

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño y Optimización de una Red LTE junto técnicas de  
Machine Learning**

**Christian Eduardo Criollo Toapanta  
Felipe Andrés Fuertes Ruiz  
Isaac Mateo Sanmartin Romero  
Ingeniería Electrónica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Electrónico

Quito, 23 de Diciembre de 2020

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Título del Trabajo de la materia final de carrera**

**Christian Eduardo Criollo Toapanta  
Felipe Andrés Fuertes Ruiz  
Isaac Mateo Sanmartin Romero**

**Nombre del profesor, Título académico**

**René Játiva, Ph.D**

Quito, 23 de Diciembre de 2020

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Christian Eduardo Criollo Toapanta

Código: 00136137

Cédula de identidad: 1725134124

Lugar y fecha: Quito, 23 de Diciembre de 2020

Nombres y apellidos: Felipe Andrés Fuertes Ruiz

Código: 00130266

Cédula de identidad: 0502767759

Lugar y fecha: Quito, 23 de Diciembre de 2020

Nombres y apellidos: Isaac Mateo Sanmartin Romero

Código: 00136072

Cédula de identidad: 0705743730

Lugar y fecha: Quito, 23 de Diciembre de 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

La tecnología ha avanzado a lo largo de los años, todos los días salen nuevas propuestas, estándares y modelos con el fin de facilitar y mejorar la vida de todos. Las redes móviles se han vuelto a lo largo de los últimos veinte años el foco de atención, partiendo de las primeras generaciones de comunicaciones móviles como eran los equipos desarrollados en Suecia donde era una innovación hablar a través de microondas que transmitían las antenas. Hoy en día nos encontramos con comunicaciones wireless en ciudades enteras, esto es gracias a la llegada de tecnologías como LTE y 4G. En este trabajo se presenta una planificación y optimización de la red LTE en Quito haciendo un proceso de Radio Planning, el desarrollo se enfoca en una simulación del comportamiento de una red LTE en el área de Rumipamba en base a diferentes parámetros propuestos. Dentro de los parámetros se toma en cuenta el comportamiento del usuario en el área determinada, para el estudio y clasificación de usuario se usó técnicas de Machine Learning como K-Nearest Neighbors y K-Means Clustering; igualmente se toma en cuenta la geografía, mapas de tráfico, edificaciones y modelos de propagación que son empleados en Atoll que es un software de Radio Planning, el cual nos permite ver el comportamiento de la red mediante predicciones de cobertura por nivel de señal, simulaciones de solapamiento, análisis de señal efectiva, etc. Además de proveer las herramientas necesarias para la optimización de la red y verificar su nivel de calidad mediante simulaciones de Montecarlo; de manera que este estudio se realiza una red LTE óptima para la parroquia de Rumipamba.

**Palabras clave:** Arreglo, Conjunto de datos, Grupo, Etiqueta, Variación interna de grupo, Aprendizaje de máquina, Evolución a largo plazo, Enlace ascendente, Enlace descendente, Bloque de recurso físico, Modulaciones, eNodeB, Acceso multiple.

## ABSTRACT

Technology has grown over the years, and every day we see different technologies. We can see that new proposals and models come to ease and improve everyone's life every day. Mobile networks have become the focus of attention in the last twenty years, starting from the first generations of wireless communications devices developed in Sweden where there was an innovation to talk through microwaves transmitted in the antennas. Nowadays, we live with wireless communications in entire cities, thanks to the coming of LTE and 4G technologies. This work gives full planning and optimization of the LTE network in Quito, Ecuador doing a Radio Planning. The development emphasizes the simulation of the LTE network's behavior in the area of Rumipamba based on different proposed parameters. Inside the behavior parameters, we take into account the user's data in the determined area to classify using Machine Learning techniques like K-Nearest Network and K-Means Clustering, also we take into account parameters such as topology, traffic maps, edifications, and propagation models that are used in the Radio Planning software called Atoll, this software allows us to see the network's behavior using coverage predictions by the signal level, aliasing simulations, effective signal analysis, etc. This software provides necessary tools for optimizing the network verifying the quality level using Montecarlo; with this study, we design a complete LTE network for the area of Rumipamba.

**Key words:** Array, Dataset, Cluster, Labels, Within-Cluster Variation, Machine Learning, Long term evolution, Up link, Down link, Physical resource block, Modulations, eNodeB, Multiple Access,

**TABLA DE CONTENIDO**

Introducción .....	11
Desarrollo del Tema.....	13
Conclusiones.....	46
Referencias.....	48
Figuras.....	50
Anexo A: Distribución de espectro en el Ecuador.....	53
Anexo B: Ancho de banda por operadora.....	53
Anexo C: Diseño de la Capacidad de usuarios para una ncho de banda de 20 Mhz .....	53
Anexo D: Diseño de la Capacidad de usuarios para una ncho de banda de 20 Mhz.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resultados de KNN con K=1 .....	17
<b>Tabla 2</b> Resultados de KNN con K=12.....	19
<b>Tabla 3</b> Características de usuario. ....	24
<b>Tabla 4</b> Características de la red LTE.....	26
<b>Tabla 5</b> Número de PRBs .....	28
<b>Tabla 6</b> Datos ubicación del sitio.....	30
<b>Tabla 7</b> Población por ambientes. ....	31
<b>Tabla 8</b> Número de antenas.....	32
<b>Tabla 9</b> Modulaciones.....	32
<b>Tabla 10</b> Velocidad de la red.....	33
<b>Tabla 11</b> Características de las antenas.....	34
<b>Tabla 12</b> Ubicación real de los sites utilizados para el diseño de esta red.....	35
<b>Tabla 13</b> Resolución del Display.....	37
<b>Tabla 14</b> Resultados del plan de vecinos.....	41



**Tabla 15** Número de usuarios por servicio requeridos en la simulación.....44

**Tabla 16** Resultados finales.....45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Python label Array (Original data) .....	50
<b>Figura 2</b> Python label Array (Predicted data) .....	50
<b>Figura 3</b> Análisis de señal efectiva PDSCH, DL. ....	50
<b>Figura 4</b> Histograma de análisis de señal efectiva PDSCH, DL.....	50
<b>Figura 5</b> Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH ), UL.....	51
<b>Figura 6</b> Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH), UL.....	51
<b>Figura 7</b> Análisis de señal efectiva de la C/N PDSCH, DL. ....	51
<b>Figura 8</b> Análisis de señal efectiva, histograma de la C/N PDSCH, DL.....	51
<b>Figura 9</b> Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH, CN), UL.....	52
<b>Figura 10</b> análisis de señal efectiva, histograma (PUSCH & PUCCH, CN), UL.....	52

## INTRODUCCIÓN

En vista que el crecimiento de usuarios que requieren una conexión con la red móvil aumenta cada día y, además, exigen un servicio de datos con mayor velocidad debido a las múltiples tareas y aplicaciones que nos pueden ofrecer un celular, nos vemos en la necesidad de mejorar la capacidad de la red para satisfacer las necesidades del usuario. En el presente proyecto se realiza el diseño de una red LTE en la parroquia urbana de Rumipamba en la ciudad de Quito, para el diseño de dicha red se recolecta datos de la población y se realiza un análisis de usuarios mediante técnicas de Machine Learning con el fin de definir el comportamiento del usuario y saber interpretar la información de los usuarios que están conectados en la red donde se realiza el estudio. Con las técnicas de Machine Learning se quiere clasificar y predecir el estado del usuario en la red, este estado puede ser de conexión o la no conexión en la red, la conformidad con el servicio que la operadora brinda junto con otros datos de clasificación supervisada y no supervisada para dividir a los usuarios según los consumos.

En el desarrollo del diseño de la red LTE definimos el funcionamiento y la estructura de la red. Asimismo, se realizó el cálculo de las estaciones base que se implementarían en la parroquia, seguido de esto se analiza la banda de frecuencia que se utilizara para el despliegue de red.

Para un correcto despliegue de la red es necesario utilizar elementos de calidad, por eso motivo para este trabajo se eligió Atoll, el cual es un software de origen francés cuya finalidad es brindarle al usuario una herramienta poderosa para el diseño de redes móviles. Para el completo uso de las capacidades de este programa es necesario desarrollar un ambiente que asemeje las condiciones reales que posee el sector, por lo cual se vio necesario adquirir diferentes tipos de mapas que agregan las cualidades originales al software de simulación. Entre estos mapas se encuentran los mapas de altimetrías, el cual es el mapa que brinda las

alturas y relieves del área, los clutter heights que son un novedoso mapa que brinda la presencia y altura de los edificios de la zona y por último los clutters classes, este tipo de mapas definen la naturaleza de cada píxel del mapa. Una vez ya con todo el ambiente desarrollado el software brinda la capacidad de recrear una simulación completa. Además, Atoll posee la capacidad de generar predicciones y simulaciones que ayudan a entender el comportamiento de la red.

## DESARROLLO DEL TEMA

### I. Recopilación de datos

Para el desarrollo de un estudio de la red LTE en Quito se requirió de una diversa recopilación de datos, entre los cuales se encuentran mapas geográficos de superficie y de altura. El software empleado requiere de diversos parámetros al momento de ser configurado, el estudio de la red móvil en Quito cuenta también con una vasta recopilación de datos de los usuarios que llegan a establecer una conexión con la red estudiada, para el estudio individual de los usuarios se realizó una clasificación mediante técnicas de Machine Learning. Se exploró diferentes técnicas y haciendo un análisis individual para ver la eficiencia de cada uno de estos métodos. Todos los métodos están apoyados de algoritmos matemáticos respectivamente y al final nos darán una matriz de confusión. Para calcular los valores respectivos en cada uno de los métodos tenemos datos de precisión, sensibilidad y puntaje F1. En base a los datos que se han trabajado se obtiene características de los diferentes usuarios que dieron su información de comportamiento con respecto a la red móvil, estos van a ser: sexo, edad, operadora, tiempo de llamadas y redes sociales, satisfacción con el servicio, actividad de usuario, total datos mensuales, servicio móvil más usado y pago mensual. Los métodos que se tomaron en cuenta para predecir la clasificación del usuario fueron: K-Nearest Neighbor y K-Means Clustering.

### II. Interpretación y discriminación de los datos recabados

Partiendo de la recopilación de datos respectiva se ajusta y tabula cada uno de los datos. Estos van a ser el tiempo de llamadas, pago mensual, tiempo en redes sociales, uso de datos mensualmente y entre otros.

El ajuste de datos también fue para para usuarios que dejaron ciertos campos en blanco como fue la edad, en este caso se tuvo que primero realizar un mapa de calor para saber en donde existen campos dejados vacíos.

Para los datos faltantes de edad se discrimina en base a las características que este usuario tenga, si es una persona que trabaja estadísticamente en el Ecuador las personas que estudian tienen una edad menor a menos a 26 años sin embargo debemos ver qué otras características tiene cómo son la media de edades según las operadoras, los datos que este usuario consume mensualmente y sobretodo el tiempo que esta persona usa las llamadas ya que estadísticamente en los datos obtenidos el 70% de las personas menores de 24 años tienen un tiempo de llamadas de 1 a 5 minutos. Con los datos proporcionados por los usuarios en base a la estadística podemos interpretar y tabular correctamente todo este tipo de casos que requieren una comprensión de los datos. Para el ajuste, visualización y tabulación de todos los datos se los recopiló en formato tipo “.csv” para que en cualquier lenguaje de programación este se pueda aplicar y no tener que recurrir a ajustar como strings, tablas y objetos. En el estudio de los usuarios se empleó Python con sus respectivas librerías para el análisis de datos.

### **III. Aplicación de Machine Learning**

Antes de empezar a trabajar se debe tener en cuenta que los datos que se han tomado deben ser de tipo “integer” o “float” para empezar a modelar con las técnicas de Machine Learning. En las dos técnicas que van a ser empleadas los datos van a ser normalizados mediante “Z Score Classification”.

#### **A. Métodos Supervisados**

##### **i. K Nearest Neighbors**

KNN por sus siglas es una técnica en el cual en un plano determinado vamos a tratar de predecir la clasificación de un punto en base las muestras que se encuentran en el plano, por esa razón es un método de supervisado que requiere datos de entrenamiento. Dado un dígito entero positivo  $K$  y un test de observación de  $x_0$ , el clasificador KNN identifica los  $K$  puntos en la data de training que son cercanos al punto  $x_0$ . Este algoritmo es basado en asunciones que dependen del Nearest Neighbor y  $K$  debe ser impar ya que si tenemos un  $x_0$  puede existir la ligera posibilidad de tener votos pares de dos grupos diferentes en el “cluster”.

Formalizando los conceptos de K-Nearest Neighbors, suponemos que tenemos un punto de prueba  $x$ , donde tenemos que:

$S_x : \text{Set de } x$

$$S_x \subseteq D \text{ tal que } |S_x| = K \quad (1)$$

$$\forall (x', y') \in D \setminus S_x \quad (2)$$

$$\text{dist}(x, x') \geq \max(\text{dist}(x, x''), \text{dist}(x, x''')) \quad (3)$$

A partir de esta formalización interpretamos que, si  $S_x$  es parte de  $D$  y tenemos cardinalidad de  $K$  puntos. Para cada punto que pertenece a  $D$  pero no  $S_x$  vamos a tener la expresión 3, esta expresión nos dice que vamos a tener la distancia  $x, x'$  mayor o igual a la distancia máxima de cualquier punto en  $S_x$  al punto de prueba ( $x', x''$ ). Esto de una manera más sencilla no quiere decir que si no eres un K-Nearest Neighbor entonces vas a estar más lejos que un K-Nearest Neighbor, y es fácil darse cuenta ya que este algoritmo tiene como base identificar a los K-Nearest Neighbor del punto de prueba para predecir su clasificación.

Este algoritmo va a funcionar tan bien como sea la distancia métrica, si esta refleja similitud y etiquetas entonces tendremos un buen método de clasificación, podemos decir que, si tenemos una distancia 0 y la etiqueta es la misma, y la distancia es 1 y la

etiqueta es diferente entonces está bien porque el “K-Nearest Neighbor” tiene la misma etiqueta o label que el punto de test.

La clave en este algoritmo se mencionó que es la distancia métrica, de manera que es importante usar una buena distancia métrica, comúnmente este algoritmo emplea “Minkowski Distance”. Vamos a determinar nuestras distancias hacia los diferentes puntos con el fin de encontrar nuestro “K-nearest neighbor”.

$$dist(x, y) = \left( \sum_{i=1}^d |[x]_i - [y]_i|^p \right)^{1/p} \quad (4)$$

Ahora, como sabemos la distancia que va a haber desde un punto de prueba  $x_0$  hasta un “K-nearest neighbor”, se va a emplear la expresión de Minkowski en “ $p$ ” con diferentes valores.

$$p = 1, \text{ Manhattan}$$

$$p = 2, \text{ Euclidean Distance}$$

$$p \rightarrow \infty, \text{ máxima distancia}$$

Para encontrar las distancias entre el punto previo muestreado y el punto de prueba  $x_0$  comúnmente el algoritmo emplea la distancia Euclidiana que la calcula de la siguiente manera. (Zhongheng, 2016)

$$D(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (5)$$

Para aplicar en el algoritmo los datos no pueden estar en sus valores reales, sino que estos primero se los debe estandarizar mediante el “Z Score Normalization” para hacer este proceso primeramente debemos sacar el promedio y desviación estándar para los más de 600 datos que se trabajó con arrays. Los datos después de la modificación se dividen en test y “training”.

Ya seleccionados los datos, se procede a ejecutar el algoritmo para clasificar los diferentes usuarios que son los puntos del plano. Primero empezamos con  $K=1$  y luego



analizamos el valor de K que es correcto. Los resultados van a ser la clasificación que asigna el algoritmo, como se dijo previamente se quiere ver que usuario estableció o no conexión. La clasificación del arreglo la podemos ver en la parte de figuras, donde están los arreglos originales y predichos por Python.

Como vemos en el arreglo clasifica cada usuario entre 1 y 0, este arreglo es de predicción ahora para comprobar con los datos reales debemos hacer un arreglo para comparar. El arreglo de datos reales está en el dataframe pero debemos transformarlo en un array con numpy. Con estos arreglos vamos a tener los valores de matriz de confusión y ver nuestras estadísticas generales. La matriz de confusión es aquella que contiene los datos después de haber trabajado, esta contiene los resultados reales y predichos por el algoritmo K Nearest Neighbors.

- TN: Usuarios que no establecen conexión en red y predicción.
- FN: Usuarios que establecen conexión en red y no en predicción.
- FP: Usuarios que no establecen conexión en red pero si en predicción.
- TP: Usuarios que establecen conexión en red y en predicción.

Los resultados KNN con K=1 de la matriz de confusión son los siguientes:

$$\begin{bmatrix} 24 & 9 \\ 5 & 143 \end{bmatrix}$$

Viendo la matriz de confusión del dataset de usuarios vamos a construir una tabla en base a las ecuaciones de precisión y sensibilidad.

Class	Presición	Sensibilidad	Puntaje F1	Supported
<b>Connected</b>	0.94	0.97	0.95	148
<b>Not Connected</b>	0.83	0.73	0.77	33

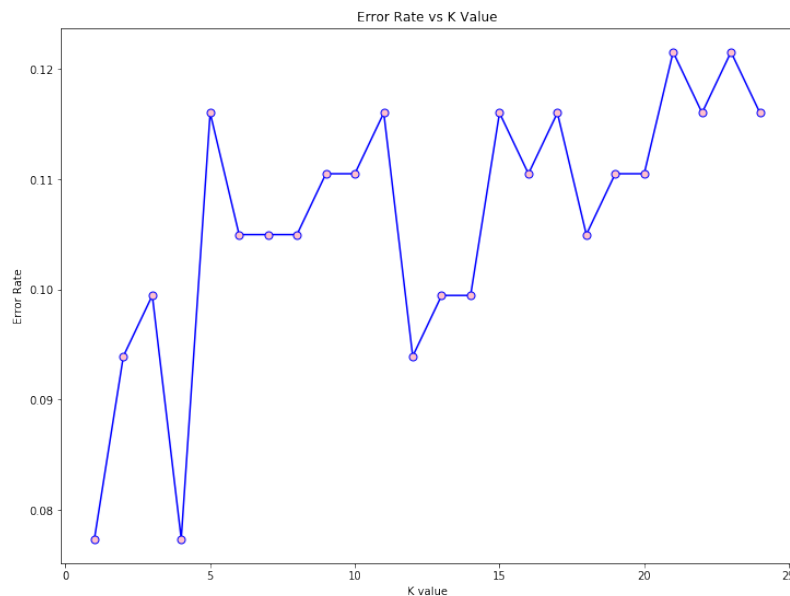
Tabla #1: Resultados de KNN

Vemos que existe más de un 90% en precisión al momento de predecir si un usuario se conecta y un 77% para predecir que tipo de usuario no va a establecer conexión a la red móvil. Para saber que valor usar se debe hacer una comparación de el error que va a existir al momento de ir variando K. Para hacer el análisis de el valor de K debemos

hacer una comparación desde  $K=1$  e ir aumentando progresivamente para ver la tendencia. La diferencia entre nuestros valores de predichos y reales tendrá la notación  $Er$ , la cual nos indicará los errores en el arreglo de diferentes  $K$ . El promedio del arreglo  $Er$  será la tasa de error donde  $m$  será el tamaño del arreglo.

$$Er = [Er_1 Er_2 \dots Er_n] \quad (6)$$

$$\frac{1}{m} \sum_{j=1}^k Er_j \quad (7)$$



Gráfica #2: Promedio de errores en diferentes  $K$

Como vemos el error esta por menos del 0.15 de manera que es bastante buena la predicción al momento de variar  $K$ , en base al gráfico vemos que a medida que se aumenta el valor de  $K$  va a aumentar hasta  $K=25$ , a partir de ese valor se mantiene el error por lo que intuimos que el algoritmo va a funcionar correctamente desde  $K=11$ , pero va a existir un overfitting y alta sensibilidad así que podemos elegir el valor con poco error entre 4 y 14, en este caso vamos a emplear un  $K=12$ .

$$\begin{bmatrix} 18 & 15 \\ 2 & 146 \end{bmatrix}$$

Class	Presición	Recall	F1 Score	Supported
Connected	0.91	0.99	0.94	148
Not Connected	0.90	0.55	0.68	33

Tabla #2: Resultados de KNN

## B. No supervisado

### ii. K Means Clustering

Este método lo que hace es formar centroides alrededor de grupos de datos en base a las características que estos tengan. K-Means Clustering es la solución planteada al problema de clasificar sin tener valores arbitrarios basados en la información recopilada de los usuarios. El algoritmo funciona de la siguiente manera, el dataset se lo va a partir en “K” distintas de manera para que no exista una superposición en los cluster. El proceso de “K-Means Clustering” viene de un problema matemático. Primero definimos la siguiente expresión  $C_1, \dots, C_K$  que denota conjuntos que contienen índices de cada punto en diferente cluster que deben cumplir las siguientes condiciones:

1.  $C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_K = \{1, \dots, n\}$  : Esto quiere decir que cada punto o muestra del dataset pertenece al menos a 1 de los K clusters.
2.  $C_K \cap C_{K'} = \emptyset$  para todos  $k = k'$  : Los cluster no se van a sobreponer por lo cual un punto no va a estar en mas de un mismo cluster.

Para que el algoritmo funcione correctamente al momento del clustering su variación interna del cluster debe ser lo mas pequeño posible. La variación interna del cluster  $C_K$  va a ser la medida  $W(C_K)$  de la cantidad de muestras en los cuales difieren unos de otros. Por ejemplo, en la siguiente ecuación:

$$\text{reducir } C_1, \dots, C_K \left\{ \sum_{k=1}^K W(C_k) \right\} \quad (8)$$

Esta fórmula dice que la partición de muestras en K clusters de tal manera que la variación interna del cluster, junto con el resto de K cluster sea lo más reducida posible.

Para resolver este problema debemos definir el error interno en el cluster, existen muchos métodos para resolver la ecuación planteada previamente, la manera mas común que se emplea es la distancia Euclidiana. Donde  $|C_k|$  es el número de observaciones del k-ésimo cluster.

$$W(C_k) = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_i - x_{i'j})^2 \quad (9)$$

De manera que la variación interna del cluster para el k-esimo cluster va a ser la suma de todas las distancias Euclidianas entre los diferentes punto o muestras en el k-ésimo cluster, dividido para el numero total puntos. Combinando las ecuaciones previas tendremos la expresión que define las diferencias en las distancias de los interiores de K clusters mediante distancias Euclidianas.

$$reducir C_1, \dots, C_K \left\{ \sum_{k=1}^K \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_i - x_{i'j})^2 \right\} \quad (10)$$

Para la resolución de la ecuación (10) se emplea un algoritmo que puede llegar a ser una optima solución. Esta resolución se la planta en dos pasos.

1. Se asigna de manera aleatoria un número, de 1 a K, a cada uno de los puntos. Esto va a ayudar como cluster inicial para los puntos.
2. Este procesa va a repetirse hasta que dejen de cambiar las asignaciones:
  - a. Para cada cluster K, se va a calcular el centroide, el k-ésimo cluster va a ser el vector de “p” características promedio para los puntos en el k-ésimo cluster.
  - b. Se debe asignar cada observación al cluster cuyo centroide este próximo, esto se lo hace mediante la definición de “Distancia Euclidiana”.

Este algoritmo va a garantizar que el valor de la ecuación con referencias al error interno de los cluster va a tener una tendencia a decrecer en cada paso. Para tener una idea de la ecuación que se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_i - x_{i'j})^2 = 2 \sum_{i \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_i - \bar{x}_{kj})^2 \quad (11)$$

Donde  $\bar{x}_{kj} = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i \in C_k} x_{ij}$  es la media para la característica de  $j$  en el Cluster  $C_k$ . En el paso 2 literal la media del cluster para cada característica van a ser las constantes para minimizar la suma de desviaciones y en el paso b del mismo literal vamos a tener que reasignar las observaciones va a mejorar la ecuación (11). Con esto mientras el algoritmo trabaje, el proceso de cluster va a mejorar constantemente hasta que ya no exista mayores cambios dentro de los cluster, habiendo un punto óptimo local.

Todos los valores que van a ser empleados en el dataset deber ser normalizados mediante el método de “Z Score Normalization” para poder trabajar con los datos. Aplicando al dataset tenemos los resultados que se encuentran los anexos de tablas. La predicción sin ser supervisada tiene una precisión de un 82% y un valor promedio de 65% con la sensibilidad. Pero, si decimos que existen dos grupos que son los que tuvieron o no conexión estamos sesgando en base a un valor arbitrario que era la conexión de los usuarios. Por lo que vamos a ver el número óptimo de clusters en base a “K-Means Clustering”.

### iii. K Means Clustering and number of clusters

El algoritmo tiene como base seleccionar un centroide en base al número de clusters, de manera que si aumentamos nuestro número de clusters como se especificó en la ecuación (11), el error interno del cluster va a disminuir. Esto es necesario para graficar los errores internos que existen en cada cluster y determinar las distancias de todos los puntos que existen dentro del cluster vamos a usar nuevamente el concepto de distancia Euclidiana. De manera que tomamos como base la definición de distancia Euclidiana de dos puntos en un sistema de dimensiones en  $R^9$ . Cuando  $K=1$ , sabemos que tenemos

solo 1 grupo de todo el dataset y vamos a determinar el delta de todos los usuarios del dataset con las 9 dimensiones.

$c1$ : *centroide 1*

$Df$ : *Dataframe*

Nuestro dataframe es una matriz de (602,9) de esta manera vamos a trabajar con matrices de 1x9 para realizar las operaciones de diferencia entre el punto determinado y el centroide.

$$Df = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,9} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,9} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{602,0} & a_{602,1} & \dots & a_{602,9} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$c1 = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_9] \quad (13)$$

Partiendo de la definición de delta de las dimensiones vamos a tener 1 matriz que contiene 602 arreglos matriciales de (1,9) en el caso de  $K=1$ . De manera general vamos a tener que la diferencia entre  $n$  puntos y el  $n$ -ésimo centroide es la siguiente.

$P_{diff}$ : *arreglo matricial*     $C_n$ : *Centroide n*

$$P_{diff} = C_n - Df \quad (14)$$

Es importante aclarar que no va a ser todo el arreglo de  $Df$  sino los puntos que pertenecen al determinado centroide. Una vez que tenemos todos los  $n$  arreglos de los deltas en todas las dimensiones, vamos a elevar todos al cuadrado, con esto logramos que todos sean positivos para luego sumar todos los elementos del arreglo matricial y determinar el resultado final, con eso determinamos la distancia Euclidiana, ya que para cada punto que es la muestra, existirá un arreglo de 9 dimensiones.

$$(P_{diff\ 0,0})^2 = [d_{0,1} \ d_{0,2} \ d_{0,3} \ d_{0,4} \ \dots \ d_{0,9}]^2 \quad (15)$$

$S_c$ : *Suma de cuadrados en la matriz*

$$(S_c)_0 = [(d_{0,1})^2 + (d_{0,2})^2 + (d_{0,3})^2 + (d_{0,4})^2 + \dots + (d_{0,9})^2] \quad (16)$$

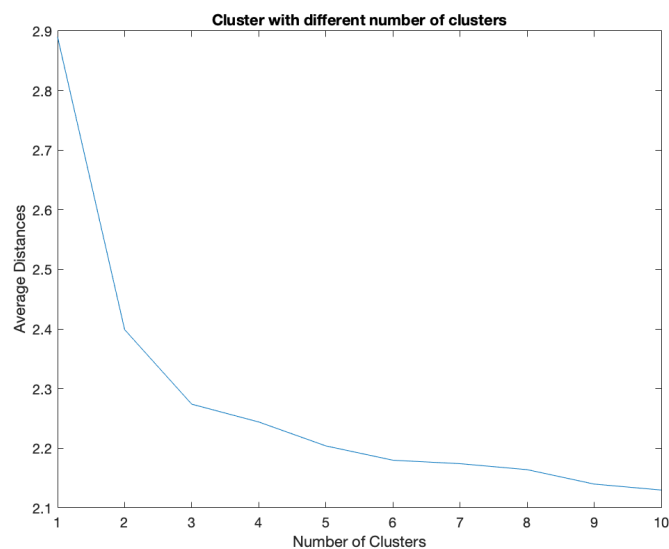
$D_p$ : Distancia punto y cluster

$$D_{p_0} = \sqrt{Sc_{0,0}} \quad (17)$$

Teniendo los valores de las distancias se calcular el promedio, el cual es el error interno dentro del cluster mencionado, donde  $m$  es el número total de muestras.

$$\frac{1}{m} * \sum_{j=0}^m (D_{pj} + D_{pj+1} + D_{pj+2} \dots D_{pj+m}) \quad (18)$$

Con los resultados que tenemos de la función de Sklearn, vamos a hacer un análisis de comportamiento en los cluster. Programando una función dentro de Python en la cual toma como argumento de entrada el arreglo de grupos que es son los labels, se mapea las diferentes posiciones dentro del arreglo para saber a que grupo pertenece cada punto y en base a eso agrupar y determinar la diferencia interna de los  $K$  clusters. Con las posiciones de la función programada, se determinará la correspondencia del usuario al grupo, con esto logramos calcular la Distancia Euclidiana de los puntos al centroide respectivo. La técnica aplicada nos dará el error interno del cluster, y así con diferentes valores de  $K$ . Se va a tener una gráfica errores desde  $K=2$  hasta  $K=10$ .



Gráfica #2 : Cluster con diferentes cluster vs distancias promedio

Observando nuestro gráfico de errores según cuantos cluster, vamos a poder ver el número óptimo de cluster que existen en el dataset. La técnica que se está aplicando es conocida como Elbow method, donde veremos cuantos cluster van a existir en el dataset que se está trabajando. De la gráfica a simple vista vemos que existen dos puntos donde hay inflexión, estos se los puede tomar como puntos considerables de K óptimos para el dataset. Los puntos K=2 y K=3 son los cluster ideales que se determinan en el algoritmo, esto nos quiere decir que existen 2 y 3 grupos de datos. Este algoritmo nos ayuda a interpretar y dar una idea de clasificación sin ser supervisado. La visualización en 9 dimensiones no es viable por eso se aplica el Elbow Method para ver el número óptimo de cluster en los datos respectivos. Analizando el número de clusters vamos a clasificar a los usuarios según el grupo que determine el algoritmo, este algoritmo nos va a decir la clasificación de los usuarios, vamos a tener tres tipos de usuarios con los diferentes servicios que usan a diario. Los parámetros fueron posteriormente empleados al momento de crear tipos de usuarios en nuestro software Atoll con el fin de hacer una predicción.

<b>Características de Usuario</b>	<b>Residencial</b>	<b>Business</b>	<b>Estándar</b>
<b>Edad media [años]</b>	41	25	27
<b>Pago mensual [USD]</b>	21.66	24	20.21
<b>Tiempo de Llamadas al día [min]</b>	9.36	7	8
<b>Tiempo de Acceso a Internet [Horas]</b>	1.64	2.4	2.2
<b>Género [M - F]</b>	116 - 108	86 - 68	112 - 110
<b>Datos mensuales [Mb]</b>	1242.82	3600	2645

Tabla #3: Características de usuario

Como nuestro resultado de Machine Learning nos dice que existen 3 grupos los cuales fueron clasificados en tipos de usuarios con los diferentes servicios que usan. En los usuarios business y estándar predomina Movistar con 160 usuarios, en el usuario residencial tenemos como líder a Claro con 101 personas, todo esto tiene sentido ya que



Movistar tiene varios planes y líneas corporativas haciendo que tenga varios clientes y sea líder. Con respecto a CNT llega a ser el proveedor con menos clientes en la zona estudiada con 102 usuarios. Para la implementación de una red ya sea 4.5G o 5G a futuro se debe empezar analizando las características del usuario, como son los tiempos de uso de la red, estos contienen variables como acceso al internet, llamadas y utilización de diferentes servicios. De manera que realizado un estudio técnico basado en simulaciones de Machine Learning, estos resultados nos dicen algo más allá de las estadísticas simples, sino que se adelantan buscando correlaciones entre diferentes datos, todo esto con el propósito de clasificar y dar información acerca de la implementación de la red. Por ejemplo, se determinó la existencia de tres grupos en la base de datos tomada y con este se creó los usuarios existentes en el software Atoll. Después del estudio al usuario se debe trabajar con la arquitectura de la red, en este caso la LTE y todos los parámetros que conlleva.

#### **IV. Sistema móvil de cuarta generación LTE**

El sistema Long Term Evolution o más conocido por sus siglas como LTE es un estándar que fue creado por la norma 3GPP “3rd Generation Partnership Project” con el fin de aumentar las capacidades de las anteriores tecnologías ya que la demanda de este servicio a incrementado a pasos acelerados. Las mejoras que presenta este sistema son: aumentar las velocidades de transmisión de datos, disminuir interferencias, reducir la latencia, menorar la potencia de consumo en los terminales móviles, mejorar la eficiencia espectral. Utiliza técnicas de acceso en el canal físico y se aprovecha la flexibilidad del ancho de banda.

El sistema LTE puede ser diseñado a diferentes anchos de banda que van desde 1.4 Mhz a 20 MHZ. La técnica de acceso para el enlace ascendente es la SC-FDMA y para el enlace descendente es la OFDMA.

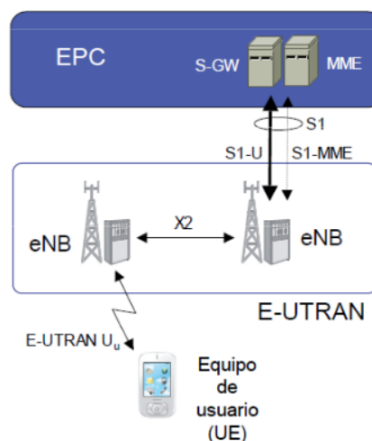
Características de la red LTE	
<b>Velocidad DL</b>	100 Mbs
<b>Velocidad UL</b>	50 Mbs
<b>Modulación</b>	64 QAM
<b>Latencia</b>	menor a 10 ms
<b>Arquitectura</b>	Protocolo IP
<b>Técnica de acceso DL</b>	OFDMA
<b>Técnica de acceso UL</b>	SC-FDMA
<b>Canalización</b>	1.4 - 3 - 5 -10 -15 -20 MHz

Tabla #4: Características de la red LTE

## V. Arquitectura de la red LTE

La arquitectura de un sistema LTE esta formado por tres partes generales las cuales son: red de acceso llamada E-Utran (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network), dominio de paquetes denominada EPC (Evolved Packet Core). La unión de estas dos partes se conoce como EPS (Evolved Packet System).

La arquitectura de la Red LTE se desarrolló con el fin de reducir los costos, la latencia y usar conmutaciones de paquetes, esta arquitectura no posee jerarquía y trabaja con una cantidad pequeña de nodos e interfaz permitiendo disminuir significativamente la latencia.



Gráfica #3: Arquitectura de red LTE

**Fuente:** Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles, Fundación Vodafone España, 2010.

## **VI. Acceso Múltiple**

Los sistemas LTE poseen flexibilidad en su canalización ya que pueden trabajar en 1.4 MHz, 3 Mhz, 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz, esto nos permite mejorar significativamente la velocidad de transmisión de datos, esta característica nos ayuda a poder migrar paulatinamente a la tecnología LTE de anteriores sistemas como 2G y 3G.

Esta tecnología se aplica en el nivel físico y su finalidad es aumentar la capacidad y la eficiencia del espectro. En el enlace ascendente tenemos la técnica de acceso denominada SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) mientras que para el acceso descendente tenemos la OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

### **A. OFDMA**

Al trabajar con un ancho de banda de 20 Mhz este nos produciría distorsiones debido a la interferencia inter simbólica (ISI) de las múltiples propagaciones, para evitar este problema se utiliza la técnica de acceso múltiple OFDMA para el enlace de downlink. Esta técnica permite dividir el espectro en varias subportadoras con una separación de 15 KHz, esta división permite albergar varias transmisiones al mismo tiempo con diferentes flujos de información ya que tenemos diferentes subportadoras gracias a esta técnica de acceso.

El sistema se encargará de asignar el número de subportadoras a los usuarios dependiendo de las necesidades que esté presente como la velocidad y condiciones del canal.

### **B. SC-FDMA**

Es una técnica de acceso para el enlace de uplink, esta técnica de modulación combina la robustez, propagación de varios caminos y flexibilidad de las subportadoras, pero la ventaja más destacable que presenta es reducir la potencia

instantánea y media de transmisión como consecuencia se logra evitar tener amplificadores complejos en los terminales móviles aumentando la autonomía de las baterías.

## VII. Interfaz de radio

### A. Capa física

La capa física es la parte donde se se utiliza las técnicas de acceso múltiples antes mencionadas las cuales son OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el ascendente.

La capa física del sistema LTE está diseñada para que el sistema opere en las bandas de UHF, es decir, por encima de los 450 MHz y hasta los 3,5 GHz. Los posibles esquemas de la modulación para el enlace descendente son: QPSK, 16- QAM y 64- QAM. Para el enlace ascendente serán las mismas modulaciones, pero dependerán de la capacidad del terminal móvil.

### B. Bloque de recurso

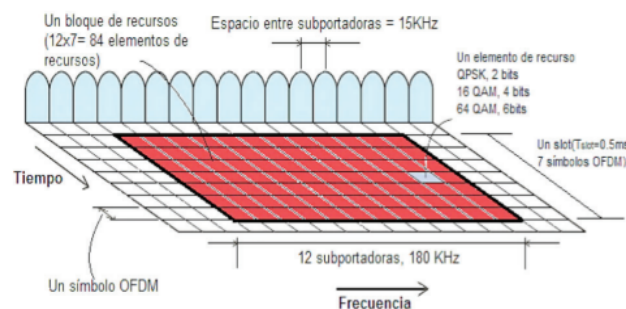
Un PRB “Physical Resource Block” es el elemento más pequeño de información que puede ser establecido por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180 kHz de banda, en el cual tenemos 12 subportadoras con una separación de 15 kHz entre ellas. En el método de multiplexación OFDMA se transmiten 7 símbolos. La duración de un PRB es de 0,5 ms. En la siguiente tabla se presentan el número de PRB por cada canalización.

<b>Canalización</b>	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 Mhz
<b>Número de PRB</b>	6	15	25	50	75	100

Tabla #5: Número de PRBs

En un PRB tenemos 7 símbolos por cada subportadora, entonces si multiplicamos las 12 subportadoras con los 7 símbolos obtenemos 84 símbolos.

Debemos tomar en cuenta que también disponemos de modulaciones las cuales son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, cada una de estas modulaciones representan la capacidad de bits por transmitir, si consideramos que los sistemas móviles disponen de una máxima modulación de 64 QAM entonces podremos transmitir 6 bits por cada símbolo, por lo tanto, podremos enviar 504 bits cada 0.5 ms. Por lo tanto, en cada PRB se podrá transmitir aproximadamente 1Mb/s.



Gráfica #4: Bloque de recursos físicos

**Fuente:** Initial field performance measurements of LTE, Ericsson Review, 2008.

## VIII. Frecuencias Sistema LTE

El espectro radioeléctrico es un recurso natural propiedad del Estado.

ARCOTEL es el organismo encargado de gestionar y administrar las distintas bandas de frecuencias.

En implementación de los sistemas LTE en el Ecuador empezó en el año 2004 las bandas más utilizadas para la implementación de esta tecnología son las bandas de 800 MHz y 1900 MHz. En el anexo A podemos ver como se encuentra distribuido el espectro para las diferentes empresas que funcionan en el país.

Para desarrollar el proyecto hemos elegido trabajar en la banda 4 que corresponde las frecuencias de 1700/2100 MHz con un ancho de banda de 40 MHz, el cual nos permite trabajar con dos anchos de banda de 20 MHz para cada antena esto nos permite reducir la interferencia debido a las antenas vecinas.

## IX. Datos del lugar

En la tabla # 6 se observa las características principales del lugar en donde se lleva a cabo el dimensionamiento y la simulación de la red LTE.

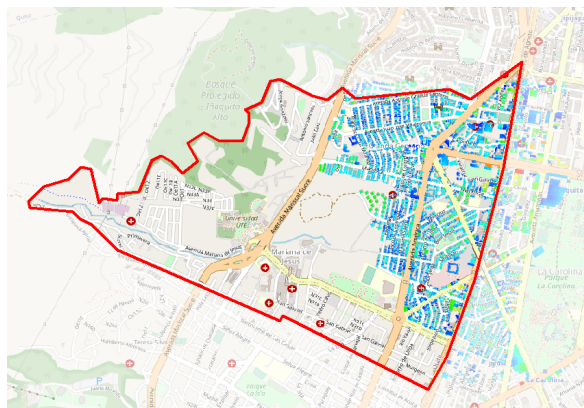
Los siguientes datos como la ubicación, área, perímetro se obtuvieron mediante Google maps y la población del sector se calculó considerando el área de la parroquia de Rumipamba y la densidad poblacional de Quito. La densidad poblacional de Quito es 4347.98 Hab/ km<sup>2</sup> según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

<b>Sitio</b>	Parroquia de Rumipamba	
<b>Ciudad</b>	Quito	
<b>Provincia</b>	Pichincha	
<b>Coordenadas</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
	0°10'36.5"S	78°29'41.1"W
<b>Población</b>	23000	
<b>Area</b>	4.90 km	
<b>Altura</b>	2820 m.s.n.m	

Tabla #6: Datos ubicación del sitio

### A. Mapa de la parroquia urbana de Rumipamba

En la siguiente figura podremos observar el área de la parroquia Rumipamba en donde se realizará el despliegue de los eNBs para realizar la simulación de cobertura y de tráfico.



Gráfica #5: Mapa de la parroquia de Rumipamba.

## X. Diseño de tráfico de la red

### A. Número de usuarios

Según los cálculos obtenidos la población en la parroquia de Rumipamba es de 23044 habitantes, este dato se utiliza para calcular el número de eNBs que será desplegados en el área de 4.90 km<sup>2</sup>. Esta cantidad de habitantes se considera sin fraccionar ya que se toma en cuenta que la tendencia a futuro de las personas es acceder a la red LTE ya que con el pasar del tiempo la personas adquieren un smartphone para tener acceso a redes sociales, entretenimiento, navegación en internet, video conferencias.

### B. Clasificación de la población de Rumipamba

Para poder realizar una mejor simulación dividimos a los habitantes de Rumipamba en tres ambientes poblacionales los cuales son suburbano, urbano y denso urbano.

<b>Población de Rumipamba por ambientes</b>	
<b>Ambientes</b>	<b>Densidad [hab/km<sup>2</sup>]</b>
Suburbano	200
Urbano	400
Denso urbano	800

**Tabla #7:** Población por ambientes

### C. Capacidad y velocidad de red para un ancho de banda de 20 Mhz

En este apartado se calcula el número de usuarios por el ancho de banda de 20 MHz, observa el Anexo B. Esta red pose 100 canales de 180 KHz según el número de PRB que ofrece un ancho de banda de 20 MHz, también se considera una separación de 15 KHz para evitar interferencia entre los canales, observar el Anexo C.

Sabemos que un PRB es el mínimo recurso que se puede ofrecer a un usuario para que pueda acceder al servicio de la red LTE, entonces consideramos el peor de los casos, suponiendo que los 23 000 habitantes se conectaran al mismo tiempo entonces

se asignan un PRB a cada usuaria cada 10 ms, de esta forma también se logra cumplir con la latencia máxima de los sistemas LTE y aseguramos brindar servicio a cada uno de los usuarios.

En vista que tenemos 100 canales y cada canal cuenta con un ancho de banda de 180 KHz este se reasignara cada 10 ms para cada usuaria, por lo tanto, podremos brindar servicio a 1000 usuarios con una latencia de 10 ms.

Sabemos que cada eNB o estación base tendrá tres antenas que podrán brindar cobertura con un ancho de banda de 20 MHz, entonces cada antena prestara servicio a 1000 usuarios, pero la población a la que tenemos que cubrir es de 23 000 habitantes por lo que es necesario tener 8 estaciones base y cada estación base tendrá 3 antenas por lo que tendremos 24 antenas.

	<b>Resultados de cálculos</b>	<b>Números reales</b>
<b>Número de sectores</b>	23	23
<b>Número de eNodeBs</b>	7.7	8
<b>Número de antenas</b>	23	24

Tabla #8: Número de antenas

BW por usuario= 180 KHz en 1 ms

Se puede asignar a 100 usuarios cada 1 segundo.

En el diseño de la red consideramos que todos los dispositivos móviles contarán con la capacidad de modulación de 64 QAM el cual tendrá 6 símbolos por cada modulación y cada 1 ms tendremos 1008 bits. En la tabla #9 podemos observar la cantidad de bits que se puede enviar con cada modulación.

<b>Modulaciones</b>	<b>Numero de bits por modulación</b>	<b>Cantidad de bits por enviar cada 0.5ms</b>	<b>Cantidad de bits por enviar cada 1ms</b>
<b>QPSK</b>	2	168	336
<b>16 QAM</b>	4	336	672
<b>64 QAM</b>	6	504	1008

Tabla #9: Modulaciones



En la red LTE podremos transmitir 1008 bits/ms, pero para los cálculos consideramos 1000 bits/ms, por lo tanto, en un segundo tendremos 1 000 000 bits/s esto es igual a decir 1 Mb/s. también se debe considerar que la red dispone un 15 % de la velocidad para uso de control y señalización.

<b>Aproximado</b>	Mb/s	1	
<b>Velocidad de pico del usuario</b>	Mb/s	100	
<b>Recursos destinados a control y señalización</b>	Mb/s	85	<b>Velocidad disponible</b>

**Tabla #10:** Velocidad de la red

La velocidad en la red será de 85 Mb/s este valor va a depender de cuan cerca está el usuario a la estación base y la modulación de su terminal móvil.

## **XI. Modelo de propagación.**

El modelo de propagación utilizado para este proyecto fue el Standard Propagation mode, el cual es uno de los modelos de propagación disponibles en el software Atoll. La razón por la cual se eligió fue que es un modelo especializado que trabaja en frecuencias desde 150 MHz y 3500 MHz y es idóneo para distancias que pueden llegar hasta los 20 kilómetros. El SPM destaca del resto de modelos debido a que dentro de Atoll ya que esta toma en cuenta el perfil de terreno, las clases de ocupación de suelo y las alturas de las antenas para el correcto calculo de pérdidas de trayectoria.

$$L_{model} = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(H_{T_{xeff}}) + K_4 \cdot \text{Diffraction loss} + K_5 \log(d) \cdot \log(H_{T_{effx}}) + K_6(H_{R_{xeff}}) + K_{clutter}f(clutter).$$

Donde las constantes son las siguientes:

**K<sub>1</sub>:** Constante de offset (dB).

**K<sub>2</sub>:** Factor de multiplicación para log(d).

**d:** Distancia entre el receptor y el transmisor en metros (m).

**K<sub>3</sub>:** Factor de multiplicación para log (H<sub>T<sub>xeff</sub></sub>)

**H<sub>T<sub>xeff</sub></sub>:** Altura efectiva de la antena transmisora (m).

**K<sub>4</sub>:** Factor de multiplicación para el cálculo de la difracción. (positivo).

**Diffraction loss:** Perdidas debido a la difracción sobre un camino obstruido.

**K<sub>5</sub>**: Factor de multiplicación para  $\log(H_{Tx\text{eff}}) \log(d)$ .

**K<sub>6</sub>**: Factor de multiplicación para  $H_{Tx\text{eff}}$ .

**K<sub>clutter</sub>**: Factor de multiplicación para  $f(\text{clutter})$ .

**f(clutter)**: Promedio de pérdidas debido a los clutters.

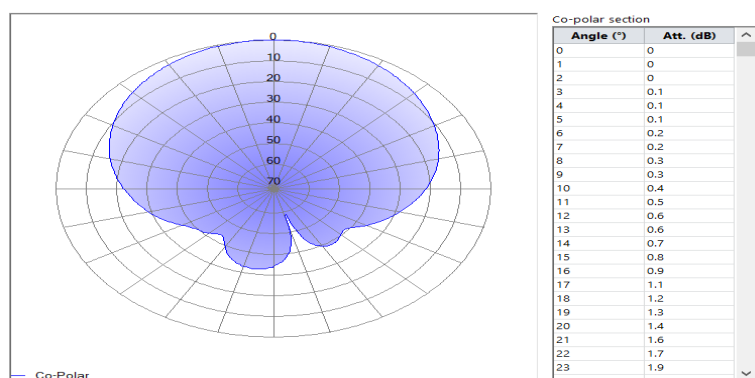
## XII. Antenas.

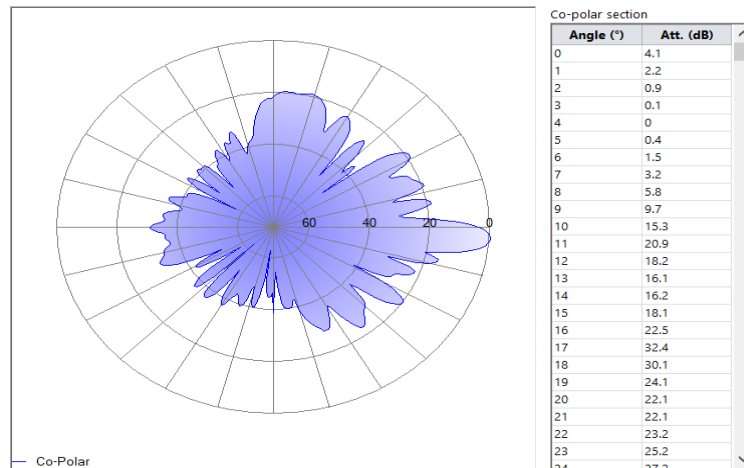
Las características de los equipos, en este caso las antenas utilizadas se muestran a continuación en la siguiente tabla:

<b>Nombre:</b>	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz
<b>Antena Fisica:</b>	65deg 17-18dBi
<b>Fabricante:</b>	Kathrein
<b>Ancho de haz de media potencia:</b>	65
<b>Ganancia:</b>	18 dBi

Frecuencias	
<b>Minimo:</b>	1920 MHz
<b>Maximo:</b>	2170 MHz
Pattern	
<b>Tilt</b>	4
<b>Electrico:</b>	
<b>Azimuth:</b>	0

**Tabla #11:** Características de las Antenas.





**Gráfica #6:** Pattern Horizontal y Pattern Vertical, respectivamente.

### XIII. Fase de planificación.

#### A. Ubicación de los sites:

Para la ubicación de los sites se tomo como referencia un modelo de despliegue hexagonal, pero este tipo de despliegues al ser el fruto de formulas matemáticas, nos puede presentar errores al momento de emplazar debido a que los sites puede caer en lugares físicamente imposibles de emplazar como calles, por lo cual para un correcto despliegue se tomo en cuenta los lugares mas altos que nos podía brindar la zona, como son tejados de edificios o montañas.

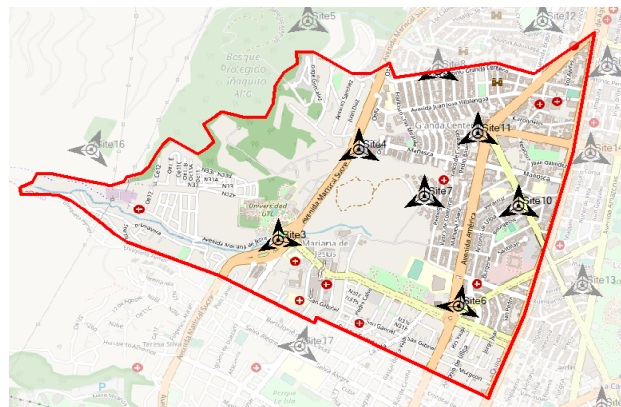
La ubicación exacta de los sites se muestran la siguiente tabla:

Nombre del Site	Longitud	Latitud	Altitud (m)
Site10	-78.4915692	-0.179397851	[2802]
Site11	-78.4939939	-0.17471619	[2868]
Site12	-78.4901253	-0.167475771	[2805]
Site13	-78.4877528	-0.184486032	[2790]
Site14	-78.487305	-0.175980688	[2796]
Site15	-78.4863002	-0.17038569	[2794]
Site16	-78.5170049	-0.175740647	[3471]
Site17	-78.5045773	-0.188420241	[2948]
Site3	-78.5058442	-0.181605256	[3012]

Site4	-78.5010506	-0.175747543	[2979]
Site5	-78.5041132	-0.16747757	[2991]
Site6	-78.4951236	-0.185833832	[2845]
Site7	-78.4971537	-0.178738802	[2847]
Site8	-78.4963557	-0.170594897	[2879]
Site9	-78.4866473	-0.192385568	[2794]

**Tabla #12:** Ubicación real de los sites utilizados para el diseño de esta red.

Debido a que la zona para trabajar es reducida, se tomó en cuenta un poco más de extensión del terreno para hacer el correcto despliegue de la red, pero para las diferentes predicciones y simulaciones están definidas bajo una zona de cómputo, donde solo va a tomar en cuenta los resultados obtenidos dentro de dicha zona, la cual corresponde la zona establecida por el municipio de la ciudad de Quito para la parroquia de Rumipamba. En si la zona de cómputo quedaría de la siguiente manera:



**Gráfica #7:** Zona de cómputo (zona delimitada por la línea roja), equivalente a la zona de que corresponde a la parroquia de Rumipamba de la ciudad de Quito. Imagen obtenida de Atoll.

Entonces todos los resultados que se presenten los siguientes incisos corresponde solamente a la zona de cómputo delimitada. Además, todos estos tipos de predicciones van a basarse en el modelo propagación seleccionado, el cual es el Estándar Propagation Model, por otro lado, este tipo de predicciones deben obedecer un nivel de resolución, ya que esto nos especifica resolución del

display, con esto se puede mejorar considerablemente el consumo de memoria y los tiempos de cálculos. Entonces Atoll nos proporciona la siguiente tabla:

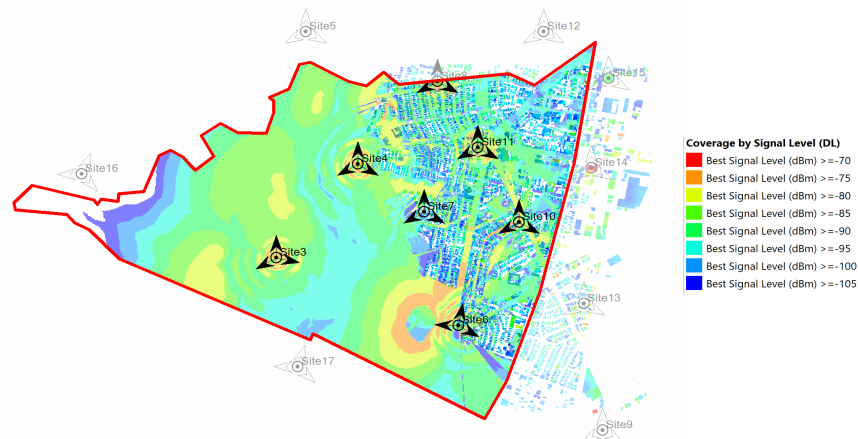
Tamaño de la predicción de cobertura	Resolución del Display
Centro de la ciudad	5 m
Ciudad	20 m
Provincia	50 m
Estado	100 m
País	Depende del tamaño del país

**Tabla #13:** Resolución del Display.

Como puede observar este dato es de vital importancia ya que el análisis se lo hace en un sector pequeño, por lo cual para todas las predicciones que se van a presentar los siguientes incisos van a tener una resolución de 5 metros, gracias a la lista sugerida por manual de usuario de Atoll.

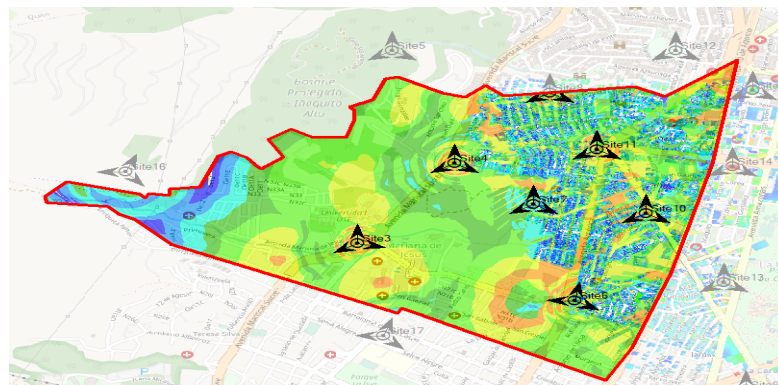
#### B. Predicción del área de cobertura.

Para comprobar el área de cobertura de la red, el primer paso que se debe realizar es las predicciones de cobertura por nivel de señal, debido a que este tipo de predicción enseña la magnitud de la potencia en los pixeles del mapa. Debido a esta característica este tipo de predicción es ideal para observar de manera gráfica si es que en algún sector donde realizamos nuestro análisis se encuentra lugares sin cobertura o que bajo nivel de señal. Los resultados son los siguientes:



**Gráfica #8:** Predicción de cobertura por nivel de señal, solo con los sites propuestos en los cálculos del capítulo. Imagen obtenida de Atoll.

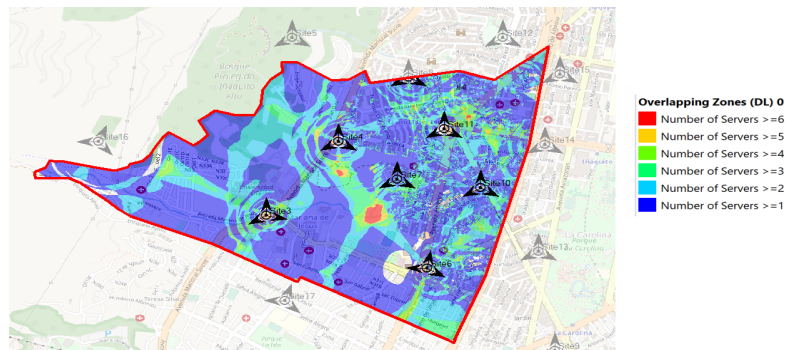
Como se puede observar en la gráfica anterior nos indica que entre más rojiza se encuentre la zona, más de nivel de señal estará presente, caso contrario entre más azul se muestre es que el nivel de señal es insuficiente. Como se presentó en la tabla #12, si solo se toma en cuenta los sites con sus respectivos transmisores, cumplir con el área de cobertura deseado es infructífero, por lo cual agregando más sites, complementan a la zona de estudio mejorando su cobertura y en futuro puede ser utilizados también para el diseño de la red ya un nivel más alto. La cobertura de nivel de señal queda de la siguiente manera:



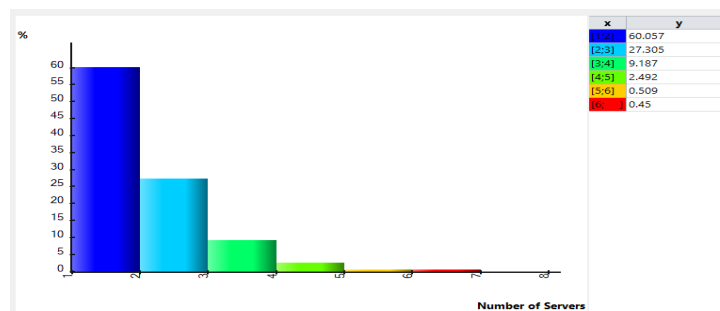
**Gráfica #9:** Cobertura por nivel señal corregida. Imagen obtenida de Atoll.

Entonces en esta figura lo que muestra es la potencia que existe en cada pixel del mapa, tomar en cuenta que esta predicción solo es idónea para visualizar si es que en el mapa existe alguna zona sin señal.

### C. Áreas Solapadas.



**Gráfica #10:** Solapamientos por servidores. Imagen obtenida de Atoll.



**Gráfica #11:** Histograma de solapamientos por servidores. Imagen obtenida de Atoll.

#### D. Análisis de señal efectiva (PDSCH DL).

Este tipo de predicciones nos muestran los niveles de potencia del canal PDSCH tanto para el caso de Downlink. En si muestra la potencia de la señal que se se desea estudiar. Este tipo de señal PDSCH debido a que estas pueden transportar los datos de usuarios e información de aviso, esta información viene de parte de la red. Los resultados de esta simulación están presentes en las figuras 3 y 4. Además se hizo la C/N de la PDSCH, en si es la relación señal y ruido que hay para esta señal. Los resultados de estas graficas están las figuras 7 y 8. En si lo que nos muestran es que entre mas cerca te encuentras del servidor mejor será su señal, lo cual corresponde al color rojizo que esta presente cerca de las estaciones.

#### **E. Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH)**

Analogamente, para cuando el canal esta en Uplink se utiliza la predicción PUSCH, la cual realiza las mismas funciones que en el canal PDSCH pero para el enlace ascendente. Los resultados se muestran en las figuras 5 y 6. De la misma idea la C/N para la señal PUSCH, los resultados de esta están en las figuras 9 y 10.

#### **XIV. Fase de dimensionamiento.**

Esta fase muestra el proceso de optimización de la red LTE propuesta a través de la modificación de ciertos parámetros y algunas simulaciones que mostraran resultados efectivos para que la optimización sea demostrada.

En este apartado, la fase de dimensionamiento posee algunas partes. Para iniciar lo que se realizar es un plan de vecinos, donde por cada celda se determinaran cuáles son los vecinos de dicha celda. Luego lo que se hará es un plan de frecuencias y la respectiva identificación de cada celda.

##### **A. Plan de vecinos.**

Atoll posee una herramienta que nos permite hacer de forma automática la asignación de vecinos.

Los vecinos, son en si los vecinos de transmisor ubicado en la simulación, estos vecinos son todos aquellos transmisores que posee un área de cobertura que se sobreponen o solapan con el área de cobertura del transmisor que está sirviendo de base o referencia. Usando Atoll es posible asignar automáticamente dichos vecinos, este parámetro es necesario para el momento de hacer el posterior plan de frecuencias y para la asignación de los recursos que el usuario de la red será posible de obtener, en otras palabras, este plan nos permite ver a que celdas el cliente podrá conectarse durante las simulaciones.



Este procedimiento se lo hace automáticamente, solo se debe tomar en cuenta que este plan se lo hace entre elementos de la misma tecnología, LTE. Los resultados de esta herramienta se encuentran presentes en anexos debido a la larga extensión de la tabla. Pero para el análisis de resultados se explicará lo obtenido en unos de los transmisores:

<b>Celda (de referencia)</b>	<b>Vecinos</b>	<b>Razón</b>	<b>Tipo de relación</b>	<b>Numero</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Simetría</b>
Site10_1(0)	Site10_2(0)	Co-Site	Intra-carrier	7	0	Verdadera
	Site10_3(0)	Co-Site	Intra-carrier		0	Verdadera
	Site11_1(0)	Adyacente	Intra-carrier		584	Falso
	Site14_1(0)	Adyacente	Intra-carrier		607	Falso
	Site14_3(0)	Adyacente	Intra-carrier		607	Falso
	Site15_3(0)	Adyacente	Intra-carrier		1157	Falso
	Site17_1(0)	Adyacente	Intra-carrier		1759	Falso

**Tabla#14:** Resultados del plan de vecinos.

En la tabla anterior lo que se puede apreciar es que a partir del del Site de referencia, se puede observar los sites con los que comparten torre sí que también los adyacentes, es decir los sites con los cuales su área de cobertura se solapa. Además, nos presenta la distancia que hay entre los transmisores con respecto al transmisor de referencia. El cuadro de simetría la considera verdadera solo con los transmisores que son Co-Site, es decir que están en la misma torre o emplazamiento.

## **B. Plan de frecuencias.**

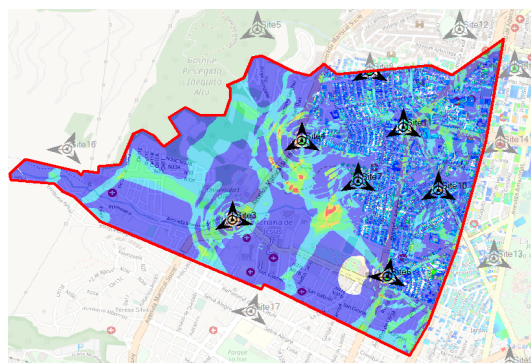
De igual manera que en el inciso anterior el plan de frecuencias se lo puede hacer automáticamente, esta herramienta se denomina AFP (Automatic Frequency Planning). Cabe mencionar que este tipo de planificación tiene en cuenta las

interferencias, distancias e incluso las colindancias de cada celda para determinar la asignación de frecuencias. Una vez entendido lo que toma en cuenta la herramienta, se debe aclarar que se hace esta asignación de frecuencias para reducir la interferencia entre las células de la red. Esta herramienta utiliza como base la asignación de frecuencias sobre las portadoras de la banda de frecuencias. Para este estudio se utilizó la banda E-UTRA Band 4, la cual tiene un ancho de banda de 40 MHz, con canalización de 20 MHz, lo cual por obvias razones nos da un total de dos canales (2050, 2250), en términos de ATOLL. Entonces lo que se hará es asignar estos 2 canales a los transmisores, los resultados de dicho estudio son los siguientes:

Site	Transmitter	Name	Frequency Band	Initial Channel Number	Channel Number	Channel Allocation Status
Site10	Site10_1	Site10_1(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated
	Site10_2	Site10_2(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
	Site10_3	Site10_3(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
Site11	Site11_1	Site11_1(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
	Site11_2	Site11_2(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
	Site11_3	Site11_3(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated
Site12	Site12_1	Site12_1(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated
	Site12_2	Site12_2(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
	Site12_3	Site12_3(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated
Site13	Site13_1	Site13_1(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated
	Site13_2	Site13_2(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2050		Allocated
	Site13	Site13(0)	E-UTRA Band 4 - 20MHz	2250		Allocated

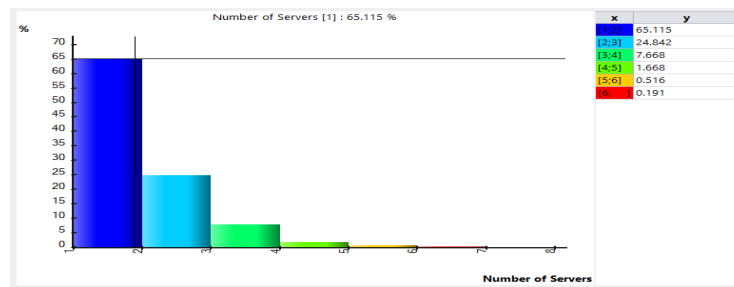
**Gráfica #12:** Plan de frecuencias.

Como se puede observar para los sites que están presentes en la anterior tabla, donde se les ha hecho la asignación de cada canal. Para ver dicha mejora, se ve que es necesario rehacer la predicción de las zonas de solapamiento:



**Gráfica #13:** Zonas de solapamiento después de todos los planes efectuados hasta el momento. Imagen obtenida de Atoll.

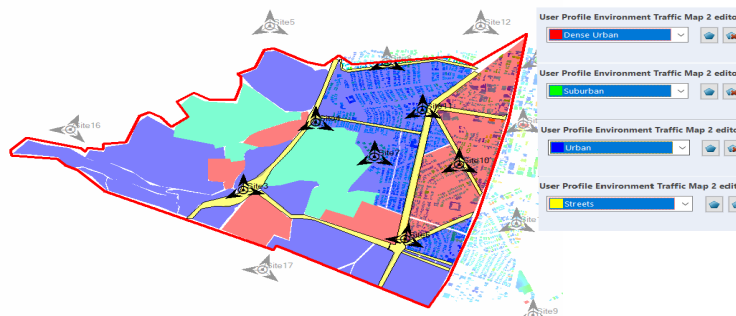
Gráficamente se puede observar una mejor en las áreas de solapamiento y además el histograma nos confirma dichas mejoras, que se observaron la figura #



**Gráfica #14:** Histograma del solapamiento corregido. Imagen obtenida de Atoll.

### C. Mapas de tráfico.

Ahora para continuar con el estudio, se utilizan mapas de tráfico, estos mapas son utilizados para generar usuario en cada zona y de que perfil de usuario pueden ser. El tipo de mapa de tráfico que se utilizará son de "User Profile" el cual tiene una base estadística a partir de los perfiles de usuarios definidos en el estudio de usuario y de los ambientes propuestos y dibujados. Los mapas dibujados con respectiva característica se muestran a continuación:



**Gráfica #15:** Mapas de tráfico utilizados. Imagen obtenida de Atoll.

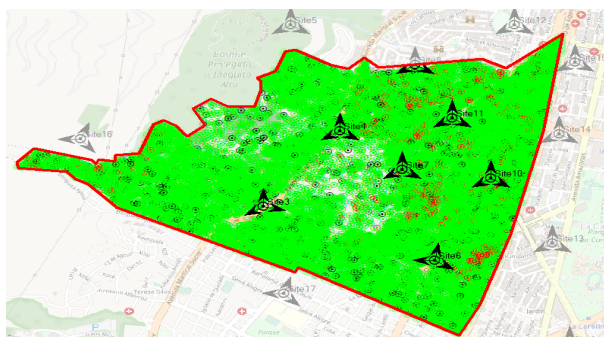
La selección de los mapas de tráfico se realizó a base de estudios de concurrencia ciudadana, por eso en sectores donde se posee lugares como centros comerciales o hay una alta tasa de establecimientos se le ha considerado como denso urbano y así la misma relación con los otros mapas de tráfico de Urbano, suburbano.

#### D. Simulaciones Monte Carlo.

Cargado los mapas de tráfico, es posible hacer simulaciones para determinar los porcentajes de calidad, estas simulaciones están basadas en algoritmos Monte Carlo. En Atoll esta clase de simulaciones toma y distribuye a los usuarios que quieren acceder a la red. El despliegue de los usuarios se hace tomando como base los mapas de tráfico y sigue una distribución de Poisson. Para nuestro caso se han hecho las siguientes simulaciones, donde hemos propuesto un total de 5 simulaciones de un promedio de 4444 usuarios cada simulación. De la primera simulación se obtuvieron los siguientes resultados por requerimientos de servicio:

Servicio requerido	Número de usuarios
High Speed Internet	786
Mobile Internet Access	2207
Video Conferencing	88
VoIP	1501
<b>Total</b>	<b>4581</b>

**Tabla #15:** Numero de usuarios por servicio requeridos en la simulación.



**Gráfica #16:** Resultado de las simulaciones Montecarlo. Imagen obtenida de Atoll.

Lo que se hizo fue repartir en 5 simulaciones, las cuales el programa nos muestra cuales fueron el total de conectados y cuales no pudieron conectarse, la clasificación está hecha de la siguiente manera:

		Value	Legend
1	⊙	Connected DL+UL	Connected DL+UL
2	⊙	Connected DL	Connected DL
3	⊙	Connected UL	Connected UL
4	⊙	Inactive	Inactive
5	⊙	No Coverage	No Coverage
6	⊙	No Service	No Service

**Gráfica #17:** Clasificación de los resultados. Imagen obtenida de Atoll.

Por lo cual, para llegar a una cantidad aproximada de la población de la zona, como se mencionó fueron necesarias 5 simulaciones, donde promedio de todas las simulaciones se muestran en la siguiente tabla:

<b>Total, de usuarios que intentaron conectarse</b>			
<b>Usuarios:</b>	4525.4	100%	
<b>Conectados:</b>	4363.6	96.40%	
	<b>Downlink</b>	<b>Uplink</b>	<b>Dowlink+Uplink</b>
	2361	1246.8	525.2
	<b>Inactivos</b>		
	230.6		
<b>No Conectados:</b>	161.8	3.60%	
	<b>Sin Cobertura</b>	<b>Sin servicio</b>	<b>Problemas de Saturación</b>
	13.4	148.4	N/A

**Tabla#16:** Resultados finales.

## CONCLUSIONES

El estudio presentado contiene varios temas, se debe tener en cuenta que es un proyecto propuesto desde cero con una planificación completa de Radio Planning en Rumipamba, Quito. El estudio de Machine Learning nos ayudó a identificar y clasificar mediante algoritmos matemáticos a los usuarios de la zona, se comprobó que existen tres tipos mayoritarios de consumo en el área estudiada, esta discrimina en base al comportamiento de uso de datos y edades, también se puede decir que el algoritmo de K-Nearest Neighbors va a funcionar correctamente siempre y cuando exista una ayuda por parte de entidades regulatorias del país junto con empresas privadas de telefonía que faciliten la recopilación de datos con el fin de recabar la mayor información posible. La planificación propuesta realiza una distribución técnica de frecuencias junto con un despliegue de estaciones base, para evitar que exista solapamiento de frecuencias y posteriores construcciones de antenas en medio de viviendas de ciudadanos por una mala planeación y distribución, las simulaciones hechas por el software.

En el despliegue de la simulación de red en la parroquia de Rumipamba se usaron ocho eNodeBs debido a la cantidad de la población de la parroquia la cual corresponde a 23 000 habitantes, dicha cantidad de eNodeBs se calculó considerando el peor de los casos el cual es que toda la población quiera conectarse a la red al mismo tiempo. Los ocho eNodeB fueron ubicados considerando las estructuras y altitud más altas de terreno con esto logramos cumplir satisfactoriamente la cobertura para el área de 4.90 km<sup>2</sup> de la parroquia. La red trabaja en la banda cuatro la cual corresponde a las frecuencias de 1700/2100 MHz con dos anchos de banda de 20 MHz, este ancho de banda nos permite aumentar la capacidad de usuarios que se pueden conectar, ya que el número de PRBs es 100 y estos serán retribuidos cada 10 ms a cada usuario que necesita conexión, de esta forma se asegura que la latencia máxima de la red será 10 ms. Gracias al Software utilizado fue posible analizar de manera

grafica el compartamiento de la red, dejando analizar la cobertura, el análisis de señal efectiva, zonas solapadas, etc.

Con los resultados obtenidos en la tabla 16 es posible determinar un factor de calidad, ya que si se toma el numero de no conectados que fue de 3.6%, entonces es posible interpretar a dicho resultado como un factor de calidad en este caso seria un factor de ineficiencia. Cabe mencionar que es posible aumentar el numero de personas por simulación. Los cuales brindaron resultados proporcionales, es decir que nuestro factor de calidad va aumentando con respecto al numero de usuarios que se realicen por simulación, lo cual da entender que la red actúa acorde a lo esperado. Gracias a esto se puede afirmar que el diseño, despliegue y optimización de la red esta funcionando de la manera correcta.

## REFERENCIAS

- Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones. (4 de Diciembre de 2014). *Boletín Estadístico*. Quito: ARCOTEL. Obtenido de ARCOTEL.
- Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones. (3 de Octubre de 2015). *Informe de canalización de las bandas*. Quito: ARCOTEL. Obtenido de ARCOTEL: file:///D:/decimo%20semestre/tesis/Informe-Audiencias-P%C3%BAblicas\_.pdf
- Agusti, R., Bernardo, F., Ferrús, R., Pérez, J., & Sallent, O. (2010). *Nuevas Tendencias en comunicaciones móviles*. Barcelona: Fundación Vodafone España.
- Forks. (2016). Geographic Data. En Forks, *User Manual for Radio Networks* (págs. 117-152). Blagnac: Forks.
- Forks. (2016). LTE Networks. En Forks, *User Manual for Radio Networks* (págs. 843-947). Blagnac: Forks.
- Forks. (2016). Radio Antennas and Equipment. En Forks, *User Manual for Radio Networks* (págs. 153-166). Blagnac: Forks.
- Forks. (2016). Radio Calculations and Models. En Forks, *User Manual for Radio Networks* (págs. 167-222). Blagnac: Forks.
- Forks. (2016). Working Environment. En Forks, *User Manual for Radio Networks* (págs. 33-116). Blagnac: Forks.
- Géron, A. (2019). Unsupervised Learning Techniques. En A. Géron, *Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (págs. 237-274). California: O'Reilly Media Inc.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). 10 Unsupervised Learning. En *An Introduction to Statistical Learning* (págs. 370-400). New York: Springer Science Business Media.
- Jaramillo, M. (2016). *Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE*. Guayaquil: Espol.
- Karlsson, J., & Riback, M. (2008). Initial field performance measurements of LTE. *Ericsson Review*, 22 - 28.
- Quintero, V., Hernández, C., Giraldo, D., & Uribe, D. (Julio de 2016). Modelado y simulación de planificadores de recursos radio para una red LTE. *Entramado*, 230-245.



Universidad Politécnica de Cartagena. (s.f.). *El Sistema LTE*. Obtenido de Ebookcentral:

<https://ebookcentral-proquest-com.ezbiblio.usfq.edu.ec>

Wiley. (2013). LTE Introduction. *Ieeeexplore*, 1-10.

Zhongheng, Z. (2016). Introduction to machine learning: k-nearest neighbors. *Big-data Clinical Trial Column*, 1-7.

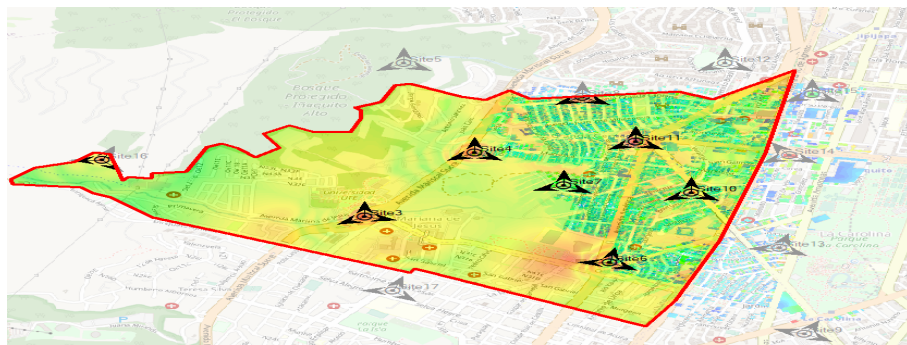
**FIGURAS**

```
array([0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1,
       1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1,
       1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0,
       1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1,
       0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0,
       0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1,
       1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 0,
       0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1,
       0, 0, 1, 0, 1])
```

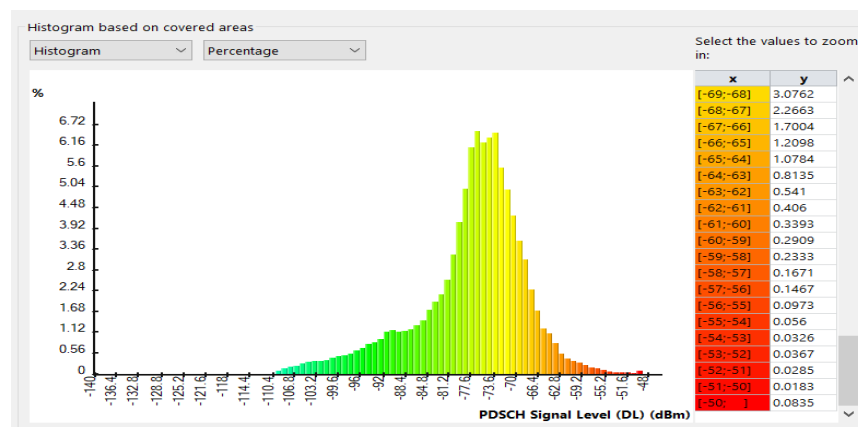
**Figura 1** Python label Array (original data)

```
array([0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1,
       1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1,
       1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0,
       1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
       0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0,
       0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1,
       1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1,
       0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1,
       0, 0, 1, 0, 1])
```

**Figura 2** Python label Array (predicted data)



**Figura 3:** Analisis de señal efectiva PDSCH, DL. Imagen obtenida de Atoll.



**Figura 4:** Histograma de analisis de señal efectiva PDSCH, DL. Imagen obtenida de Atoll.

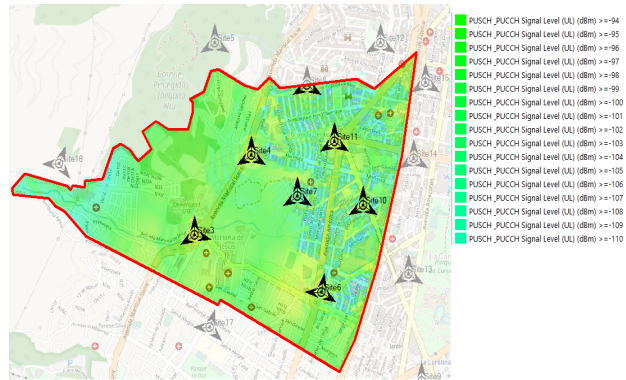


Figura 5: Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH), UL.

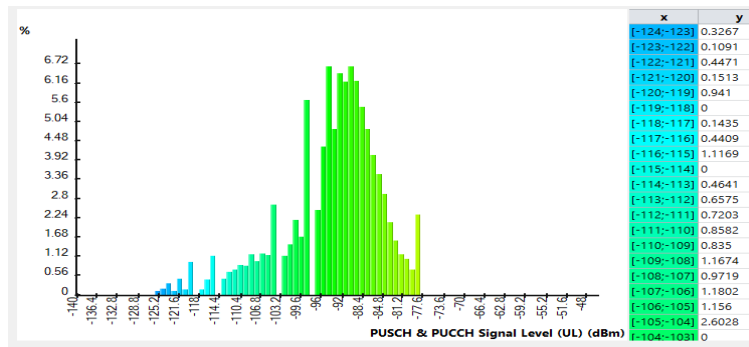


Figura 6: Análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH), UL.

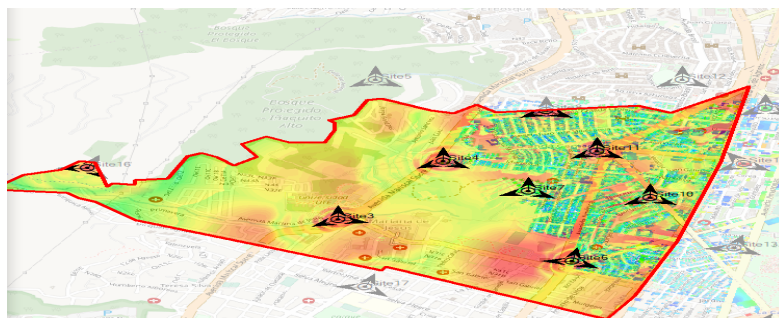


Figura 7: Analisis de señal efectiva de la C/N PDSCH, DL. Imagen obtenida de Atoll.

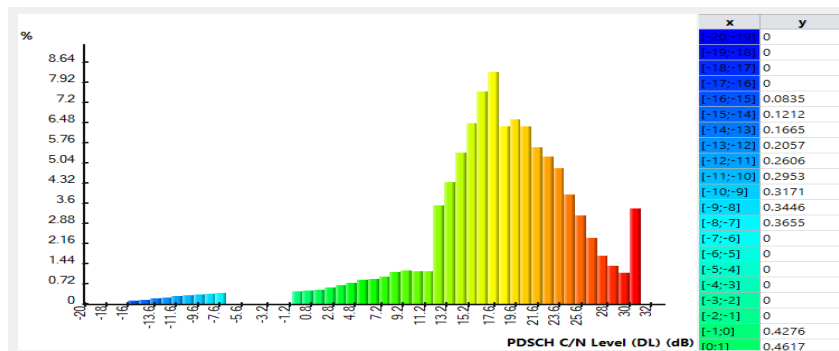


Figura 8: Analisis de señal efectiva, histograma de la C/N PDSCH, DL. Imagen obtenida de Atoll.

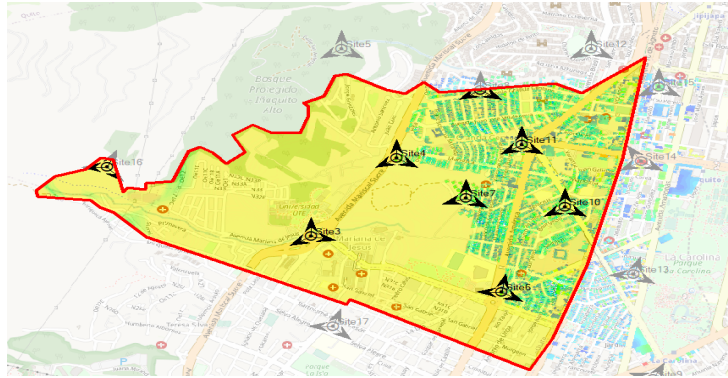


Figura 9: análisis de señal efectiva (PUSCH & PUCCH, CN), UL. Imagen obtenida de Atoll.

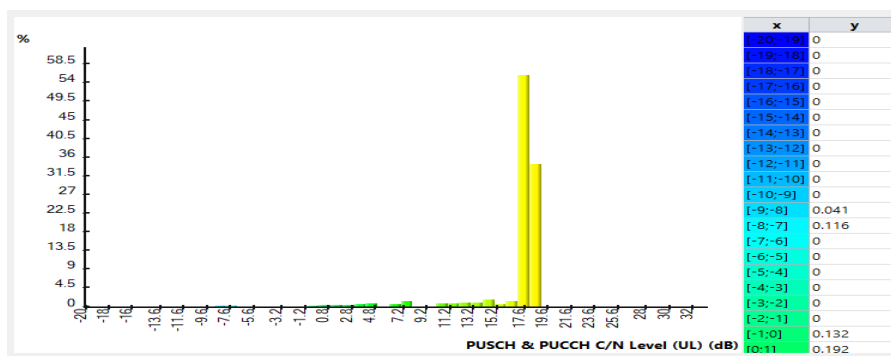


Figura 10: análisis de señal efectiva, histograma (PUSCH & PUCCH, CN), UL. Imagen obtenida de Atoll.

## ANEXO A: DISTRIBUCIÓN DE ESPECTRO EN EL ECUADOR

Canalización y asignación de bandas de Frecuencia		
<b>Conecel</b>	Banda A	850 MHZ
	Banda E	1900 MHZ
	Banda B	1900 Mhz
	Banda F	1900 Mhz
	Banda E	1700/2100 MHZ
	Banda F	1700/2100 MHZ
	Banda G	1700/2100 MHZ
	Banda H	1700/2100 MHZ
<b>Otecel</b>	Banda B	850 Mhz
	Banda A	1900Mhz
	Banda D	1900 Mhz
	Banda B	1900 Mhz
<b>CNT</b>	Banda G	700 Mhz
	Banda H	700 Mhz
	Banda I	700 Mhz
	Banda C	1900 Mhz
	Bandas A	1700/2100 MHZ
	Bandas B	1700/2100 MHZ
	Bandas C	1700/2100 MHZ
	Banda D	1700/2100 MHZ

Tabla #1: Distribución De Espectro

## ANEXO B: ANCHO DE BANDA POR OPERADORA

Ancho de Banda Retribuido [MHz]					
Bandas	700 Mhz	850 MHz	1900 Mhz	1700/2100 MHz	Total
<b>Conecel</b>	0	25	30	40	95
<b>Otecel</b>	30	0	30	40	100
<b>Cnt</b>	0	25	60	0	85

Tabla #2: Ancho de Banda por operadora

## ANEXO C: CAPACIDAD DE USUARIOS PARA UN ANCHO DE BANDA DE 20 MHz

ANCHO DEL CANAL	1 ms	2 ms	3 ms	4 ms	5 ms	6 ms	7 ms	8 ms	9 ms	10 ms
<b>180</b>	1	101	201	301	401	501	601	701	801	901
<b>180</b>	2	102	202	302	402	502	602	702	802	902
<b>180</b>	3	103	203	303	403	503	603	703	803	903
<b>180</b>	4	104	204	304	404	504	604	704	804	904

<b>180</b>	5	105	205	305	405	505	605	705	805	905
<b>180</b>	6	106	206	306	406	506	606	706	806	906
<b>180</b>	7	107	207	307	407	507	607	707	807	907
<b>180</b>	8	108	208	308	408	508	608	708	808	908
<b>180</b>	9	109	209	309	409	509	609	709	809	909
<b>180</b>	10	110	210	310	410	510	610	710	810	910
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>180</b>	90	190	290	390	490	590	690	790	890	990
<b>180</b>	91	191	291	391	491	591	691	791	891	991
<b>180</b>	92	192	292	392	492	592	692	792	892	992
<b>180</b>	93	193	293	393	493	593	693	793	893	993
<b>180</b>	94	194	294	394	494	594	694	794	894	994
<b>180</b>	95	195	295	395	495	595	v	795	895	995
<b>180</b>	96	196	296	396	496	596	696	796	896	996
<b>180</b>	97	197	297	397	497	597	697	797	897	997
<b>180</b>	98	198	298	398	498	598	698	798	898	998
<b>180</b>	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999
<b>180</b>	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Tabla #3: Capacidad de usuarios

**ANEXO D: ESTRUCTURA DE PRBS PARA 20 MHZ**

<b>PRB</b>	<b>Ancho de Banda por cada PRB [Khz]</b>	<b>Espacio entre bandas de portadoras [Khz]</b>	<b>Subportadora [Khz]</b>
1	180	15	12
2	180	15	12
3	180	15	12
4	180	15	12
5	180	15	12
6	180	15	12
7	180	15	12
8	180	15	12
9	180	15	12
10	180	15	12
...	...	...	...
90	180	15	12
91	180	15	12
92	180	15	12
93	180	15	12
94	180	15	12
95	180	15	12
96	180	15	12
97	180	15	12
98	180	15	12
99	180	15	12

100	180	15	12
-----	-----	----	----

Tabla #4: Estructura de PRBs para 20 MHz