block es medido durante 12 resource elements.
- **N**: número de RBs a través de los RSSI se mide y depende de la BW basado en lo anterior:
- **RSRP (dBm) = RSSI (dBm) - $10*\log(12*N)$**

✓ **Reference Signal Received Power (RSRP).**

RSRP en la más básica medición de los UE (equipos de usuario) en la capa física y es la potencia promedio lineal (en watts) de la señal de referencia en el Downlink (RS) a través del ancho de banda del canal para los Resource elements que lleva la Señal de Referencia a la celda específica. El conocimiento absoluto proporciona al RSRP al equipo de usuario (UE) con información esencial acerca de fuerza de la celda de las que la pérdida de trayectoria puede ser calculada y usada en los algoritmos para determinar la configuración potencia óptima para la operación de red. Potencia recibida de señal de referencia es utilizada en modo inactivo y activo.

- **RSRP (dBm) = RSSI (dBm) - $10*\log(12*N)$**

Where RSSI = Received Signal Strength indicator

N: número de RBs a través de los RSSI es medido y depende del BW.

- **Range:** -44 a - 140 dBm.

Según RSRP mapping 3GPP TS 136.133 V10.1.0 (2011-01) muestra los valores en la Tabla 2.5 y los rangos como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.5.Mapas de RSRP (dBm)

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRP_00	RSRP < -140	dBm
RSRP_01	-140 ≤ RSRP < -139	dBm
RSRP_02	-139 ≤ RSRP < -138	dBm
...
RSRP_95	-46 ≤ RSRP < -45	dBm
RSRP_96	-45 ≤ RSRP < -44	dBm
RSRP_97	-44 ≤ RSRP	dBm

Fuente: (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011)

Tabla 2.6.Serving RSRP (dBm)

Muy Malo	-140 a -100
Malo	-100 a -90
Promedio	-90 a -80
Bueno	-80 a -75
Excelente	-75

Fuente: (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011)

✓ **Reference Signal Received Quality (RSRQ):**

Proporciona el indicador de calidad de señal. La medición de RSRQ se hace particularmente importante en el borde de la celda cuando las decisiones tienen que ser tomadas independientemente de RSRP absoluto, en el rendimiento al handover en la siguiente celda. Calidad Recibida de Señal de Referencia es usada solo durante el estado de conexión. También es la relación entre la señal y la interferencia. Se considera la interferencia de todas las fuentes (celda servidor más celdas vecinas) y del ruido.

- $RSRQ = RSRP / (RSSI/N)$

N es el número de RB sobre el cual se mide el RSSI.

- RSSI es la energía de ancho de banda, incluyendo potencia intra cell power, interferencia y ruido.

Según (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011) muestra los valores en la tabla 2.7 y clasificados de acuerdo como muestra la tabla 2.8.

Tabla 2.7.RSRQ Mapping

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRQ_00	$RSRQ < -19.5$	dB
RSRQ_01	$-19.5 \leq RSRQ < -19$	dB
RSRQ_02	$-19 \leq RSRQ < -18.5$	dB
...
RSRQ_32	$-4 \leq RSRQ < -3.5$	dB
RSRQ_33	$-3.5 \leq RSRQ < -3$	dB
RSRQ_34	$-3 \leq RSRQ$	dB

Fuente: (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011)

Tabla 2.8.Serving RSRQ (dBm)

Malo	< -12
Justo	-12 a -7
Bueno	-7 a -3

Fuente: (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011)

- Tasa de Datos: Es la tasa de velocidad de acceso para LTE teóricamente se puede llegar a 100 Mbps y con el uso de MIMO hasta 200 Mbps.
- RS SNIR (Reference Signal-Signal to Noise plus Interference Ratio): Es la relación de potencia entre la señal de referencia y la interferencia de los vecinos más el ruido. Es una forma de medir la calidad de las conexiones inalámbricas LTE. A medida que la energía de la señal se desvanece con la distancia es decir el path loss debido a parámetros ambientales tales como el ruido de fondo,

interferencia de fuerzas de otras fuentes simultaneas de transmisión como se muestra en la tabla 2.9.

- $SINR = S / (I + N)$

S= Potencia de señal recibida promedio

I= Potencia de interferencia promedio

N= Potencia de ruido.

Tabla 2.9. Condiciones Radio para mediciones SINR

SIRN (db)	Condiciones Radio
0... 5	Pobre
5... 15	Promedio
15...25	Bueno
>25	Excelente

Fuente: (ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01), 2011)

✓ **UE Tx Power:** Es el nivel de potencia de transmisión que emite el móvil. Un alto valor afecta a la batería del móvil; es por ello que un rango menor a 0 dBm es aceptable.

✓ **Physical Cell ID (PCI):** El mismo PCI debe evitarse en el mismo sitio y como vecinos, PCI con valores en conflicto k debe evitarse en el mismo sitio y como vecinos, PCI con valores de m0 y m1 en conflicto debe ser evitado en el mismo sitio y como vecinos.

No hay una respuesta definitiva para esto, sin embargo, en términos sencillos cualquiera de los vecinos PCI se considera como la contaminación si no es deseable, mala configuración, mala planificación, etc. Harish vadada, (2010)

- **Drive Testing**

Según (JDSU, 2012), menciona que el Drive Test y Propagation Prediction Software son los dos métodos que se utilizan para comprobar el área de cobertura de un sistema radio particular. Generalmente el software de predicción es usado en la conjunción con las mediciones de señal radio en orden a determinar una imagen precisa de propagación de la señal. En algunos casos, pueden ser

necesarias las medidas de campo a tomar con el fin de calibrar el software de predicción.

Es una técnica que se utiliza para la verificación e identificar cualquier problema de cobertura y calidad para optimizar el rendimiento de la red LTE. Con la finalidad de resolver los problemas reportados por los usuarios debido a caídas de llamadas en distintas zonas, también para cumplir con las normativas técnicas y de salud y especificaciones dadas por los entes regulatorios.

1) Tipos de Drive Test

Según (Huawei Technologies CO., LTD, 2014), La calidad de la red celular, es especificada por la Calidad de Experiencia QoE al usuario en la red. Para determinar los distintos parámetros de la red, se hace uso de las siguientes tres clases de Drive Test.

1.2) Scanning.

El Scanning es el Drive Test más simple y consiste en la medición del nivel de potencia de las portadoras que atienden a un sector o sectores. Con este tipo de medición se utiliza para determinar las zonas donde se presenta interferencia co-canal e interferencia de canal adyacente. El Scanning se puede desarrollar a cualquier hora del día, por lo que no afecta el tráfico que generan los usuarios en la zona.

1.2) Drive Test Simple.

El Drive Test simple consiste en la verificación de los indicadores de desempeño de la red celular. También se requiere de un teléfono móvil que genere llamadas automáticamente a otro destino, por lo general una línea fija, para que los valores capturados no se vean afectados por un mal desempeño de la región de la red donde, se encuentra el destinatario

2.3. Definición de Términos

4G	Telefonía móvil de 4 generación
LTE	Siglas para la tecnología 4G.
EUTRAN	Conjunto de estaciones base LTE
RF	Parte del espectro para radio
RSRP	Potencia promedio lineal.

RSRQ	Indicador de calidad de señal
SINR	Señal de referencia e interferencia
TIC	Conjunto de tecnologías desarrolladas
Uu	Interfaz aire en LTE
ENodeB	Estación base en LTE
Throughput	Volumen de tráfico que pasa por un sistema de red.
RAN	Es el área radio de 2G, 3G, 4G.
UE	Equipo móvil celular
Downlink	Enlace de bajada
Path loss	Perdida de señal
INDOOR	Área interna
OUTDOOR	Área externa
RS	Señal de referencia en LTE
RB	Conjunto de información en LTE
OFDMA	Modulación para enlace de bajada
SC-FDMA	Modulación para enlace de subida
EPC	Arquitectura del núcleo LTE
MME	Controla el plano de control LTE
GSM	Sistema de comunicación 2G
UMTS	Sistema de comunicación 3G
S-GW	Controla el plano de usuario LTE
X2	Interfaz entre eNodeB's
FDD	Técnica para modulación en LTE
TDD	Técnica para modulación en LTE
Nrx	Nivel de señal recibida

CAPÍTULO III
MATERIALES Y
PROCEDIMIENTOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

La población está dada por los niveles de señal LTE Outdoor y la velocidad de descarga ubicada en el campus UPAO-Trujillo.

3.1.2. Muestra

Se utilizara una muestra discreta de 200 puntos de mediciones, ya que no existe un número finito de mediciones que determine nuestra muestra.

3.2. Método

3.2.1. Nivel de Investigación

El presente proyecto se basa en una investigación de tipo descriptiva en donde se realizan mediciones de características de un hecho.

3.2.2. Diseño de Investigación

El presente estudio se basa en una investigación descriptiva correlacional simple en donde los datos obtenidos son de la realidad estudiada, mediante mediciones de campo por lo tanto no presentaran modificación alguna en cuanto a sus valores i/o variables.

Para la metodología, se empleará la siguiente ilustración 19:

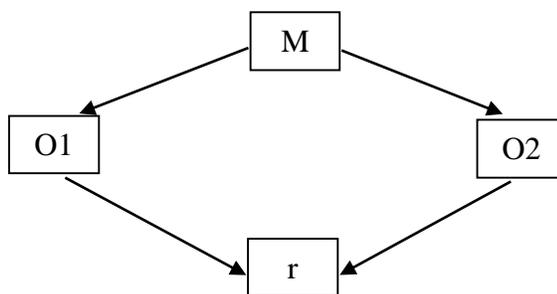


Ilustración 3.1. Descriptiva Correlacional

Fuente. Elaboración Propia.

3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización

3.2.3.1 Variables de Estudio

a. Variable Independiente.

-Niveles de señal LTE Outdoor.

✓ Definición Conceptual.

Son potencias medibles que el receptor del teléfono móvil percibe en el campus UPAO-Trujillo.

➤ Definición Operacional.

Conforme sea la intensidad de señal se miden valores de RSRP como: Bueno, Regular, Malo.

b. Variable Independiente.

-Velocidad de descarga.

➤ Definición conceptual.

Es la cantidad de bps que recibe el receptor en un determinado periodo de tiempo.

➤ Definición Operacional.

Conforme sea la tasa de transferencia, aumentara en bueno, regular y deficiente.

c. Variable Dependiente.

- Correlación entre la velocidad de descarga y nivel de señal.

➤ Definición Conceptual.

Es el resultado estadístico que nos permite evidenciar el grado de relación entre dos variables.

➤ Definición Operacional.

Cumple funciones tales como muestra la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Correlación

$r = -1$	Existe correlación inversa directa
$-1 < r < 0$	Correlación inversa.
$r = 0$	No hay correlación
$0 < r < 1$	Correlación directa
$r = 1$	Correlación directa perfecta.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3.2 Operacionalización:

1) Operacionalización de la Variable Independiente

Tabla 3.2.Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD de MEDIDA	INSTRUMENTO
Niveles de Señal Recibida	Intensidad de señal	Nivel de RSRP en Outdoor Modo descarga Bueno.	dBm	Reporte de la medición
		Nivel de RSRP en Outdoor Modo descarga Regular.	dBm	
		Nivel de RSRP en Outdoor Modo descarga Deficiente.	dBm	

Fuente: Elaboración Propia.

2) Operacionalización de la variable Independiente.

Tabla 3.3.Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSION	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Velocidades de Descarga	Tasa de Transferencia	Bueno	Kbps	Reporte de la medición
		Regular	Kbps	
		Deficiente	Kbps	

Fuente: Elaboración Propia.

B) Operacionalización de la Variable Dependiente.

Tabla 3.4.Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Correlación entre la velocidad de descarga y nivel de señal	Coefficiente de correlación	% de correlación	Adimensional	Pruebas estadísticas

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Entre las técnicas de recolección de información se pueden mencionar:

- **Reportes de recolección de datos en Drive Test en el interior del Campus UPAO.**

Para la recolección de datos mediante drive test, es necesario contar con un celular Smartphone con sistema operativo Android y con tecnología 4G LTE que permita instalar las aplicaciones Network Info Cell Y G-Nettrack Pro.

Tal como se muestra en las ilustraciones 3.2 y 3.3, la aplicación Network Info Cell permite ubicar los ENodoB (estaciones celulares) que brindan cobertura al Campus UPAO – Trujillo, en tanto que la aplicación G-Nettrack Pro permite realizar el drive test para obtener información de la red del operador local.

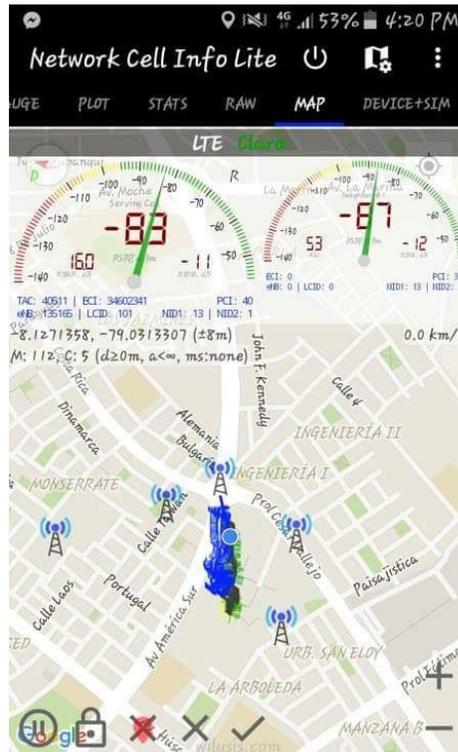


Ilustración 3.2. Aplicación Network Info Cell

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 3.2 muestra a una captura de pantalla de la aplicación que permite visualizar: La ubicación de los eNodeB según el área de cobertura, la tecnología y la potencia de la celda vecina RSRP.

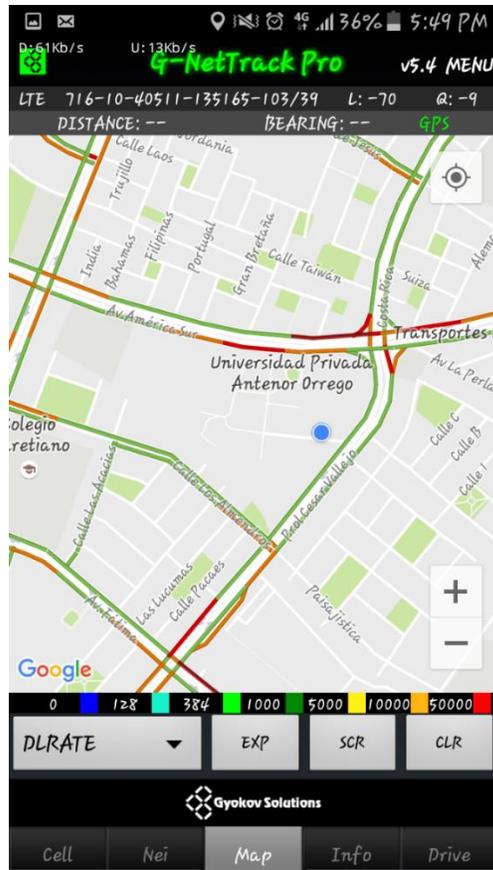


Ilustración 3.3. Aplicación G-NETTRACK PRO

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 3.3, muestra a una captura de pantalla de la aplicación, que permite visualizar el recorrido, el nivel de descarga (mediante rangos y colores), y el eNodeB al que nos conectamos con su respectiva celda (CellID).

- Reportes de ubicación de eNodeB's circundantes al campus UPAO Trujillo.

La ubicación de los eNodeB del Operador local alrededor del Campus UPAO-Trujillo, se realizó mediante un trabajo de campo con el uso de la aplicación Network Info Cell que nos permite ver la ubicación sites (eNodeB). Además nos permite la identificación de sus sectores de los sites que brindan cobertura al Campus UPAO tal como se muestra en la siguiente ilustración 3.4.



Ilustración 3.4. Ubicación y Sectorización de eNodeB

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la ilustración 3.4, Se identificó 6 sites (eNodeB) alrededor del Campus UPAO-Trujillo que brindan cobertura 4G LTE como son: Jordania-Iglesia (135113), Ovalo_larco (135242), Taiwán (135181), Costa-Rica (135161, Prolongación-Vallejo (135165) y San Eloy-Almendros (135243). Los eNodeB se encuentran ubicados como muestra la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Ubicación de los eNodeB (sites)

eNodeB	CellID	Latitud	Longitud	Ubicación
Ovalo-Larco	135242	8° 7'32.09"S	79° 2'13.49"O	Sta. Úrsula Lt 13-AV. América Sur
SanEloy-Almendros	135243	8° 7'45.86"S	79° 1'59.11"O	Calle Los abedules Lt. 20 - La Arboleda
Prolongación-Vallejo	135165	8° 7'43.97"S	79° 1'52.04"O	Lote 21 mz. E urb. ingeniera fundo Monserrate sector N° 2
Costa-Rica	135165	8° 7'35.49"S	79° 1'49.54"O	Av. América Sur/ Costa Rica
Taiwán	135181	8° 7'31.91"S	79° 1'53.62"O	mz.r, lt.03 urb. Monserrate
Iglesia-Jordania	135113	8° 7'23.88"S	79° 1'58.89"O	Parroquia Nuestra Sra de Monserrate-Trujillo

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 3.5, muestra la latitud y longitud de los eNodeB's, de los cuales el site Prolongación-Vallejo se encuentra más cerca del Campus UPAO-Trujillo. Para la identificación de los sectores se realizó un recorrido alrededor de los eNodeB's como muestra la tabla 3.5, tal y como nos muestra la ilustración 3.4.

Tabla 3.6. Sectorización de eNodeB's

ID-eNodeB	SECTORES	COLOR
125242-Ovalo_Larco	101	Amarillo
	102	Verde
	103	Celeste
135243- SanEloy-Almendros	102	Verde
	103	Celeste
135181-Taiwán	102	Verde
135165-Costa-Rica	101	Amarillo
135165-Prolongacion-Vallejo	103	Celeste
135113-Jordania-Iglesia	102	Verde

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 3.6, detalla a los sectores identificados por eNodeB; algunos eNodeB's solamente cuentan con un sector, como se muestra en la tabla.

- Reportes de la medición de velocidad de descarga LTE en el campus UPAO-Trujillo.

Mediante la aplicación G-Nettrack Pro configurada para realizar la prueba de drive test en modo Download (DL bitrate), se realizó el recorrido en el Campus UPAO como muestra la ilustración 3.5.



Ilustración 3.6 .Registro de Datos

Fuente: Aplicación G-NetTrack Pro.

En la Ilustración 3.6, la aplicación nos permite también visualizar otros parámetros tales como:

Cell: Permite la visualización de todas las celdas a las que se conecta el teléfono celular, Neighbors permite visualizar los Sites vecinos con su respectivo Cell.

Info: Permite ver información del teléfono celular como IMSI, IMEI y operador, etc.

Map: Permite visualizar el recorrido y también los puntos de observación.

Drive: Es el reporte de los parámetros de la tecnología a la que se está midiendo.

La Tabla 3.7, muestra los parámetros LTE de la red de acceso RAN así como también velocidades de subida y bajada.

De la tabla resaltamos los niveles de RSRQ que al igual que el RSRP mide la celda específica y también analiza sus métricas de señal de calidad.

La SNR mencionado en el capítulo anterior, es definido como la proporción de la señal a la suma del promedio de potencia de interferencia desde otras celdas o ruido de fondo de allí que como se muestra en la tabla los valores son muy diversos.

Tabla 3.7. Parámetros Operativos de LTE.

	eNodeB	CellID	RSRP	RSRQ	SNR	DL BITRATE	UP BITRATE
1	135165	103	-97	-13	-7	257	20
2	135113	102	-90	-12	6	1775	47
3	135243	101	-83	-11	7	1866	33
4	135242	101	-93	-15	4.2	744	38
5	135165	103	-65	-9	18	1099	201
6	135165	103	-76	-9	8	311	11
7	135165	103	-61	-10	4	2903	39
8	135181	102	-91	-14	-2.4	46	1
9	135165	101	-90	-13	2	1117	69
10	135165	103	-84	-10	-1	2073	29
11	135181	102	-95	-11	-7	120	12
12	135243	103	-83	-10	10.8	434	52
13	135165	103	-80	-10	17	171	13
14	135165	103	-55	-9	4	5230	101
15	135181	102	-100	-12	-0.4	207	9
16	135243	103	-83	-10	10.8	434	52
17	135165	103	-88	-17	6	1290	24
18	135165	103	-95	-12	1.4	11	0
19	135243	103	-73	-10	18.4	2562	48
20	135165	103	-88	-17	6	3307	94
21	135243	103	-86	-9	4	1890	83
22	135181	102	-93	-14	-6.8	80	2
100	135242	101	-90	-13	-0.4	368	7
101	135242	101	-93	-7	-4.2	866	33
102	135242	102	-88	-11	3.4	207	7
103	135165	103	-101	-12	-7	714	38
104	135165	103	-97	-13	-7	257	20
105	135113	102	-90	-12	6	1175	47
106	135243	103	-95	-12	0	1370	42
107	135165	103	-94	-16	-1	380	7
108	135181	102	-97	-17	-3.2	185	10
109	135165	103	-90	-12	4.4	70	3
110	135165	103	-90	-14	0.4	34	1
195	135242	101	-89	-10	1	1877	32
196	135242	101	-88	-14	0	305	14
197	135181	102	-90	-13	-1.6	57	2
198	135165	103	-88	-12	1	69	2
199	135242	101	-103	-14	-7.2	824	30
200	135165	103	-88	-12	8.2	92	3
201	135165	103	-69	-9	4	10047	137
202	135165	103	-87	-10	20.4	313	12
203	135181	102	-91	-13	0.6	23	1
204	135242	102	-89	-13	1.6	947	34
205	135242	101	-100	-20	-12.4	27	8
206	135165	103	-94	-13	-6	19	2
207	135242	101	-101	-13	-6	36	27
215	135165	103	-90	-10	5	1	2
216	135243	103	-85	-11	2.6	661	13
217	135243	103	-81	-10	-11.6	8417	404
218	135181	102	-91	-11	-7	120	12
219	135165	103	-76	-9	17	196	7
220	135165	103	-68	-9	-18	350	13

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra un extracto de las mediciones realizadas, los valores mostrados son puntos de observación que se utilizara para el análisis.

3.2.5. Procesamiento y Análisis de Datos

- **Clasificación de puntos de observación por estaciones y sectores.**

Una vez obtenidos los puntos de observación pasamos a exportarlos a la herramienta GOOGLE EARTH donde nos permite visualizar los respectivos valores de cada punto de observación medidos con el G-Nettrack Pro como nos muestra la ilustración 3.7.

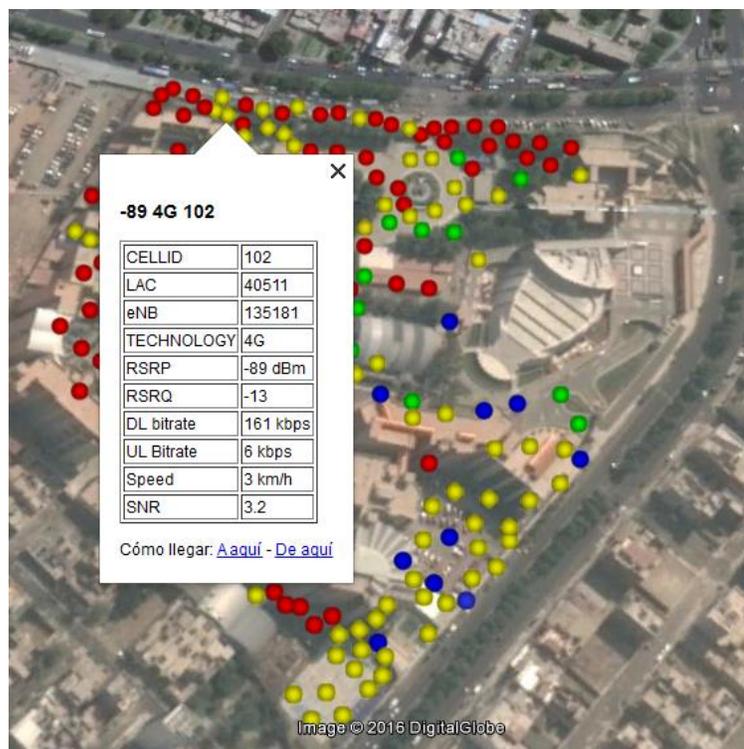


Ilustración 3.7. Valores del Reporte de Medición

Fuente Elaboración Propia.

Se muestra los puntos de todo del recorrido con la aplicación, donde están clasificados de acuerdo a: color Azul (Bueno), Verde (Regular), Rojo (Deficiente) y Amarrillo (Especiales).

En el punto de observación que muestra la ilustración 3.7, permite mostrar el sector y eNodeB que el teléfono celular se conecta, tasa de transferencia tanto para DL BitRate, UP BitRate y la velocidad a la que se realiza el drive test.

- **Identificación de número de muestras obtenidas por eNodeB.**

En la ilustración 3.8 se puede apreciar que los sites: Prolongación-Vallejo (135165), Taiwán (135181), SanEloy-Almendros (135243) y Ovalo_Larco (135242) representan la mayoría de las mediciones tomadas. Mientras que las mediciones de los sites: Jordania-Iglesia, Costa-Rica representan un % mínimo, para correlacionar se consideró descartar las muestras de los sites mencionados debido a su poca participación de cobertura en el Campus UPAO-Trujillo.

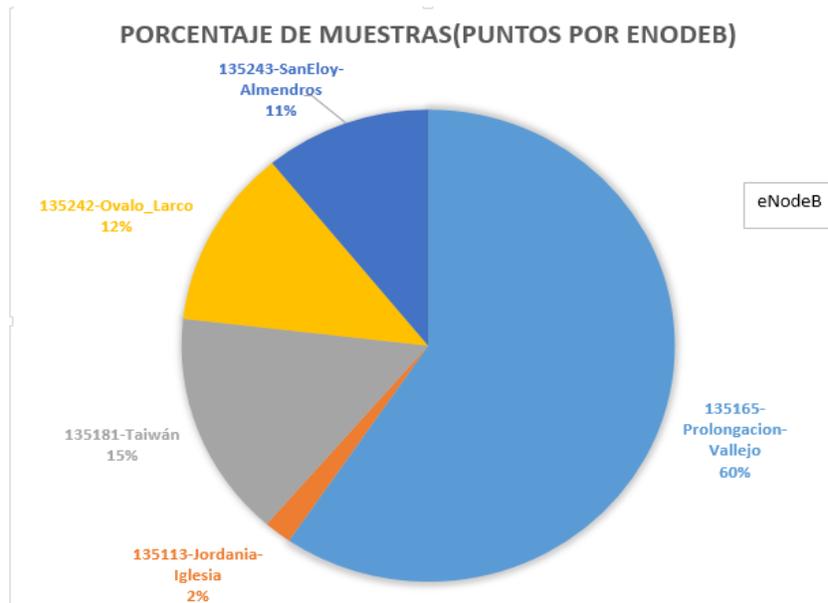


Ilustración 3.8. Porcentaje de muestras por Site (eNodeB).

Fuente elaboración Propia.

- **Fórmula para pasar a dBm.**

Se utilizó la fórmula $10 \cdot \text{LOG}_{10} (\text{Kbps} \cdot 1000)$ para pasar la velocidad de descarga a dBm.

• **Cantidad y clasificación de las muestras por eNodeB.**

A continuación la ilustración 3.9 permite observar la cantidad de muestras por eNodeB y clasificadas según 3GPP TS 136.133.

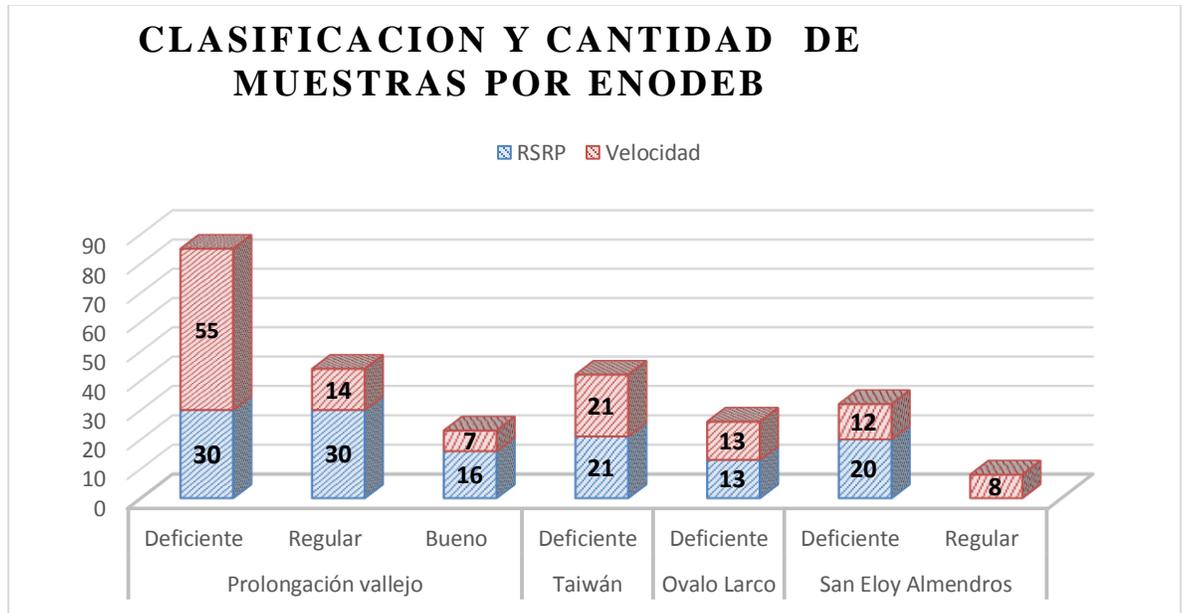


Ilustración 3.9 Clasificación y Cantidad de muestras por eNodeB.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la ilustración 3.9 los diagramas de bloques para cada eNodeB con la cantidad de muestras y clasificadas; siendo el eNodeB Prolongación Vallejo el que brinda más cobertura al Campus UPAO-Trujillo y el eNodeB Ovalo Larco el más alejado de todos.

A continuación se van a presentar los datos de acuerdo a la recopilación de información por eNodeB y se van a presentar primero los acumulados de manera total y después una clasificación echa en base a clasificaciones por medidas potencia Deficiente, regular y bueno, y también para velocidades de descarga Deficiente, Regular y Bueno, evaluando según su clasificación su porcentaje de correlación.

1.- Muestras recolectadas de manera total.

Los datos recopilados son el total de las muestras en bruto de todos los eNodeB's sin presentar alguna clasificación.

➤ **Diagrama de Distribución de mediciones totales recopiladas de manera bruta.**

La ilustración 3.10 permite visualizar el diagrama de distribución total de las muestras recolectadas en bruto de los eNodeB's.

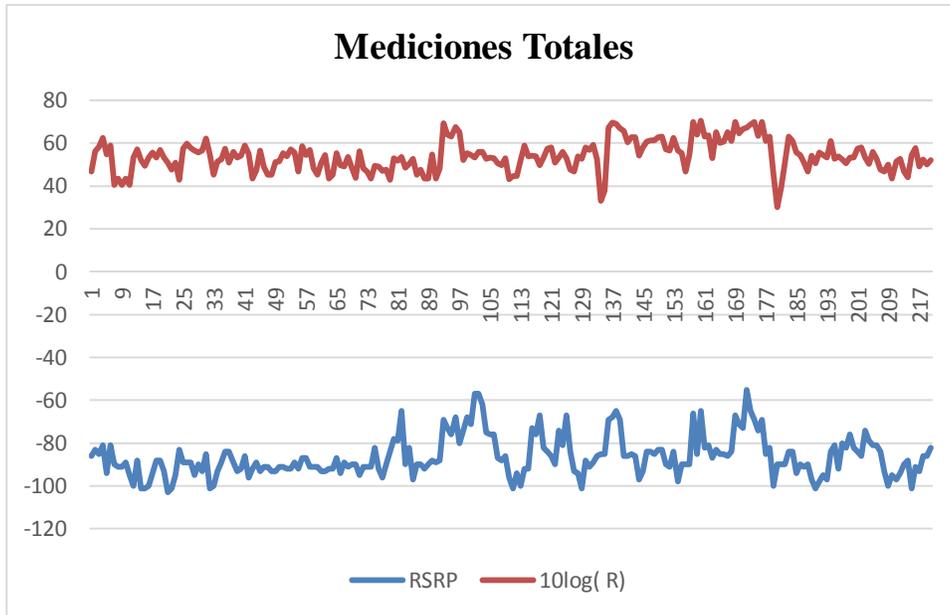


Ilustración 3.10. Mediciones Totales de todos los eNodeB

Fuente: Elaboración Propia

➤ **Diagrama de dispersión de todas las muestras recopiladas de manera bruta.**

La ilustración 3.11, permite visualizar el Coeficiente de Pearson de todas las muestras en bruto.

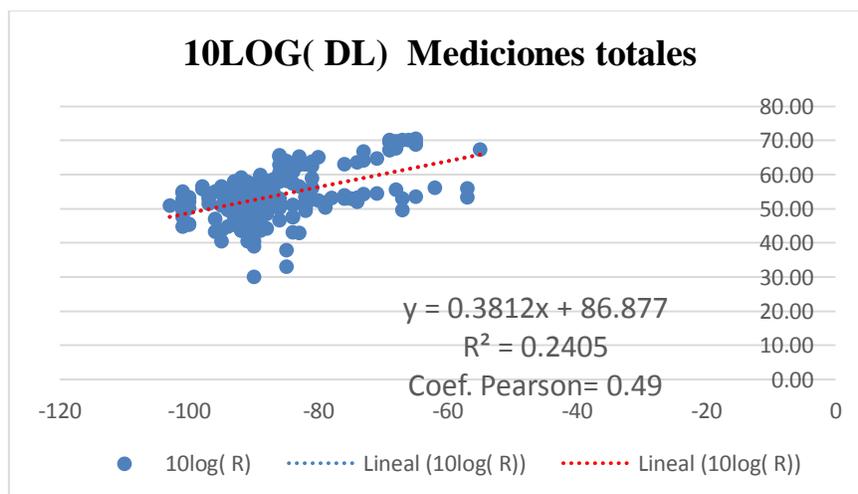


Ilustración 3.11. Diagrama de Dispersión de todos los eNodeB

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 3.11 se aprecia que el porcentaje de correlación en todas las muestras tomadas es positiva media.

A continuación, se procede a segmentar por eNodeB y también según su clasificación por niveles de potencia (RSRP) como: Deficiente, Regular y Bueno, y Velocidades de Descarga como: Deficiente, Regular y Bueno.

1.1.- eNodeB (135165)-Prolongación Vallejo.

Las muestras recolectadas del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.

➤ Diagrama de Distribución para las mediciones del eNodeB Prolongación Vallejo.

En la presente ilustración 3.12, se muestra el diagrama de distribución de las mediciones recolectadas solo del eNodeB Prolongación vallejo en bruto.

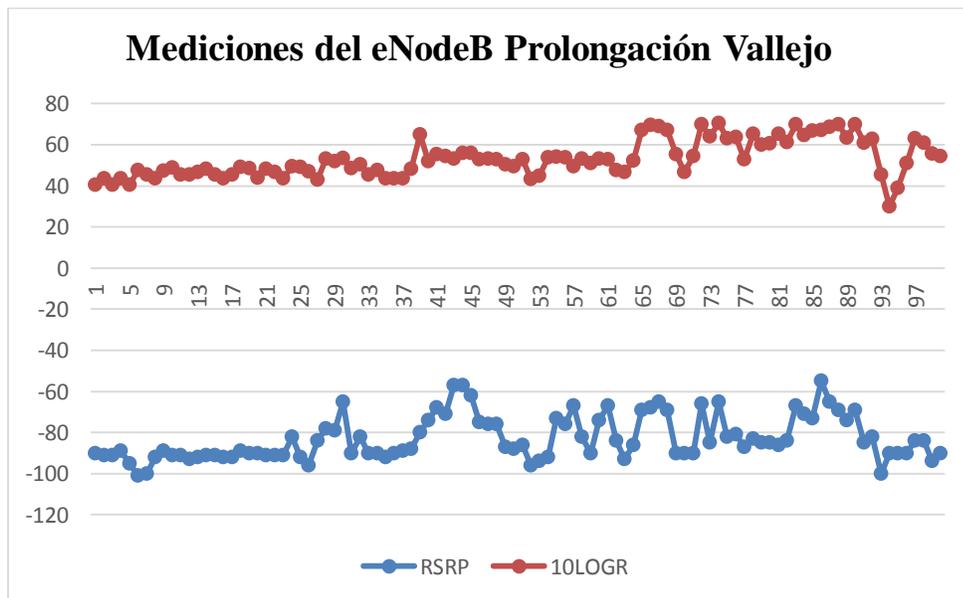


Ilustración 3.12. Diagrama de Distribución eNodeB Prolongación Vallejo

Fuente: Elaboración Propia

La ilustración 3.12 muestra los puntos de observación distribuidos en el diagrama.

➤ **Diagrama de Dispersión para el eNodeB 135165 Prolongación Vallejo**

En la ilustración 3.13, se aprecia que el porcentaje de correlación de todas las muestras del eNodeB Prolongación Vallejo aumenta en comparación al porcentaje de correlación de las mediciones totales.

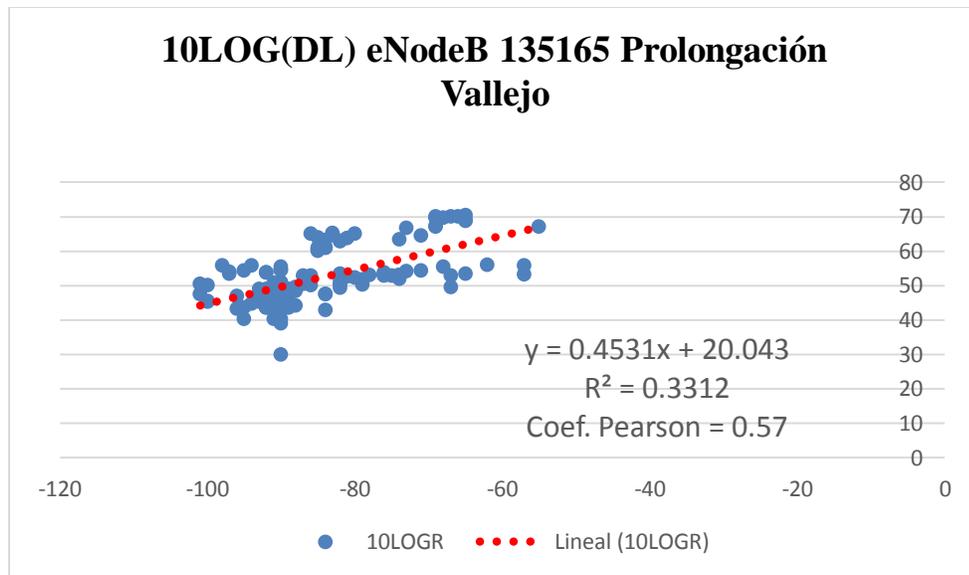


Ilustración 3.13. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Prolongación Vallejo según su clasificación y se iniciara a clasificar los niveles de potencia (RSRP) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.1.1.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-RSRP (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficientes del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.1.

➤ **Diagrama de Dispersión para RSRP en Prolongación Vallejo (Deficiente)**

En la ilustración 3.14 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas como Deficiente.

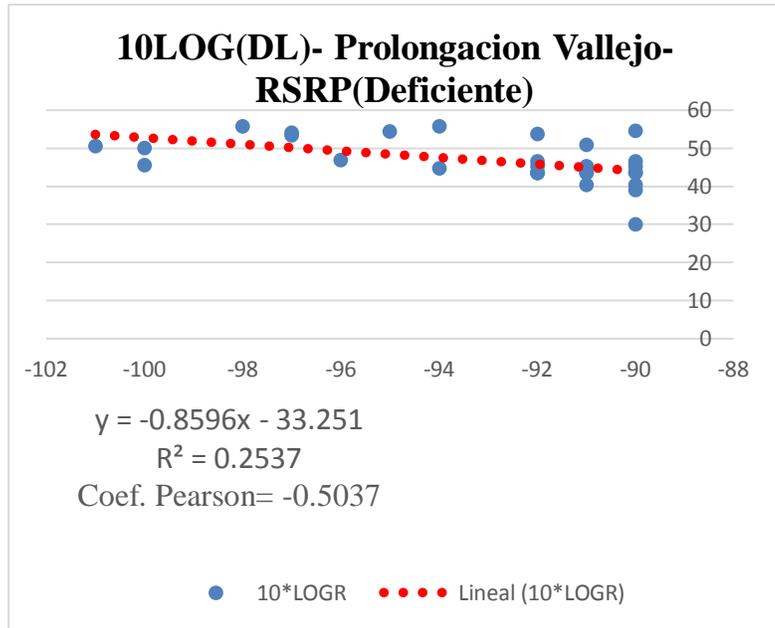


Ilustración 3.14 Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Deficiente.
Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB Prolongación Vallejo Deficiente tiene una correlación negativa media.

1.1.2.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-RSRP (Regular)

Las muestras clasificadas como Regular del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.2.

➤ **Diagrama de Dispersión para RSRP en Prolongación Vallejo (Regular)**

En la ilustración 3.14 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas como Regulares donde la línea de tendencia es creciente y positiva.

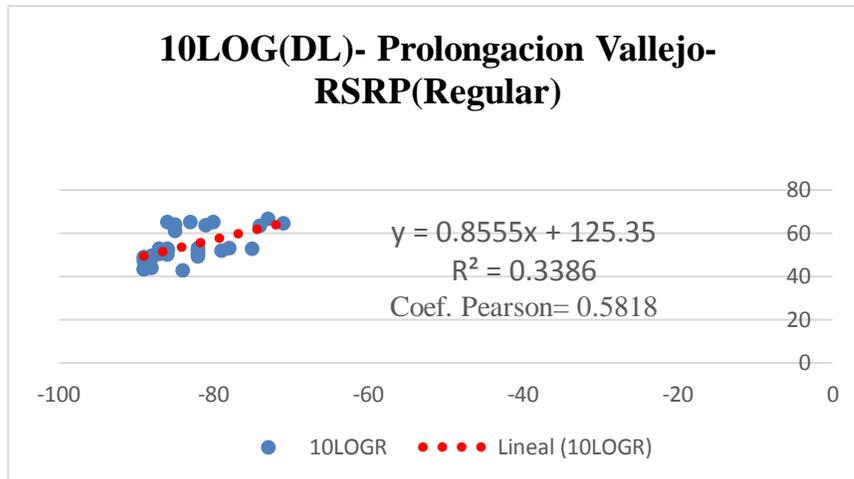


Ilustración 3.15 Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Regular.

Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB Prolongación Vallejo Regular tiene una correlación positiva media.

1.1.3.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-RSRP (Bueno)

Las muestras clasificadas como Bueno del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.3.

➤ **Diagrama de Dispersión para RSRP en Prolongación Vallejo (Bueno)**

En la ilustración 3.16 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas como Bueno con línea de tendencia negativa.

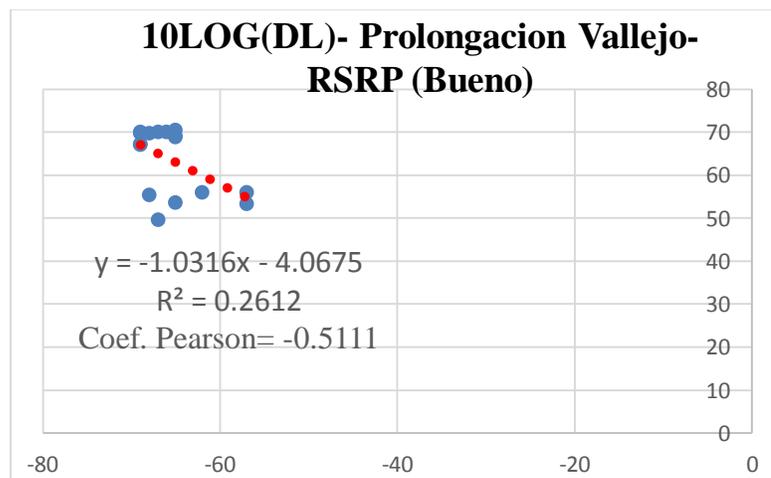


Ilustración 3.16. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Bueno

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB Prolongación Vallejo Bueno tiene una correlación negativa media.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Prolongación Vallejo según la clasificación de velocidad de descarga (DL BITRATE) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.1.4.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-Velocidad de descarga

(Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficiente del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.4.

➤ Diagrama de Dispersión para la Velocidad de Descarga en Prolongación Vallejo Deficiente

En la ilustración 3.17 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga como deficiente teniendo una línea de tendencia creciente.

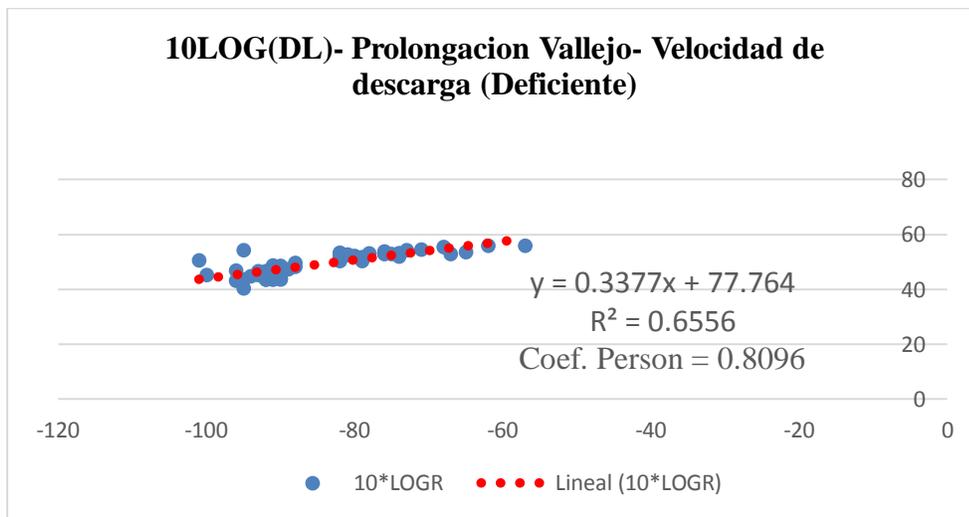


Ilustración 3.17 Diagrama de dispersión Prolongación Vallejo Deficiente

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en velocidad de descarga del eNodeB Prolongación Vallejo deficiente tiene una correlación positiva fuerte.

1.1.5.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-Velocidad de descarga (Regular)

Las muestras clasificadas como regular del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.5.

➤ Diagrama de Dispersión para la Velocidad de Descarga en Prolongación Vallejo Regular.

En la ilustración 3.18 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga como regular.

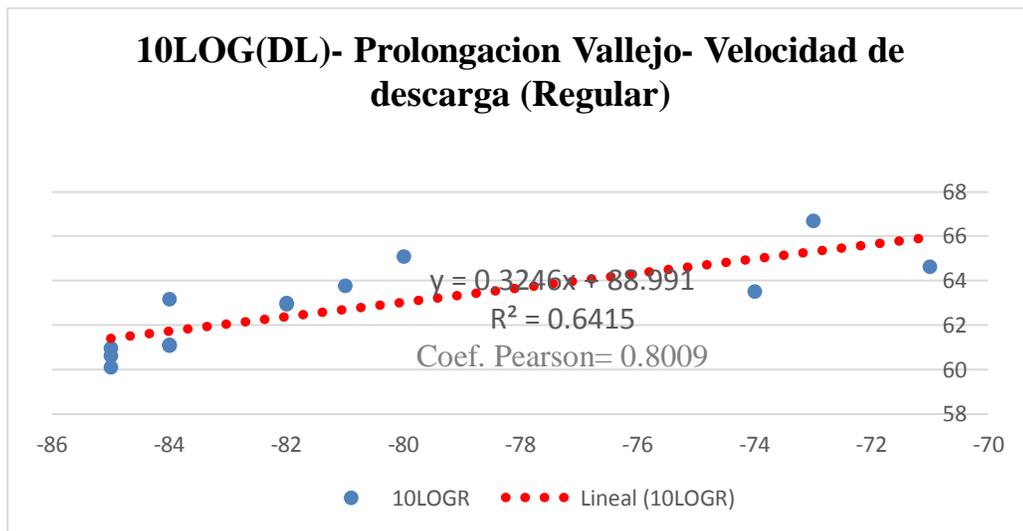


Ilustración3.18. Diagrama de dispersión Prolongación Vallejo Regular

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en velocidad de descarga del eNodeB Prolongación Vallejo regular tiene una correlación positiva fuerte.

1.1.6.- eNodeB (135165) -Prolongación-Vallejo-Velocidad de descarga (Bueno)

Las muestras clasificadas como Bueno del eNodeB Prolongación Vallejo se muestran en el Anexo 1.6.

➤ **Diagrama de Dispersión para la Velocidad de Descarga en Prolongación Vallejo Bueno.**

En la ilustración 3.19 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga como bueno tiene una línea de tendencia negativa.

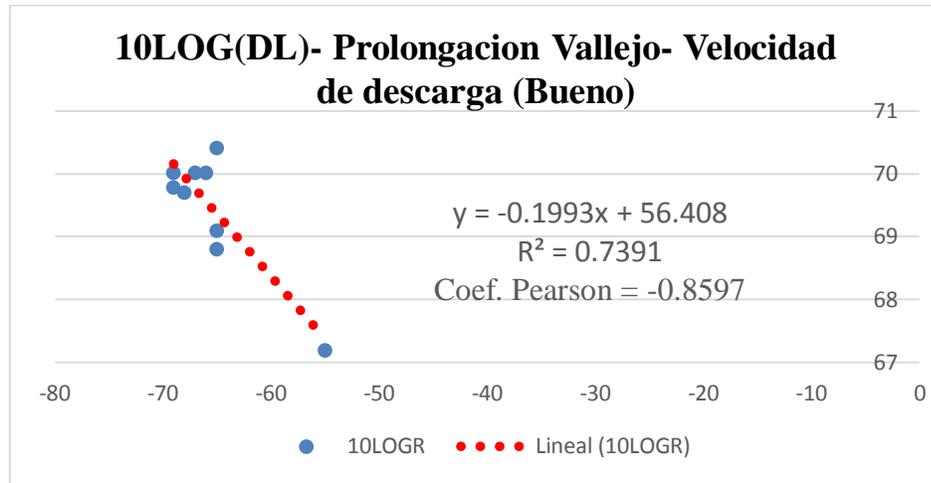


Ilustración 3.19. Diagrama de Dispersión Prolongación Vallejo Bueno.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en velocidad de descarga del eNodeB Prolongación Vallejo bueno tiene una correlación negativa fuerte.

1.2.- eNodeB (135181)-Taiwán.

Las muestras recolectadas de todo el eNodeB Taiwán se muestran en el Anexo 2.

➤ **Diagrama de Distribución para las mediciones del eNodeB Taiwán.**

En la ilustración 3.20 muestra el diagrama de distribución para los puntos de observación en bruto del eNodeB Taiwán.

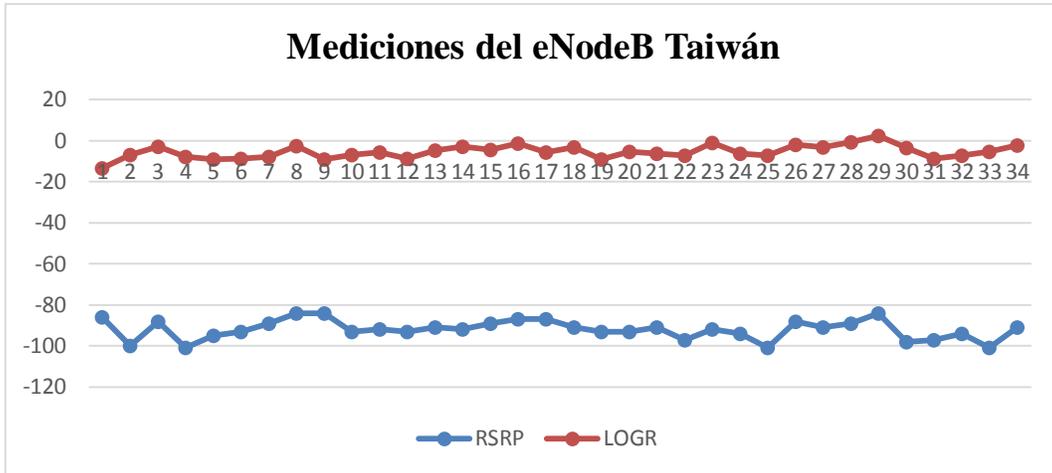


Ilustración 3.20 Diagrama de distribución Taiwán

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra el diagrama de distribución de las mediciones recolectadas y seleccionadas solo del eNodeB Taiwán, en el diagrama se observa que hay correlación.

➤ **Diagrama de Dispersión para las mediciones del eNodeB Taiwán.**

En la ilustración 3.21 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras de todo el eNodeB con una línea de tendencia creciente positiva.

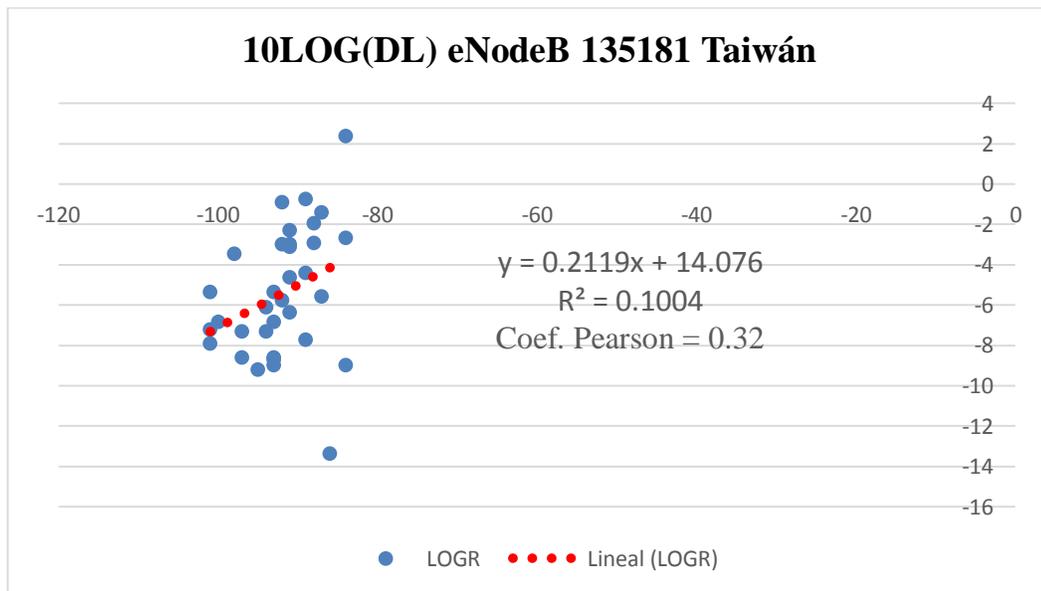


Ilustración 3.21. Diagrama de dispersión eNodeB Taiwán.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de todas las muestras del eNodeB Taiwán disminuye en comparación al porcentaje de correlación de las mediciones totales y también en comparación con el eNodeB Prolongación Vallejo.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Taiwán según su clasificación y se iniciara a clasificar los niveles de potencia (RSRP) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.2.1.- eNodeB (135165) -Taiwán-RSRP (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficientes del eNodeB Taiwán se muestran en el Anexo 2.1.

➤ Diagrama de Dispersión para RSRP en Taiwán (Deficiente)

En la ilustración 3.22 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en RSRP como Deficiente obteniendo una línea de tendencia positiva fuerte.

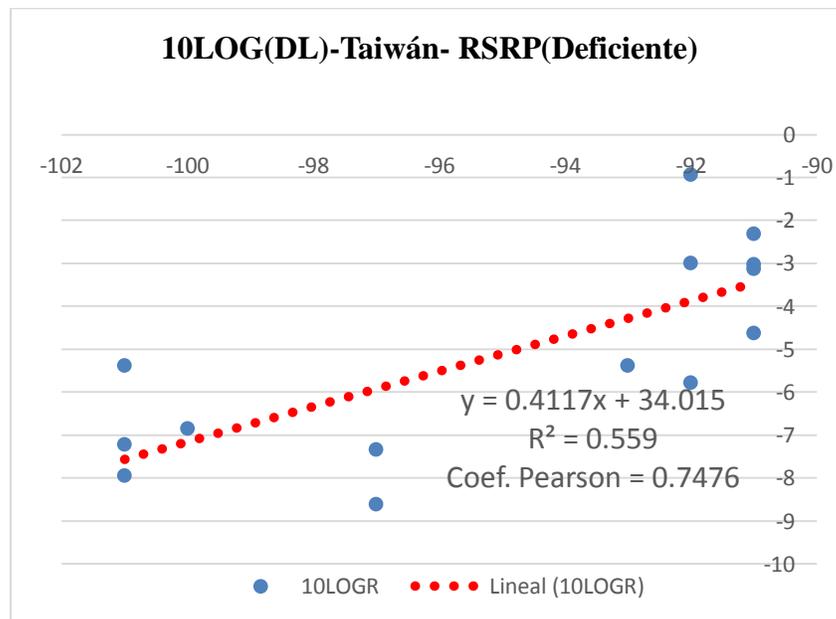


Ilustración 3.22. Diagrama de dispersión Taiwán Deficiente.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB Taiwán deficiente tiene una correlación positiva fuerte.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Taiwán según su clasificación y se clasificara por velocidades de descarga (DL BITRATE) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.2.3.- eNodeB (135165) -Taiwán-Velocidad de descarga (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficiente del eNodeB Taiwán se muestran en el Anexo 2.3.

➤ Diagrama de Dispersión para Velocidad de Descarga en Taiwán (Deficiente)

En la ilustración 3.23 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga como Deficiente teniendo una línea de tendencia positiva y creciente.

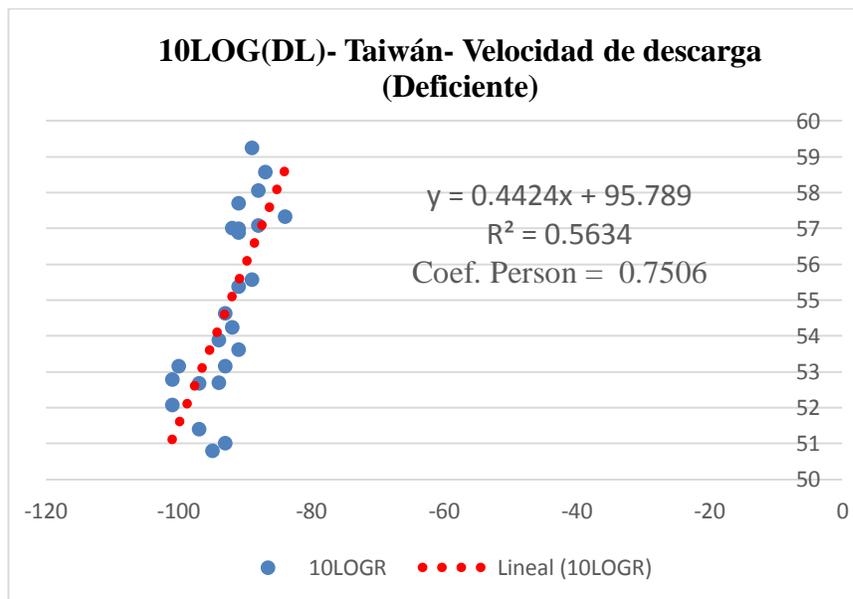


Ilustración3.23. Diagrama de Dispersión Taiwán Deficiente.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga del eNodeB Taiwán tiene una correlación positiva fuerte.

1.3.- eNodeB (135242)-Ovalo Larco

Las muestras recolectadas de todo el eNodeB Ovalo Larco se muestran en el Anexo 3.

➤ **Diagrama de Distribución para las mediciones del eNodeB Ovalo Larco.**

En la presente ilustración 3.24 se muestra el diagrama de distribución de las mediciones recolectadas solo del eNodeB Ovalo Larco.

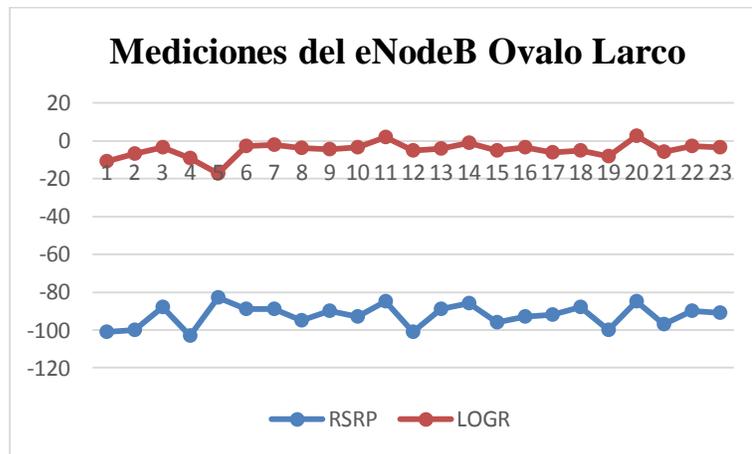


Ilustración 3.24. Diagrama de Distribución Ovalo Larco

Fuente: Elaboración Propia

Permite visualizar la distribución de los puntos de medición.

➤ **Diagrama de Dispersión para las mediciones del eNodeB Ovalo Larco.**

En la ilustración 3.25 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras de todo el eNodeB con una línea de tendencia creciente

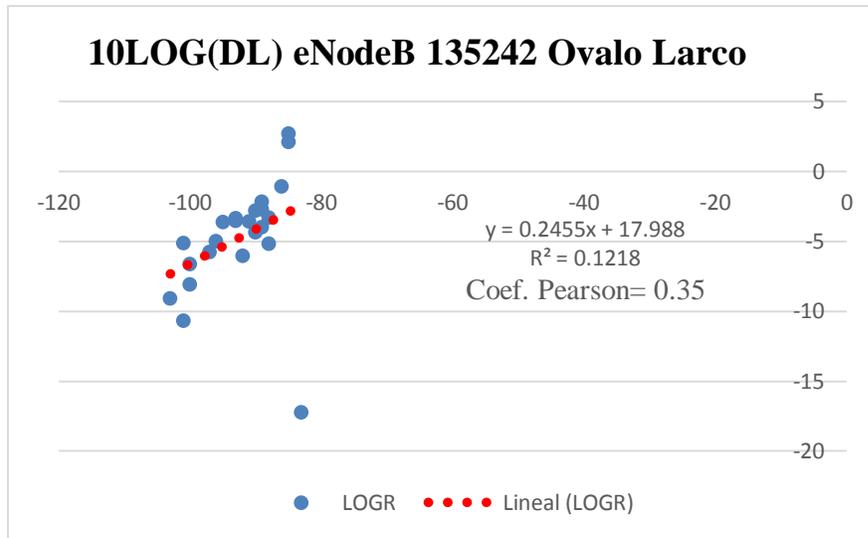


Ilustración 3.25. Diagrama de Dispersión-Ovalo Larco

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de todas las muestras del eNodeB Ovalo Larco disminuye en comparación al porcentaje de correlación de las mediciones totales y también en comparación con el eNodeB Prolongación Vallejo y tiene mayor correlación que el eNodeB Taiwán.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Ovalo Larco según su clasificación y se iniciara a clasificar los niveles de potencia (RSRP) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.3.1.- eNodeB (135242) –Ovalo Larco-RSRP (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficientes del eNodeB Ovalo Larco se muestran en el Anexo 3.1.

➤ Diagrama de Dispersión para RSRP en Ovalo Larco (Deficiente)

En la ilustración 3.26 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en RSRP como Deficiente teniendo una línea de tendencia creciente.

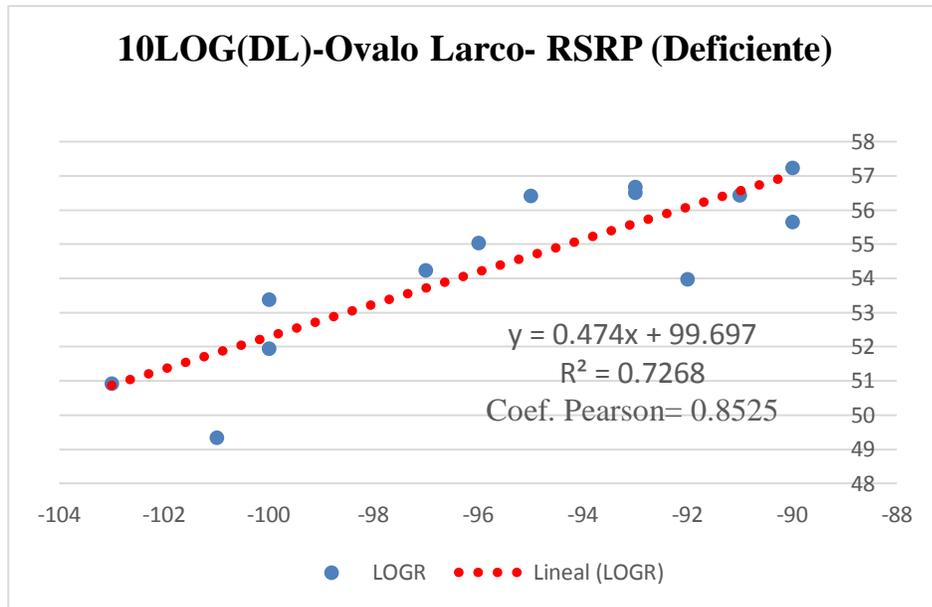


Ilustración 3.26. Diagrama de dispersión-Ovalo Larco-Deficiente.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB Ovalo Larco tiene una correlación positiva fuerte.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB Ovalo Larco según su clasificación y se clasificara a la velocidad de descarga (DL BITRATE) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.3.2.- eNodeB (135242) –Ovalo Larco-Velocidad de Descarga (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficientes del eNodeB Ovalo Larco se muestran en el Anexo 3.2.

➤ Diagrama de Dispersión para Velocidad de descarga en Ovalo Larco (Deficiente)

En la ilustración 3.27 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de Descarga como Deficiente.

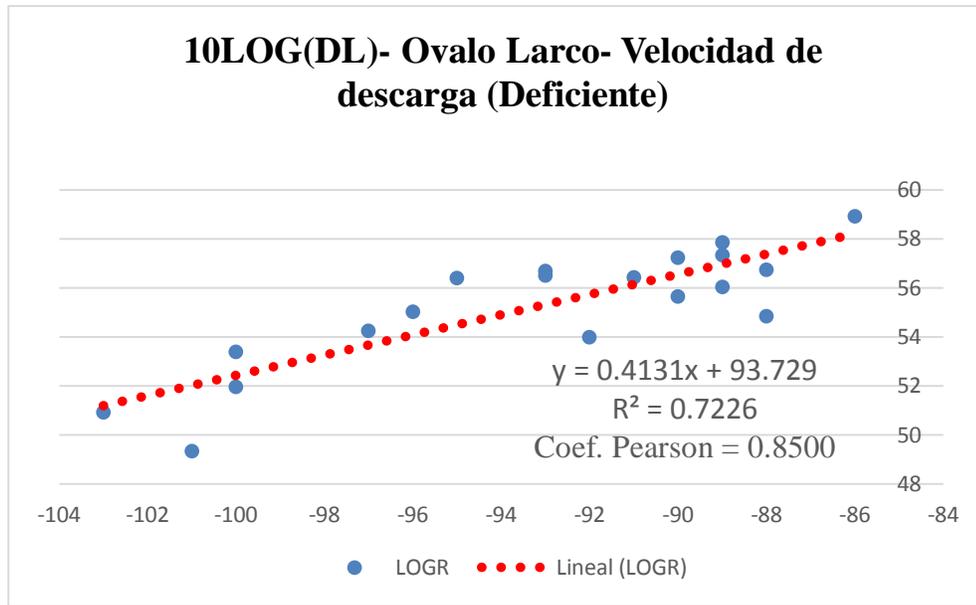


Ilustración 3.27 Diagrama de dispersión Ovalo Larco Deficiente.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga del eNodeB Ovalo Larco tiene una correlación positiva fuerte.

1.4.- eNodeB (135243)-San Eloy Almendros.

Las muestras recolectadas de todo el eNodeB San Eloy Almendros se muestran en el Anexo 4.

➤ **Diagrama de Distribución para las mediciones del eNodeB San Eloy Almendros.**

En la presente ilustración 3.28 se muestra el diagrama de distribución obteniendo puntos si correlacionados.

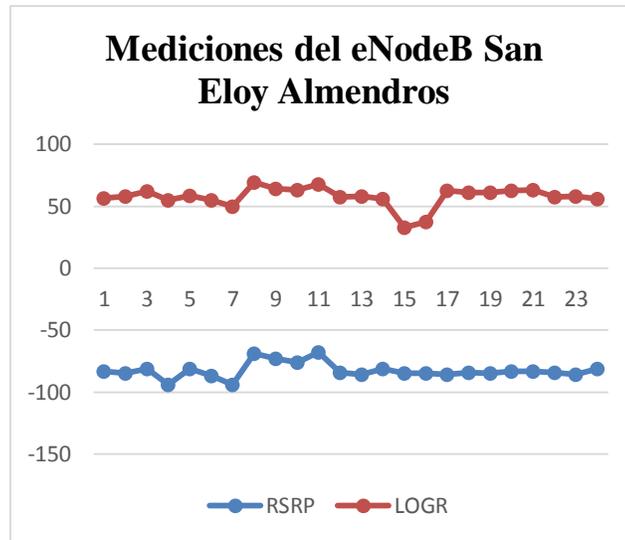


Ilustración 3.28 Diagrama de distribución San Eloy Almendros

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra el diagrama de distribución de las mediciones recolectadas solo del eNodeB San Eloy Almendros.

➤ **Diagrama de Dispersión para las mediciones del eNodeB San Eloy Almendros.**

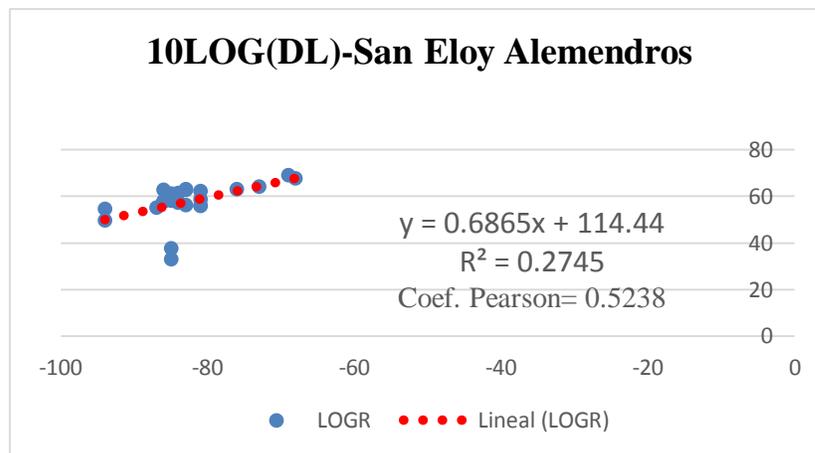


Ilustración 3.29 .Diagrama de dispersión-San Eloy Almendros

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de todas las muestras del eNodeB San Eloy Almendros aumenta en comparación al porcentaje de correlación de las mediciones totales y también en comparación al eNodeB Taiwán y eNodeB Ovalo Larco, pero no mayor que el eNodeB Prolongación Vallejo.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB San Eloy Almendros según su clasificación y se iniciara a clasificar los niveles de potencia (RSRP) como: Deficiente, Regular y Buena.

En el eNodeB San Eloy Almendros no se cuenta con niveles de potencia (RSRP) deficiente.

1.4.1.- eNodeB (135243)-San Eloy Almendros-RSRP (Regular)

Las muestras clasificadas como regular del eNodeB San Eloy Almendros se muestran en el Anexo 4.1.

➤ Diagrama de Dispersión para RSRP en San Eloy Almendros (Regular)

En la ilustración 3.30 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en RSRP como Regular teniendo una línea de tendencia creciente.

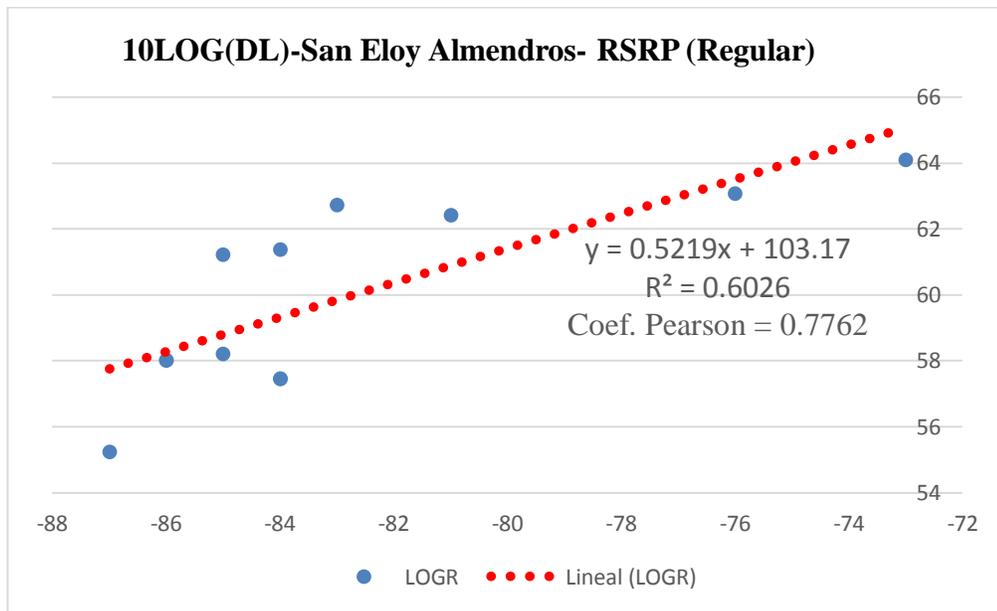


Ilustración 3.30 Diagrama de dispersión-SanEloy-Almendros-Regular.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en RSRP del eNodeB San Eloy Almendros tiene una correlación positiva fuerte.

A continuación se procede a segmentar al eNodeB San Eloy Almendros según su clasificación y se clasificara por velocidad de descarga (DL BITRATE) como: Deficiente, Regular y Buena.

1.4.2.- eNodeB (135243)-San Eloy Almendros-Velocidad de descarga (Deficiente)

Las muestras clasificadas como deficientes del eNodeB San Eloy Almendros se muestran en el Anexo 4.2.

➤ Diagrama de Dispersión para RSRP en San Eloy Almendros (Deficiente)

En la ilustración 3.31 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de Descarga como Deficiente.

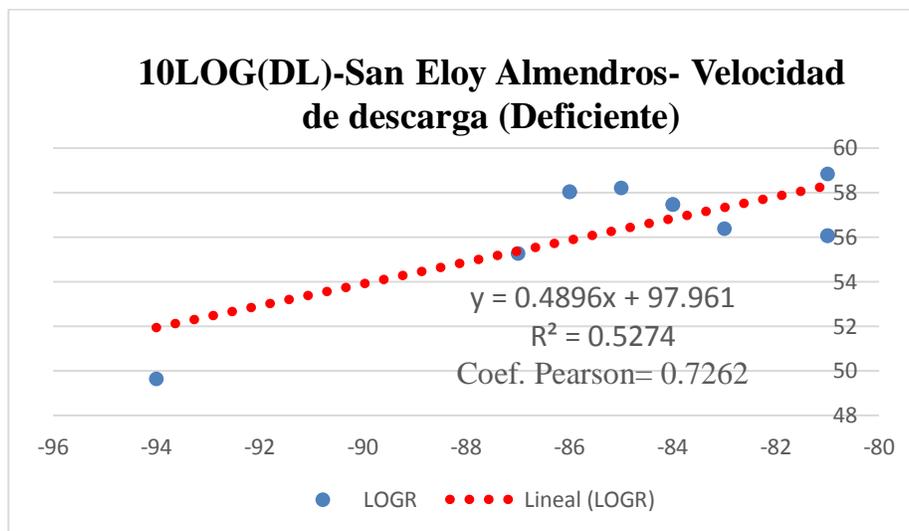


Ilustración 3.31 Diagrama de dispersión-San Eloy Almendros-Deficiente

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga del eNodeB San Eloy Almendros tiene una correlación positiva fuerte.

1.4.3.- eNodeB (135243)-San Eloy Almendros-Velocidad de descarga (Regular)

Las muestras clasificadas como regular del eNodeB San Eloy Almendros se muestran en el Anexo 4.3.

➤ **Diagrama de Dispersión para RSRP en San Eloy Almendros (Regular)**

En la ilustración 3.32 el diagrama de dispersión permite visualizar los resultados de las muestras clasificadas en Velocidad de Descarga como Regular.

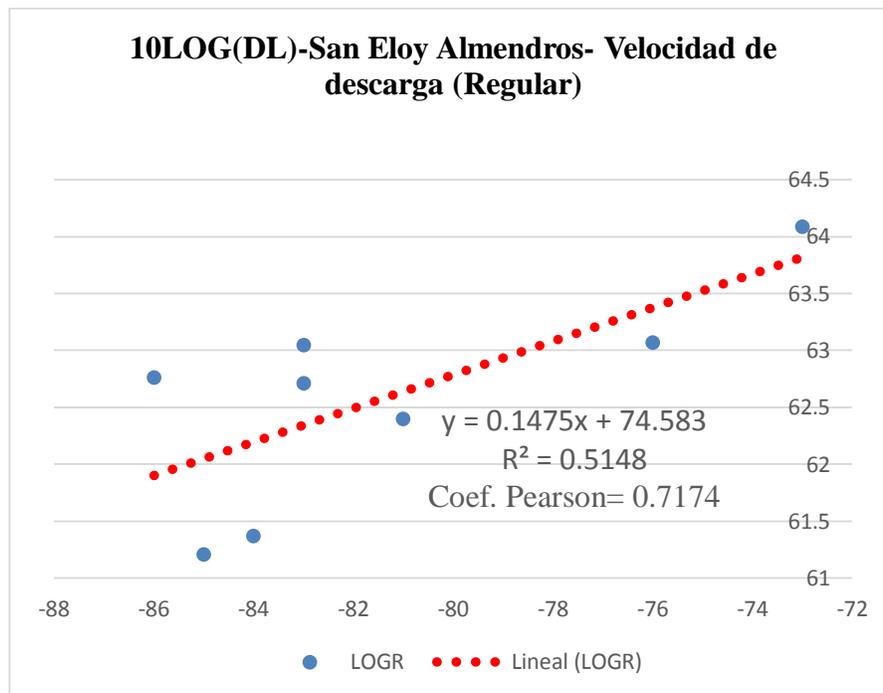


Ilustración.3.32 Diagrama de Dispersión San Eloy Almendros-Regular

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que el porcentaje de correlación de las muestras clasificadas en Velocidad de descarga del eNodeB San Eloy Almendros tiene una correlación positiva fuerte.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1 Resultados y comparación de correlación Pearson de todas las mediciones y por eNodeB

En la tabla 4.1 se aprecia que la correlación de Pearson de todas las muestras tomadas y según su eNodeB, se observa que los coeficientes positivos menores son de los eNodeB's más lejanos en el caso de Taiwán y Ovalo Larco.

Tabla 4.1 Correlación de Pearson para mediciones Totales.

Muestras totales	ρ (Coef. Pearson)	N° muestras	Observación
	0.49	200	correlación positiva moderada

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2. Valores de Correlación de Pearson de acuerdo a cada eNodeB.

eNodeB		ρ (Coef. Pearson)	N° muestras	Observación
Prolongación-Vallejo	135165	0.57	76	correlación positiva moderada
Taiwán	135181	0.32	21	correlación positiva moderada
Ovalo Larco	135242	0.35	13	correlación positiva moderada
San Eloy Almendros	135243	0.52	20	correlación positiva moderada

Fuente: Elaboración Propia

La ilustración 4.1, muestra un diagrama de barras con el coeficiente de Pearson de las mediciones totales frente a los valores por eNodeB.

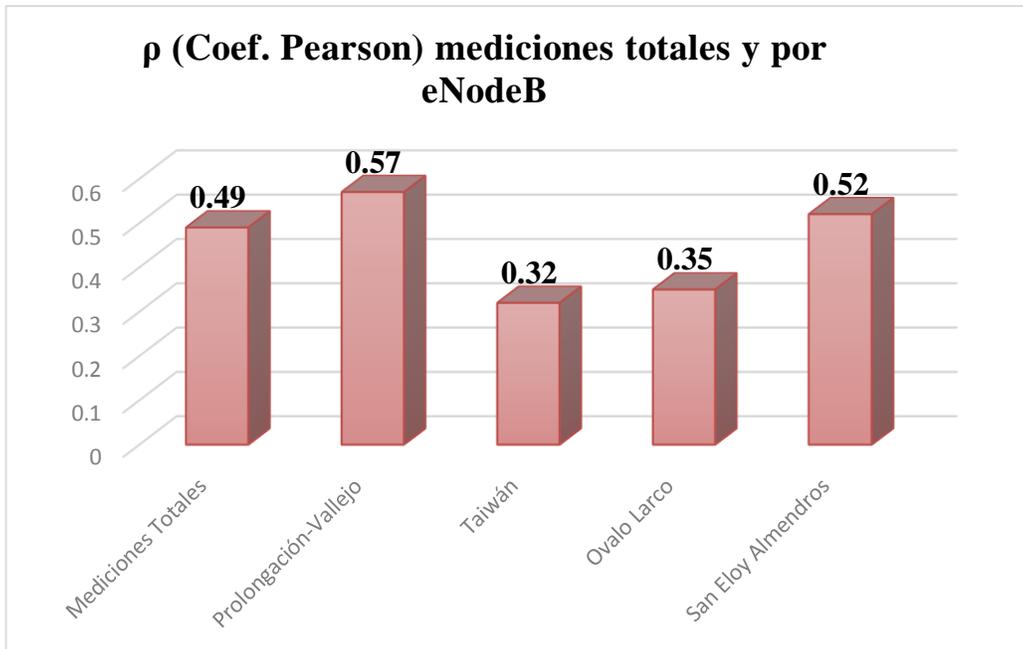


Ilustración 4.1 Coeficientes de Pearson para mediciones totales y eNodeB´s.

Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la ilustración 4.1 que los eNodeB´s Prolongación Vallejo y San Eloy Almendros superan el valor de coeficiente de Pearson de las mediciones totales aportando al coeficiente de Pearson de las mediciones totales.

Para un mayor análisis de los resultados se muestra primero en tablas los valores de correlación de Pearson clasificados por eNodeB, También se realiza la separación de la velocidad de descarga de todos los eNodeB´s y también la separación de los niveles de señal (RSRP) de todos los eNodeB´s que se muestran en los ilustraciones con diagrama de barras.

4.1.1 Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Prolongación Vallejo.

En la Tabla 4.3 muestra los valores de correlación de Pearson de acuerdo a la clasificación en el eNodeB Prolongación-Vallejo donde observamos que la potencia tiene un valor variable.

Tabla 4.3. Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Pro-Vallejo

Clasificación		ρ (Coef. Pearson)	N° muestras	Observación
Bueno	RSRP	-0.5111	16	correlación negativa moderada
Bueno	velocidad	-0.8597	7	correlación negativa fuerte
Regular	RSRP	0.5818	30	correlación positiva moderada
Regular	velocidad	0.8009	14	correlación positiva fuerte
Deficiente	RSRP	-0.5037	30	correlación negativa moderada
Deficiente	velocidad	0.8096	55	correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Taiwán:

La tabla 4.4 muestra los valores de correlación de Pearson de acuerdo a la clasificación en el eNodeB Taiwán.

Tabla 4.4 Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Taiwán

Clasificación		ρ (Coef. Pearson)	N° muestras	Observación
Bueno	RSRP	-----	-----	-----
Bueno	velocidad	-----	-----	-----
Regular	RSRP	-----	-----	-----
Regular	velocidad	-----	-----	-----
Deficiente	RSRP	0.7476	21	correlación positiva fuerte
Deficiente	Velocidad	0.7506	21	correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Ovalo Larco.

La tabla 4.5 muestra los valores de correlación de Pearson de acuerdo a la clasificación en el eNodeB Prolongación-Vallejo donde observamos niveles y velocidades bajas debido a que la lejanía de la estación.

Tabla 4.5.Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB Ovalo Larco.

Clasificación		ρ (Coef. Pearson)	Nº muestras	Observación
Bueno	RSRP	0	0	-----
Bueno	velocidad	0	0	-----
Regular	RSRP	0	0	-----
Regular	velocidad	0	0	-----
Deficiente	RSRP	0.8525	13	correlación positiva fuerte
Deficiente	velocidad	0.85	13	correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4 Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB 135243-SanEloy-Almendros.

La tabla 4.6 muestra los coeficientes de Pearson de acuerdo a la clasificación en el eNodeB que cuenta con pocas muestras.

Tabla 4.6.Comparación de coeficientes de Pearson eNodeB SanEloy-Almendros.

Clasificación		ρ (Coef. Pearson)	Nº muestras	Observación
Bueno	RSRP	0		-----
Bueno	velocidad	0		-----
Regular	RSRP	0.7762	20	correlación positiva fuerte
Regular	velocidad	0.71.74	12	correlación positiva fuerte
Deficiente	RSRP	0		-----
Deficiente	velocidad	0.7262	8	correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 4.2 permite visualizar una línea discontinua mostrando la correlación de Pearson de las mediciones totales.

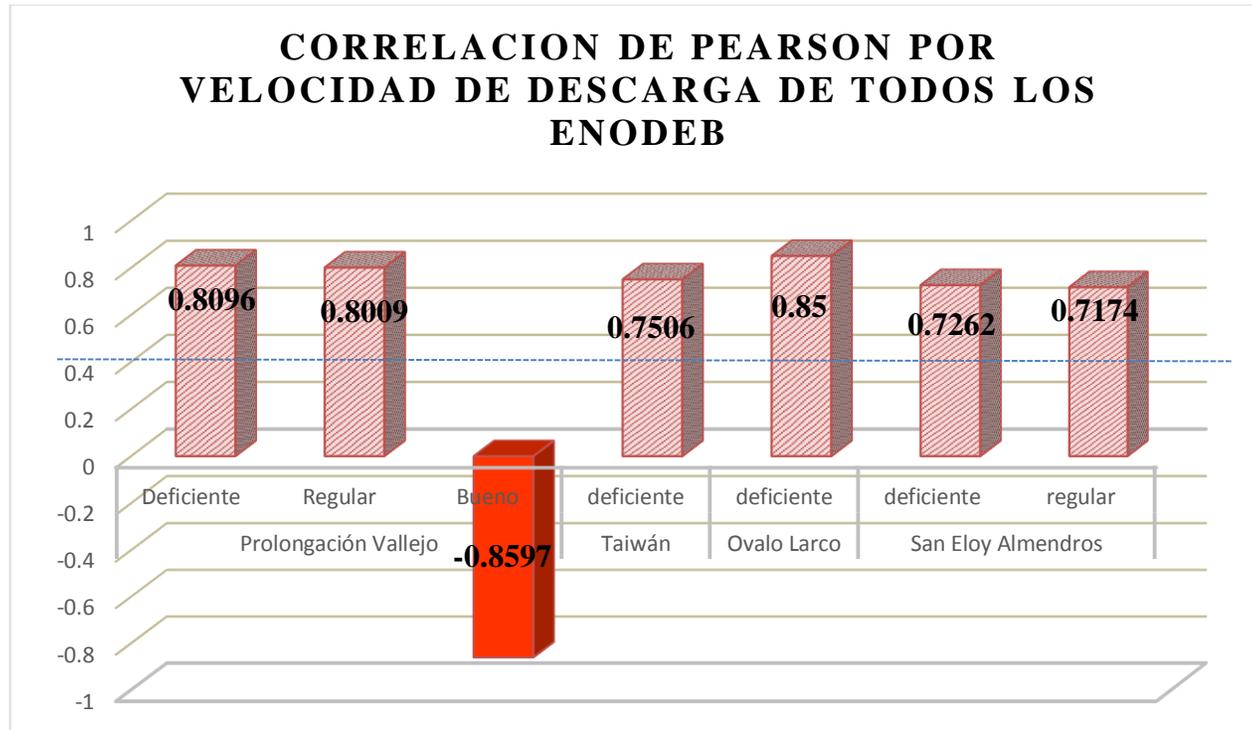


Ilustración 4. 2 Correlación de Pearson para la separación de la Velocidad de Descarga

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 4.2 el nivel máximo alcanzado es en bueno del eNodeB Prolongación Vallejo con una correlación de -0.8597 de correlación equivalente a negativa fuerte.

En la ilustración 4.3 permite visualizar una línea discontinua mostrando la correlación de Pearson de las mediciones totales.

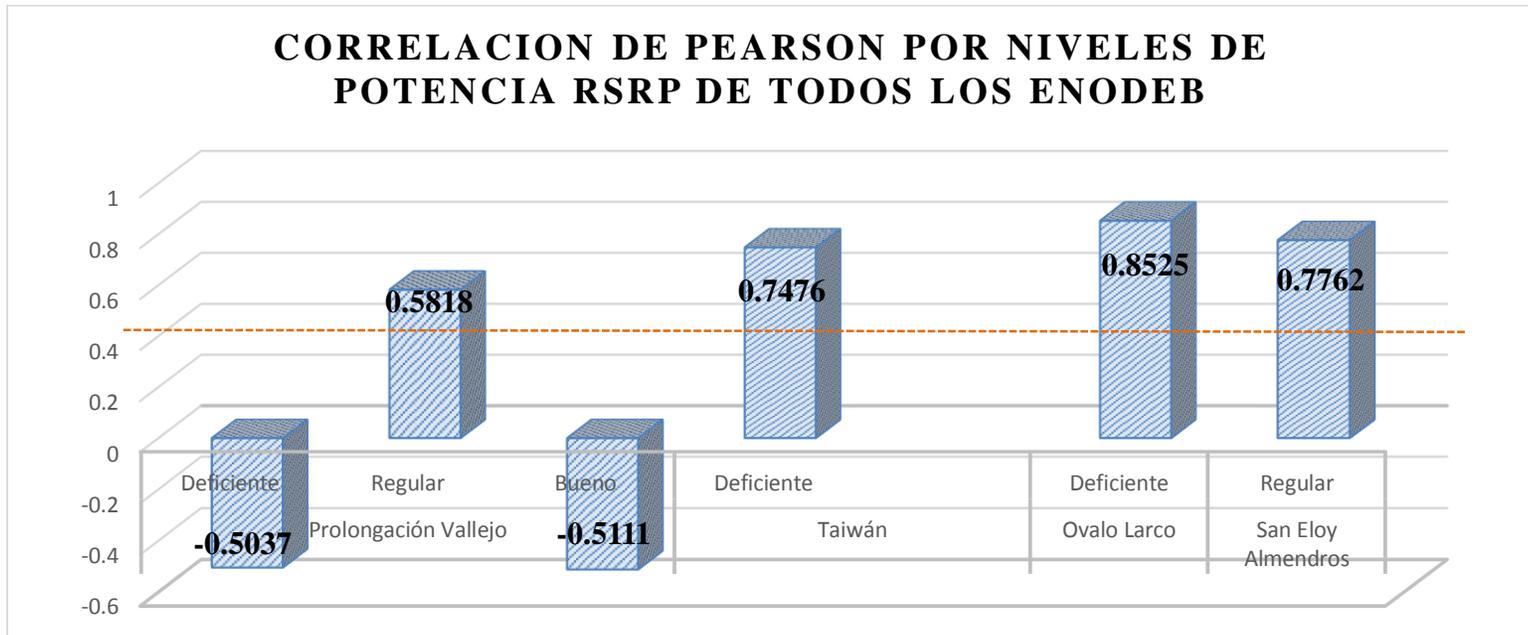


Ilustración 4. 3 Correlación de Pearson para la separación de la niveles de señal (RSRP)

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 4.3 se observa que la correlación máxima positiva se encuentra en Ovalo Larco mientras que en los otros eNodeB's no es uniforme.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Correlación de Pearson de mediciones totales y por eNodeB sin clasificación.**
 - El Coeficiente de Pearson para las mediciones totales es positivo moderado.
 - Los eNodeB's Prolongación Vallejo y San Eloy Almendros son los que más aportan a obtener una correlación positiva moderada ambas mayores a 0.50 de coeficiente de correlación de Pearson.
- **Correlación de Pearson por velocidades de descarga (DL BITRATE) de todos los eNodeB.**
 - **Velocidad de descarga Deficiente.**

En la clasificación por velocidad de descarga Deficiente, los resultados obtenidos están entre 0.7262 y 0.85 de coeficiente de correlación de Pearson, lo cual indica que entre el 72.6 % y 80 % de la variabilidad en la velocidad de descarga está dada por los niveles de potencia recibida (RSRP).
 - **Velocidad de descarga Regular.**

En la clasificación por velocidad de descarga Regular, los resultados obtenidos están entre 0.7174 y 0.8009 de coeficiente de correlación de Pearson, lo cual indica que entre el 71.7 % y 80% de la variabilidad en la velocidad de descarga está dada por los niveles de señal recibida (RSRP).
 - **Velocidad de descarga Bueno.**

No hay una correlación uniforme, el resultado es una correlación negativa fuerte ya que al aumentar la velocidad de descarga en niveles altos de potencia recibida (RSRP), los niveles de potencia recibida aumentan.

No se puede concluir por que el número de muestras tomadas es pequeño. Sin embargo no se puede afirmar a ciencia cierta, porque no hemos encontrado una tendencia en todas las estaciones, debido al número de muestras recogidas, no se puede concluir que sea general para todas las estaciones. Se sugiere aumentar las mediciones para velocidades buenas.

- **Correlación de Pearson por Niveles de Señal (RSRP) de todos los eNodeB.**

Tanto para los niveles Deficientes, Regulares y Buenos se encuentran correlaciones positivas y negativas, entonces no hay uniformidad en los coeficientes de correlación. Como se observa la clasificación por potencia no es una clasificación óptima, es muy probable que esté relacionada más a la relación señal ruido que a la potencia.

La clasificación de muestras por potencia Deficiente, Regular y Bueno no ha dado resultados de correlación uniforme, sin embargo cuando se clasifico por velocidad de descarga si dio resultados de correlación uniforme.

6. CONCLUSIONES

- Los parámetros más representativos para realizar la comparación entre los niveles de señal y velocidad de descarga son: El RSRP es el promedio de la potencia medida del elemento de recursos (Resource Element) que contiene señales de referencia, específica de la celda y dentro del ancho de banda y el DL BITRATE indica la transferencia de datos en bps que llegan al usuario en el momento de realizar una descarga específica.
- Los niveles de potencia se establecieron entre los rangos Bueno ($Nrx > -70\text{dBm}$), Regular ($-89\text{dBm} < Nrx < -71\text{dBm}$) y Deficiente ($Nrx < -90\text{dBm}$) conforme a la especificación ETSI TS 136.133
- Según los criterios del operador móvil local se considera que la velocidad mayor a 5Mbps es una velocidad de descarga buena, entre 5 Mbps y 1 Mbps es una velocidad de descarga regular y menor a 1 Mbps de velocidad de descarga se considera deficiente.
- Se detectó que el mínimo nivel de potencia (RSRP) ha sido -103 dBm alcanzando una velocidad de descarga de 124 Kbps.
Se detectó que el máximo nivel de potencia (RSRP) ha sido de -63 dBm alcanzado una velocidad de descarga de 10990 Kbps.
No siempre los valores mínimos de niveles de potencia (RSRP) van a alcanzar velocidades de descarga bajas como se muestra en el punto de observación que tiene como nivel de potencia -85 dBm y alcanzo una velocidad de descarga de 2 Kbps.
Así como también no siempre los valores máximos de potencia van a alcanzar velocidades de descarga buena como se muestra en el punto de observación que tiene como nivel de potencia -67 dBm y alcanzo una velocidad de descarga de 92 Kbps.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar equipos y aplicaciones más profesionales para la realización de Drive Test.
- Se recomienda tomar más muestras en horas de bajo tráfico con el fin de aumentar las velocidades altas (Bueno) para contrastar mejor la relación entre velocidad de descarga alta (Bueno) y potencia alta (Bueno)
- Se puede realizar Drive Test en horas pico y en días laborables cuando haya mucha población y cuando no haya mucha población para poder establecer una comparación.
- Se recomienda clasificar por cercanía, lejanía y obstaculización para poder tener distintas observaciones y distintos enfoques para los resultados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agusti, R. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Mviles*. Barcelona: Fundacion Vodafone España.
- Calle, C. (13 de Agosto de 2013). *Estudio y Analisis Tecnico Comparativo entre las Tecnologias 4G Long Term Evolution (LTE) y LTE Advanced*. Obtenido de bibdigital.epn.edu.ec.
- Djanatliev, M. (Octubre de 2010).
- ETSI TS 136 133 v10.1.0 (2011-01). (2011). *LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requeriments for Support of Radio Resource Management (3GPP TS 136.133 version 10.1.0 Release 10)*.
- Heidary, R., & Ahmed, S. (2015). *SINR, RSRP, RSSI AND RSRQ MEASUREMENTS IN LONG TERM EVOLUTION NETWORKS*. Sydney, Australia: International Journal of Wireless & Mobile Networks, Vol. 7, No. 4.
- Huawei Proprietary and Confidential. (2010). *LTE Air Interface*.
- Huawei Technologies CO., LTD. (2014). *LTE RF Optimization Guide V1.0 LTE RNPS*.
- JDSU. (2012). *Drive Testing LTE*.
- kanwar, P. (December de 2012).
- Lopez, A. (7 de Enero de 2016). *Diseño de una Herramienta de Simulación de Cobertura para el Estudio de Estrategias de Densificacion LTE*. Barcelona, Barcelona, España.
- Nokia Siemens Network, Training Material. (2010). *PLMN LTE Radio Planning*.
- Nokia Siemens Network, Training Material. (2010). *PLMN LTE Radio Planning* .
- Ordas, J. (13 de junio de 2016). Entrevista. (C. J. Chacon, Entrevistador)
- Rizwan, U. (2011). *COMPARISON OF RADIO PROPAGATION MODELS FOR LONG TERM EVOLUTION (LTE) NETWORK*. Karlskrona, Sweden: International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), Vol.3, No.3,.
- Rodriguez, M. C. (2012). *Analisis de la Propuesta de Evolución de Redes 3G y su Convergencia a la Tecnología 4G para Redes de Telefonía Móvil*.
- Sharawi, M. S. (2013). RF Planning and Optimization for LTE Networks. En M. S. Sharawi, *RF Planning and Optimization for LTE Networks*.

ANEXOS:

Anexo 1. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo.

EnodeB	CellID	RSRP	L bitrate(kbps)	10LOGR
135165	103	-90	11	40.4139269
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-91	11	40.4139269
135165	103	-89	23	43.6172784
135165	103	-95	11	40.4139269
135165	103	-101	57	47.5587486
135165	103	-100	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-89	53	47.2427587
135165	103	-91	75	48.7506126
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-93	34	45.3147892
135165	103	-92	46	46.6275783
135165	103	-91	69	48.3884909
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-92	34	45.3147892
135165	103	-89	80	49.0308999
135165	103	-90	72	48.573325
135165	103	-90	24	43.8021124
135165	103	-91	69	48.3884909
135165	103	-91	46	46.6275783
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-82	86	49.3449845
135165	103	-92	80	49.0308999
135165	103	-96	50	46.9897
135165	103	-84	20	43.0103
135165	103	-78	205	53.1175386
135165	103	-79	154	51.8752072
135165	103	-65	226	53.5410844
135165	103	-90	70	48.4509804
135165	103	-82	111	50.4532298
135165	103	-90	34	45.3147892
135165	103	-90	59	47.7085201
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-90	23	43.6172784
135165	103	-89	23	43.6172784
135165	103	-88	69	48.3884909
135165	103	-80	3232	65.0947135
135165	103	-74	161	52.0682588
135165	103	-68	350	55.4406804
135165	103	-71	279	54.456042
135165	103	-57	215	53.3243846
135165	103	-57	392	55.9328607

135165	103	-62	399	56.009729
135165	103	-75	192	52.8330123
135165	103	-76	207	53.1597035
135165	103	-76	196	52.9225607
135165	103	-87	113	50.5307844
135165	103	-88	92	49.6378783
135165	103	-86	194	52.8780173
135165	103	-96	21	43.2221929
135165	103	-94	30	44.7712125
135165	103	-92	245	53.8916608
135165	103	-73	264	54.2160393
135165	103	-76	238	53.7657696
135165	103	-67	92	49.6378783
135165	103	-82	210	53.2221929
135165	103	-90	126	51.0037055
135165	103	-74	207	53.1597035
135165	103	-67	195	52.9003461
135165	103	-84	57	47.5587486
135165	103	-93	46	46.6275783
135165	103	-86	173	52.380461
135165	103	-69	5288	67.2329145
135165	103	-68	9331	69.6992819
135165	103	-65	8121	69.0960951
135165	103	-69	5092	67.0688839
135165	103	-90	356	55.5145
135165	103	-90	46	46.6275783
135165	103	-90	288	54.5939249
135165	103	-66	10045	70.0194994
135165	103	-85	2515	64.0053799
135165	103	-65	10990	70.4099769
135165	103	-82	1991	62.9907126
135165	103	-81	2382	63.7694176

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 1.1. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- RSRP-Deficiente.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	10*LOGR
135165	103	-90	11	40.4139269
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-91	11	40.4139269
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-92	46	46.6275783
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-92	34	45.3147892
135165	103	-90	24	43.8021124
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-96	50	46.9897
135165	103	-90	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-90	23	43.6172784
135165	103	-94	30	44.7712125
135165	103	-90	46	46.6275783
135165	103	-100	36	45.563025
135165	103	-90	1	30
135165	103	-90	8	39.0308999
135165	103	-94	380	55.797836
135165	103	-90	288	54.5939249
135165	103	-91	123	50.8990511
135165	103	-97	257	54.0993312
135165	103	-101	114	50.5690485
135165	103	-98	380	55.797836
135165	103	-95	277	54.4247977
135165	103	-97	219	53.4044411
135165	103	-92	245	53.8916608
135165	103	-100	104	50.1703334

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 1.2. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- RSRP-Regular

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	10LOGR
135165	103	-89	23	43.6172784
135165	103	-89	53	47.2427587
135165	103	-89	80	49.0308999
135165	103	-82	86	49.3449845
135165	103	-84	20	43.0103
135165	103	-78	205	53.1175386
135165	103	-79	154	51.8752072
135165	103	-82	111	50.4532298
135165	103	-89	23	43.6172784
135165	103	-88	69	48.3884909
135165	103	-80	3232	65.0947135
135165	103	-75	192	52.8330123
135165	103	-87	113	50.5307844
135165	103	-88	92	49.6378783
135165	103	-86	194	52.8780173
135165	103	-82	210	53.2221929
135165	103	-86	173	52.380461
135165	103	-85	2515	64.0053799
135165	103	-81	2382	63.7694176
135165	103	-87	199	52.9885308
135165	103	-83	3347	65.2465571
135165	103	-86	3307	65.1943419
135165	103	-71	2903	64.6284704
135165	103	-73	4679	66.7015305
135165	103	-74	2244	63.5102285
135165	103	-85	1252	60.9760433
135165	103	-88	26	44.1497335
135165	103	-86	173	52.380461
135165	103	-86	103	50.1283722
135165	103	-82	157	51.9589965

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 1.3. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- RSRP-Bueno.

135165	103	-65	226	53.5410844
135165	103	-68	350	55.4406804
135165	103	-57	215	53.3243846
135165	103	-57	392	55.9328607
135165	103	-62	399	56.009729
135165	103	-67	92	49.6378783
135165	103	-69	5288	67.2329145
135165	103	-68	9331	69.6992819
135165	103	-65	8121	69.0960951
135165	103	-69	5092	67.0688839
135165	103	-66	10045	70.0194994
135165	103	-65	10990	70.4099769
135165	103	-67	10044	70.019067
135165	103	-65	7587	68.8007008
135165	103	-69	10047	70.020364
135165	103	-69	9519	69.7859133

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 1.4. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- Velocidad de Descarga-Deficiente.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	10*LOGR
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-95	11	40.4139269
135165	103	-100	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-89	53	47.2427587
135165	103	-91	75	48.7506126
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-93	34	45.3147892
135165	103	-92	46	46.6275783
135165	103	-91	69	48.3884909
135165	103	-91	34	45.3147892
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-92	34	45.3147892
135165	103	-90	72	48.573325
135165	103	-90	24	43.8021124
135165	103	-91	69	48.3884909
135165	103	-91	46	46.6275783
135165	103	-91	23	43.6172784
135165	103	-96	50	46.9897

135165	103	-78	205	53.1175386
135165	103	-79	154	51.8752072
135165	103	-65	226	53.5410844
135165	103	-90	70	48.4509804
135165	103	-82	111	50.4532298
135165	103	-90	34	45.3147892
135165	103	-90	59	47.7085201
135165	103	-92	23	43.6172784
135165	103	-90	23	43.6172784
135165	103	-88	69	48.3884909
135165	103	-74	161	52.0682588
135165	103	-68	350	55.4406804
135165	103	-71	279	54.456042
135165	103	-57	392	55.9328607
135165	103	-62	399	56.009729
135165	103	-75	192	52.8330123
135165	103	-76	207	53.1597035
135165	103	-76	196	52.9225607
135165	103	-88	92	49.6378783
135165	103	-96	21	43.2221929
135165	103	-94	30	44.7712125
135165	103	-73	264	54.2160393
135165	103	-76	238	53.7657696
135165	103	-82	210	53.2221929
135165	103	-74	207	53.1597035
135165	103	-67	195	52.9003461
135165	103	-93	46	46.6275783
135165	103	-90	46	46.6275783
135165	103	-90	49	46.9019608
135165	103	-101	114	50.5690485
135165	103	-95	277	54.4247977
135165	103	-81	189	52.764618
135165	103	-80	171	52.3299611
135165	103	-82	115	50.6069784
135165	103	-76	211	53.2428246
135165	103	-82	220	53.4242268

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 1.5. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- Velocidad de Descarga – Regular.

EnodeB	CellID	RSRP	L bitrate(kbps	10LOGR
135165	103	-80	3232	65.0947135
135165	103	-82	1991	62.9907126
135165	103	-81	2382	63.7694176
135165	103	-85	1029	60.1241537
135165	103	-85	1152	60.6145248
135165	103	-84	1290	61.1058971
135165	103	-71	2903	64.6284704
135165	103	-73	4679	66.7015305
135165	103	-74	2244	63.5102285
135165	103	-85	1252	60.9760433
135165	103	-82	1971	62.9468662
135165	103	-84	2073	63.165993
135165	103	-84	1282	61.0788803
135165	103	-84	1293	61.1159852

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 1.6. Datos de medición de eNodeB Prolongación Vallejo- Velocidad de Descarga – Bueno.

EnodeB	CellID	RSRP	.bitrate(kbp	10LOGR
135165	103	-68	9331	69.6992819
135165	103	-65	8121	69.0960951
135165	103	-66	10045	70.0194994
135165	103	-65	10990	70.4099769
135165	103	-67	10044	70.019067
135165	103	-55	5230	67.1850169
135165	103	-65	7587	68.8007008
135165	103	-69	10047	70.020364
135165	103	-69	9519	69.7859133

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2. Datos de medición de eNodeB Taiwán.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	LOGR
135181	102	-86	46	-13.3724217
135181	102	-100	207	-6.84029655
135181	102	-88	510	-2.92429824
135181	102	-101	161	-7.93174124
135181	102	-95	120	-9.20818754
135181	102	-93	138	-8.60120914
135181	102	-89	169	-7.72113295
135181	102	-84	541	-2.66802735
135181	102	-84	126	-8.99629455
135181	102	-93	207	-6.84029655
135181	102	-92	265	-5.76754126
135181	102	-93	135	-8.69666232
135181	102	-91	345	-4.62180905
135181	102	-92	502	-2.99296283
135181	102	-89	361	-4.42492798
135181	102	-87	720	-1.42667504
135181	102	-87	277	-5.57520231
135181	102	-91	500	-3.01029996
135181	102	-93	126	-8.99629455
135181	102	-93	290	-5.37602002
135181	102	-91	230	-6.38272164

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2.1. Datos de medición de eNodeB - RSRP –Deficiente.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	10LOGR
135181	102	-100	207	-6.84029655
135181	102	-101	161	-7.93174124
135181	102	-92	265	-5.76754126
135181	102	-91	345	-4.62180905
135181	102	-92	502	-2.99296283
135181	102	-91	500	-3.01029996
135181	102	-93	290	-5.37602002
135181	102	-97	185	-7.32828272
135181	102	-92	809	-0.92051478
135181	102	-101	190	-7.21246399
135181	102	-91	488	-3.11580178
135181	102	-97	138	-8.60120914
135181	102	-101	290	-5.37602002
135181	102	-91	588	-2.30622674

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2.2. Datos de medición de eNodeB Taiwán - Velocidad de Descarga –Deficiente.

EnodeB	CellID	RSRP	bitrate(kbp	10LOGR
135181	102	-100	207	53.1597035
135181	102	-88	510	57.0757018
135181	102	-101	161	52.0682588
135181	102	-95	120	50.7918125
135181	102	-84	541	57.3319727
135181	102	-93	207	53.1597035
135181	102	-92	265	54.2324587
135181	102	-91	345	55.378191
135181	102	-92	502	57.0070372
135181	102	-89	361	55.575072
135181	102	-87	720	58.573325
135181	102	-91	500	56.9897
135181	102	-93	126	51.0037055
135181	102	-93	290	54.62398
135181	102	-91	230	53.6172784
135181	102	-97	185	52.6717173
135181	102	-94	244	53.8738983
135181	102	-101	190	52.787536
135181	102	-88	639	58.0550086
135181	102	-91	488	56.8841982

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3. Datos de medición de eNodeB Ovalo Larco.

CellID	RSRP	DL bitrate(kbps	LOGR
101	-101	86	-10.6550155
101	-100	218	-6.61543506
101	-88	472	-3.26058001
101	-103	124	-9.06578315
101	-83	19	-17.212464
101	-89	541	-2.66802735
101	-89	610	-2.14670165
101	-95	438	-3.58525889
101	-90	368	-4.34152181
101	-93	466	-3.31614083
101	-85	1641	2.15108581
101	-101	310	-5.08638306
101	-89	403	-3.94694954

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3.1. Datos de medición de eNodeB Ovalo Larco-RSRP-Deficiente

EnodeB	CellID	RSRP	bitrate(kbp	LOGR
135242	101	-101	86	49.3449845
135242	101	-100	218	53.3845649
135242	101	-103	124	50.9342169
135242	101	-95	438	56.4147411
135242	101	-90	368	55.6584782
135242	101	-93	466	56.6838592
135242	101	-96	319	55.0379068
135242	101	-93	449	56.5224634
135242	101	-92	250	53.9794001
135242	101	-100	157	51.9589965
135242	101	-97	266	54.2488164
135242	101	-90	529	57.2345567
135242	101	-91	441	56.4443859

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3.2 Datos de medición de eNodeB Ovalo Larco-Velocidad de Descarga-Deficiente

EnodeB	CellID	RSRP	bitrate(kbp	LOGR
135242	101	-101	86	49.3449845
135242	101	-100	218	53.3845649
135242	101	-88	472	56.73942
135242	101	-103	124	50.9342169
135242	101	-89	541	57.3319727
135242	101	-89	610	57.8532984
135242	101	-95	438	56.4147411
135242	101	-90	368	55.6584782
135242	101	-93	466	56.6838592
135242	101	-89	403	56.0530505
135242	101	-86	783	58.9376176
135242	101	-96	319	55.0379068
135242	101	-93	449	56.5224634

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 4. Datos de medición de eNodeB San Eloy Almendros.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	LOGR
135243	103	-83	434	56.3748973
135243	103	-85	661	58.2020146
135243	103	-81	1738	62.4004977
135243	103	-94	299	54.7567119
135243	103	-81	761	58.8138466
135243	103	-87	334	55.2374647
135243	103	-94	92	49.6378783
135243	103	-69	8417	69.2515733
135243	103	-73	2562	64.0857913
135243	103	-76	2027	63.0685375
135243	103	-68	5796	67.6312838
135243	101	-84	555	57.4429298
135243	101	-86	633	58.0140371
135243	101	-81	403	56.0530505
135243	103	-85	2	33.0103
135243	103	-85	6	37.7815125
135243	103	-86	1890	62.764618
135243	103	-84	1370	61.3672057
135243	103	-85	1320	61.2057393
135243	101	-83	1866	62.7091164

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 4.1 Datos de medición de eNodeB San Eloy Almendros -RSRP-Regular.

EnodeB	CellID	RSRP	DL bitrate(kbps)	LOGR
135243	103	-85	661	58.2020146
135243	103	-81	1738	62.4004977
135243	103	-87	334	55.2374647
135243	103	-73	2562	64.0857913
135243	103	-76	2027	63.0685375
135243	101	-84	555	57.4429298
135243	101	-86	633	58.0140371
135243	103	-84	1370	61.3672057
135243	103	-85	1320	61.2057393
135243	101	-83	1866	62.7091164
135243	101	-84	555	57.4429298
135243	101	-86	633	58.0140371

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 4.2 Datos de medición de eNodeB San Eloy Almendros -Velocidad de Descarga-Deficiente.

EnodeB	CellID	RSRP	bitrate(kbp)	LOGR
135243	103	-83	434	56.3748973
135243	103	-85	661	58.2020146
135243	103	-81	761	58.8138466
135243	103	-87	334	55.2374647
135243	103	-94	92	49.6378783
135243	101	-84	555	57.4429298
135243	101	-86	633	58.0140371
135243	101	-81	403	56.0530505
135243	101	-84	555	57.4429298
135243	101	-86	633	58.0140371
135243	101	-81	403	56.0530505

Fuente: Elaboración Propia.

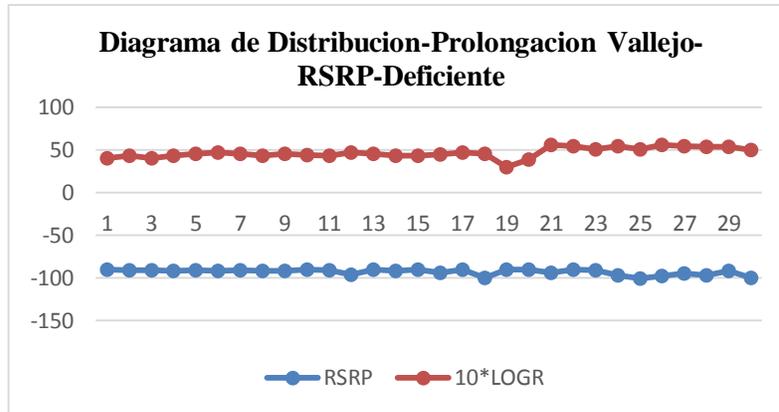
Anexo 4.3 Datos de medición de eNodeB San Eloy Almendros -Velocidad de Descarga-Regular.

EnodeB	CellID	RSRP	bitrate(kbp)	LOGR
135243	103	-81	1738	62.4004977
135243	103	-73	2562	64.0857913
135243	103	-76	2027	63.0685375
135243	103	-86	1890	62.764618
135243	103	-84	1370	61.3672057
135243	103	-85	1320	61.2057393
135243	101	-83	1866	62.7091164
135243	103	-83	2016	63.0449053

Fuente: Elaboración Propia.

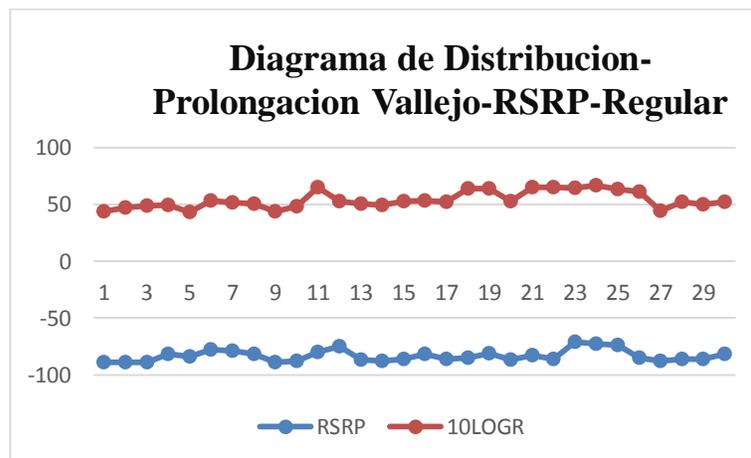
Anexo 5.- Diagrama de Distribución eNodeB 135165-Prolongacion Vallejo

Anexo 5.1.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-RSRP-Deficiente.



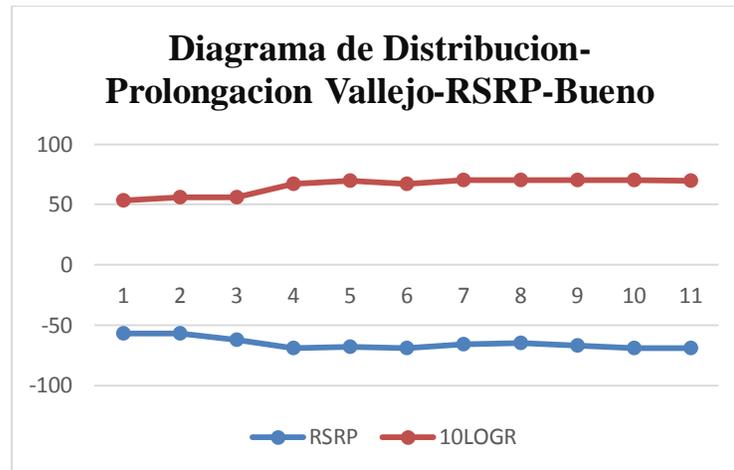
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5.2.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-RSRP-Regular



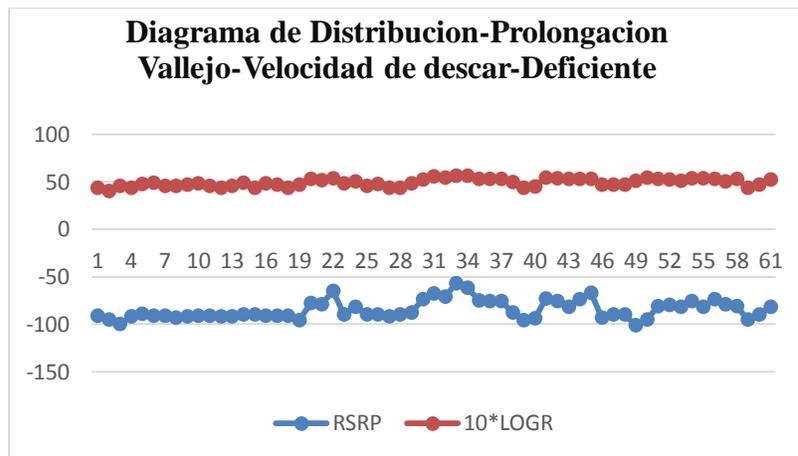
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5.3.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-RSRP-Bueno.



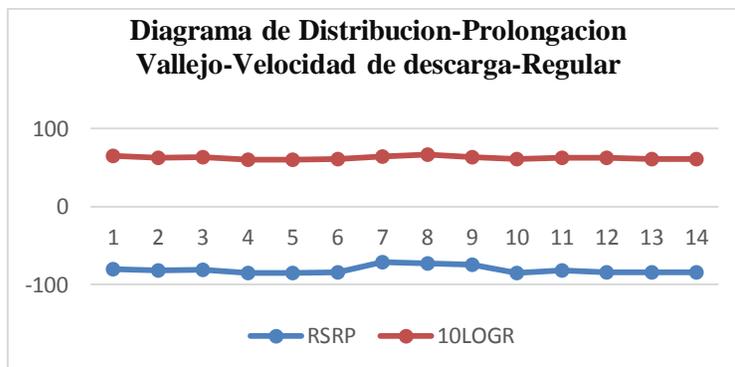
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5.4.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-Velocidad de Descarga-Deficiente.



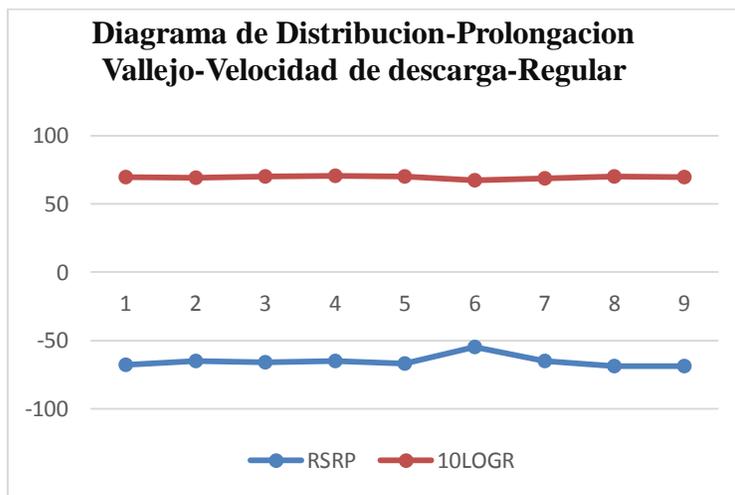
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5.5.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-Velocidad de Descarga-Regular.



Fuente: Elaboración Propia

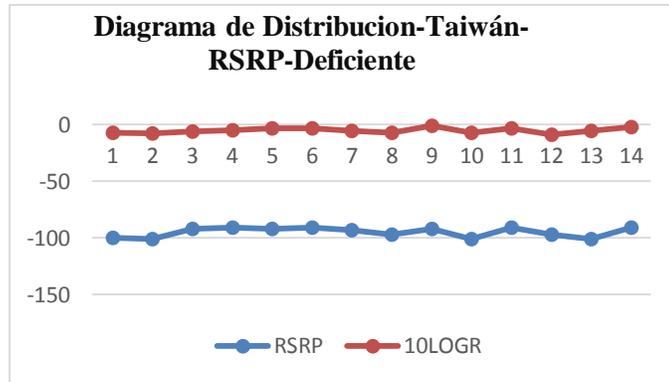
Anexo 5.6.- Diagrama de Distribución para 135165-Prolongacion Vallejo-Velocidad de Descarga-Bueno.



Fuente: Elaboración Propia

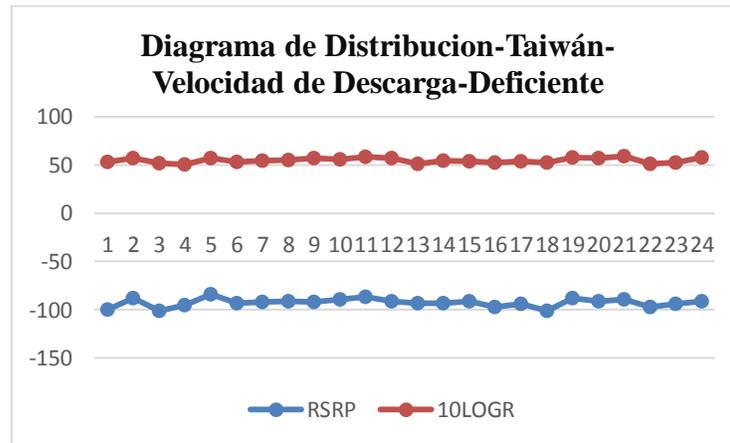
Anexo 6.- Diagrama de Distribución eNodeB 135181-Taiwán.

Anexo 6.1.- Diagrama de Distribución eNodeB 135181-Taiwán-RSRP-Deficiente.



Fuente: Elaboración Propia

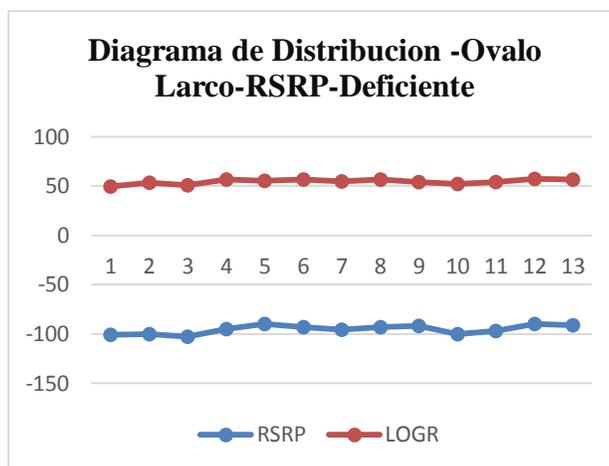
Anexo 6.2.- Diagrama de Distribución eNodeB 135181-Taiwán-Velocidad de Descarga-Deficiente.



Fuente: Elaboración Propia.

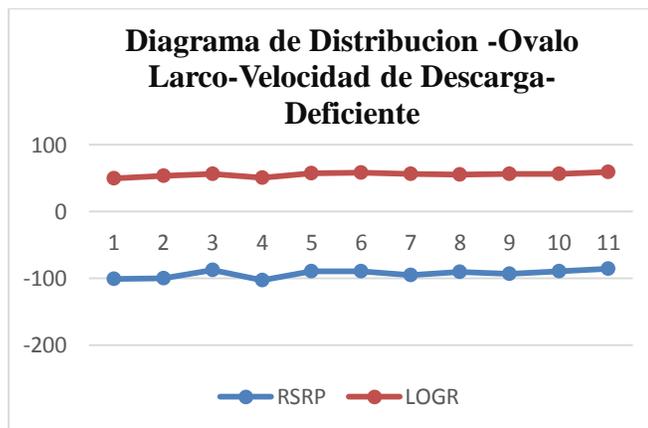
Anexo 7.- Diagrama de Distribución eNodeB 135242-Ovalo Larco.

Anexo 7.1.- Diagrama de Distribución eNodeB 135242-Ovalo Larco-RSRP-Deficiente.



Fuente: Elaboración Propia.

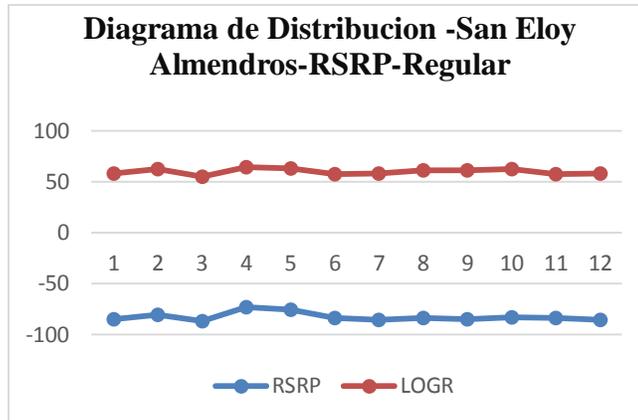
Anexo 7.2.- Diagrama de Distribución eNodeB 135242-Ovalo Larco-Velocidad de Descarga-Deficiente.



Fuente: Elaboración Propia.

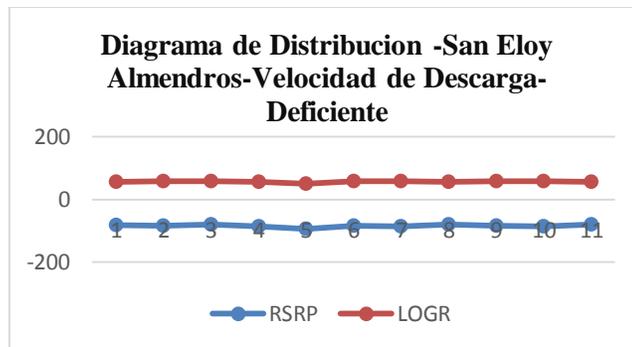
Anexo 8.- Diagrama de Distribución eNodeB 135243-San Eloy Almendros.

Anexo 8.1.- Diagrama de Distribución eNodeB 135243-San Eloy Almendros-RSRP-Regular.



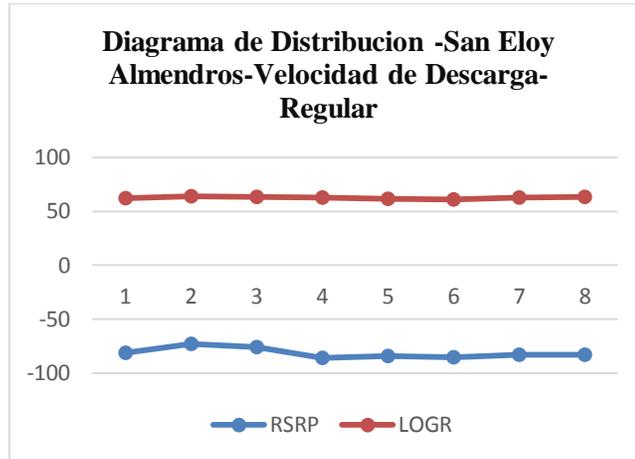
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8.2.- Diagrama de Distribución eNodeB 135243-San Eloy Almendros-Velocidad de Descarga-Deficiente.



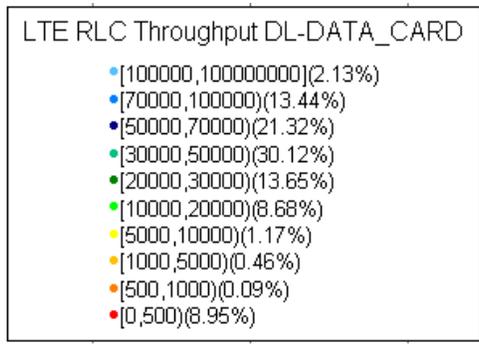
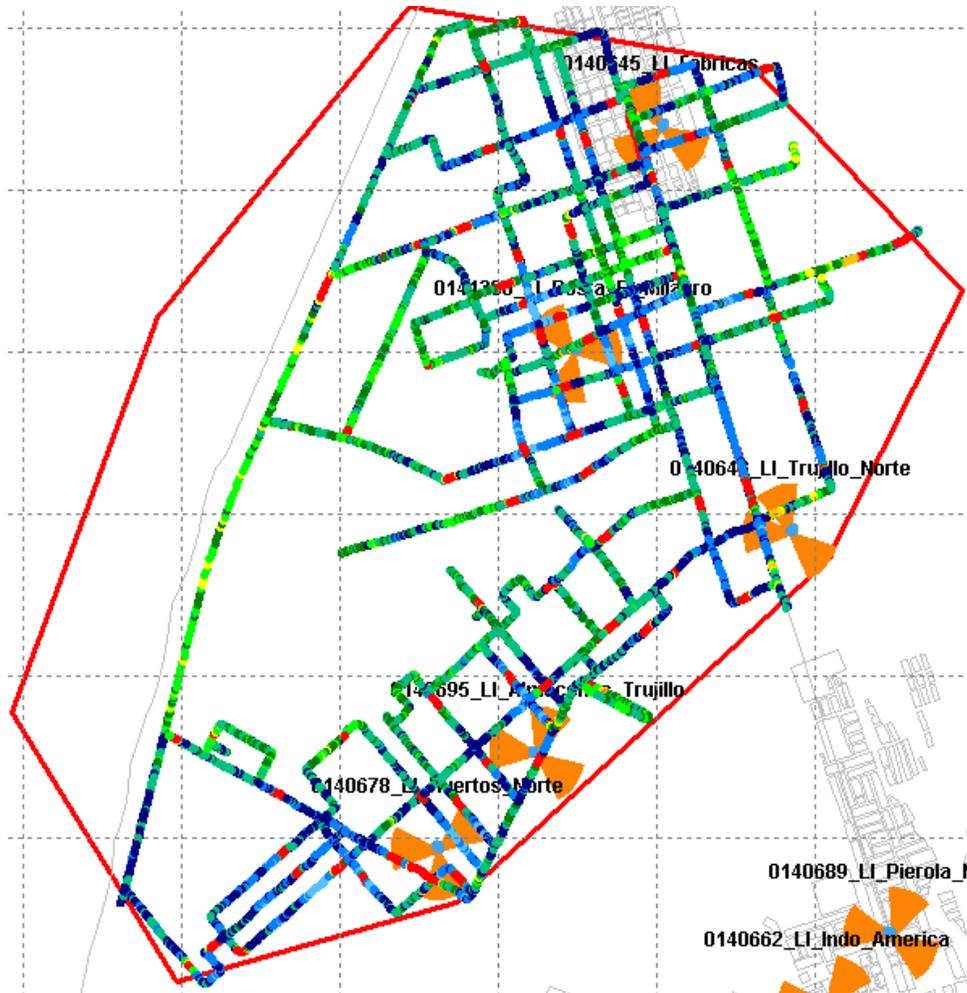
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8.3.- Diagrama de Distribución eNodeB 135243-San Eloy Almendros-Velocidad de Descarga- Regular.



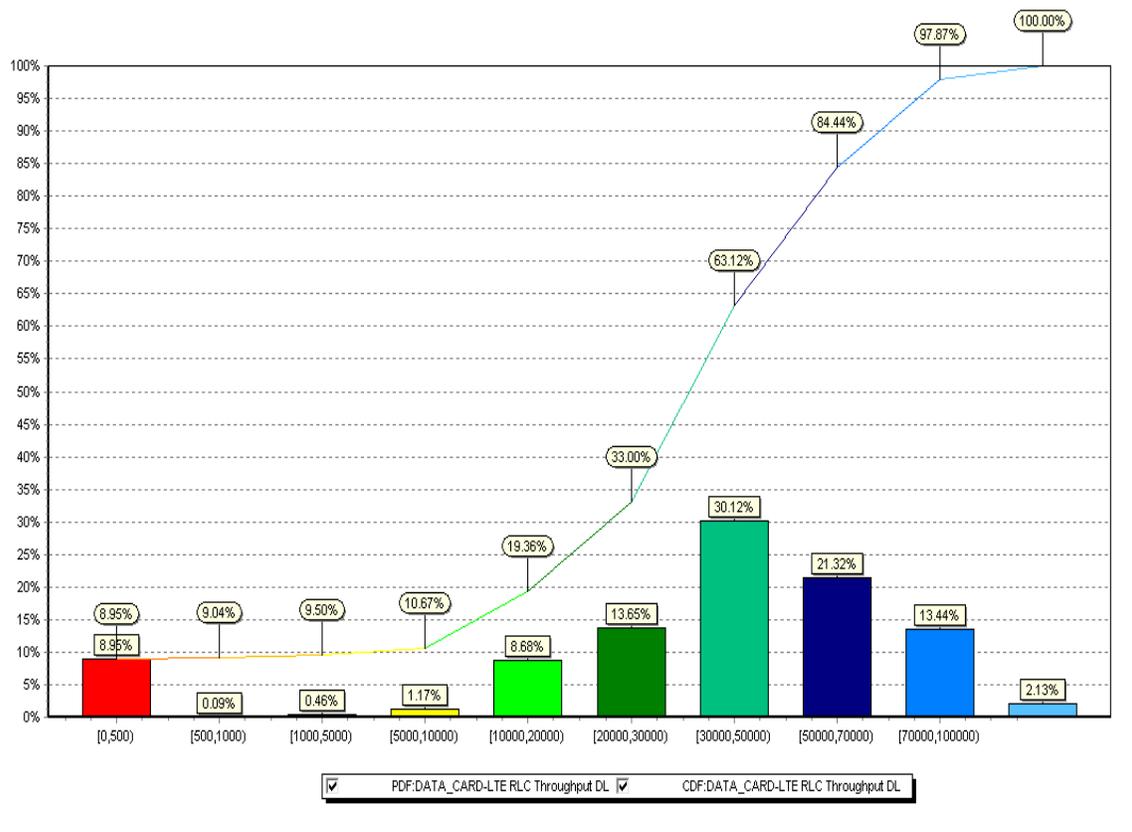
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9. Clasificación de velocidad de descarga del operador móvil local (LTE RLC Throughput DL-DATA_CARD)



Fuente: Información propia del operador móvil local.

Anexo 10. Histograma de descarga FTP del operador móvil local.



Fuente: Información propia del operador móvil local

Anexo 11. Realizando el recorrido de Drive Test por el Campus UPAO-Trujillo.



Fuente: Grupo de Trabajo.

Anexo 12. Realizando Drive Test en el Campus UPAO-Trujillo.



Fuente: Grupo de Trabajo.