

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO
MATEMÁTICO PARA REDUCIR EL EFECTO HANDOVER PING-
PONG EN UNA RED 4G**

Autor(es):

Karina Pilar Escudero Padilla

Tutor:

Ing. José Luis Jinez Tapia

Riobamba-Ecuador

Año 2021

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA REDUCIR EL EFECTO HANDOVER PING-PONG EN UNA RED 4G” presentado por: Karina Pilar Escudero Padilla, dirigido por: Mgs. José Luis Jinez Tapia.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman.

Ing. Daniel Santillán

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....
Firma

PhD. Luis Tello

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Firma

MsC.. Marco Nolivos,

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

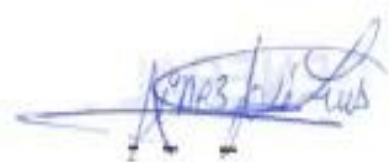
En calidad de tutor del tema de investigación “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA REDUCIR EL EFECTO HANDOVER PING-PONG EN UNA RED 4G” realizado por el Sra. **Karina Pilar Escudero Padilla**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, Abril 2021

MsC.. José Jinez

C.I. 0602899007

TUTOR:



.....

firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación corresponde exclusivamente a: **Karina Pilar Escudero Padilla, Msc. José Jinez**, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Karina Escudero', with a horizontal line underneath.

Karina Pilar Escudero Padilla

C.I.0605789783

DEDICATORIA

“El cielo es el límite – Wayne W. Dyer” quiere decir que no existe límites y eso significa que los únicos límites que en realidad existen son los que se marca uno mismo en su interior, porque en realidad se puede cambiar la vida pues somos dueños de cada uno de nuestros actos, proyectos, decisiones y la realización de nuestros sueños.

Este proyecto va dedicado a mis padres Víctor Manuel Escudero villa y Carlota María Padilla Lara ya que son mi mejor ejemplo a seguir, pues su dedicación, amor, paciencia y perseverancia siempre ha sido al 100% en todo mi trayecto estudiantil, pues soy su más grande inversión de esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos Omar, Guísela, Carlota ya que son un fundamento muy importante en mi vida pues siempre su apoyo ha sido incondicional, motivándome a seguir siempre adelante sin rendirse ni agachar la cabeza

Karina Escudero.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme en todo mi trayecto estudiantil, por darme unos padres ejemplares para guiarme siempre en este camino y poder permitirme vivir este sueño tan anhelado junto a mi familia.

A mi familia por brindarme su amor y confianza incondicionalmente en todo momento por su tiempo invertido por sus palabras de apoyo en momentos difíciles. Pues son un reflejo vivo de valentía y amor familiar

De igual manera agradezco a mi tutor por su apoyo y guía en desarrollo de mi trabajo de titulación y de igual manera a los miembros colaboradores por estar siempre dispuestos a colaborar con Este Proyecto

A mis amigos por su amistad y apoyo con quienes compartí experiencias únicas en el ámbito estudiantil y también actualmente compartiendo en la vida cotidiana

Karina.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I	5
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	5
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	7
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II	8
2 ESTADO DEL ARTE	8
2.1 ANTECEDENTES	8
2.2 REDES DE CUARTA GENERACIÓN 4G (LTE).....	9
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE 4G(LTE).....	11
2.2.2 ARQUITECTURA DE LA RED 4G (LTE).....	12
2.3 HANDOVER (HO).....	14
2.3.1 TIPOS DE HANDOVER.....	15
2.3.2 PROCEDIMIENTO DEL HANDOVER	17
2.3.3 PERTINENCIA DEL PROBLEMA	17
2.3.4 EVENTOS DISPARADORES EN LTE	18
2.3.5 MARGEN DE HANDOVER	19
2.3.6 ALGORITMO DE TRASPASO EN REDES LTE	20
CAPÍTULO III	21
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	21
3.1.1 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA.....	21
3.1.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	21
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.2.1 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	22
3.2.2 INSTRUMENTOS.....	22
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	22
3.3.1 POBLACIÓN.....	22
3.3.2 MUESTRA.....	23

3.4	HIPÓTESIS	23
3.4.1	HIPÓTESIS NULA (HO)= La reducción del efecto handover ping-pong logra mejorar el rendimiento de la red.....	23
3.4.2	HIPÓTESIS ALTERNATIVA (Hi)= La reducción del efecto handover ping-pong no logra mejorar el rendimiento de la red	23
3.4.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	23
3.5	PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS	24
3.5.1	DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN DE LA RED EN MATLAB.....	24
3.5.2	ESCENARIO DE LA SIMULACIÓN.....	26
3.5.3	MÉTRICA DE OPERACIÓN DEL HANDOVER	29
3.5.4	MODELO MATEMÁTICO.....	31
3.5.5	DIAGRAMA SECUENCIAL PROCEDIMIENTO DEL HANDOVER	36
3.5.6	TROUGHPUT	38
3.5.7	LATENCIA.....	38
CAPÍTULO IV		39
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
4.1	Recopilación de Datos	39
4.2	EVALUACIÓN EN EL ESCENARIO	40
4.3	VALIDACIÓN:	41
4.4	FORMULACIÓN DEL MODELO:.....	42
4.5	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN HOM Y TTT.....	43
4.6	CASO DE PRUEBA.....	43
4.7	RENDIMIENTO DE HANDOVER Y HANDOVER PING-PONG.....	45
4.7.1	PROBABILIDAD SATISFACTORIA	45
4.8	RENDIMIENTO DEL SISTEMA	48
4.9	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	50
CAPÍTULO V		53
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1	CONCLUSIONES	53
5.2	RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		55
Bibliografía		55
ANEXO.....		58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	10
<i>Evolución de los sistemas celulares</i>	10
Tabla 2.....	18
<i>Disparadores LTE</i>	18
Tabla 3.....	23
<i>Variable Dependiente e Independiente del proyecto</i>	23
Tabla 4.....	32
<i>valores de Time To Triger</i>	32
Tabla 5.....	33
<i>Hystéresis</i>	33
Tabla 6.....	39
Tabla 7.....	45
<i>resultado del caso de prueba</i>	45
Tabla 8.....	47
<i>Tasa de fallas de handover (%) con valores constantes de HOM y TTT</i>	47
Tabla 9.....	47
<i>Tasa de handovers ping-pong (%) con valores constantes de HOM y TTT</i>	47
Tabla 10.....	47
<i>porcentaje de llamada caídas</i>	47
Tabla 11.....	49
<i>Tasas de fallas de handover y handover ping-pong con valores adaptados de HOM y TTT</i>	49
Tabla 12.....	52
<i>Resultados</i>	52
Tabla 13.....	58
<i>Recolección de datos HOM=10dB Y TTT (40, 128,256 ms)</i>	58
Tabla 14.....	58
<i>Recolección de datos HOM=20dB Y TTT(40, 128,256 ms)</i>	58
Tabla 15.....	59
<i>Recolección de datos HOM=7dB Y TTT (40, 128,256 ms)</i>	59
Tabla 16.....	60
<i>Recolección de datos HOM=11.5 dB Y TTT(40, 128,256 ms)</i>	60
Tabla 16.....	60
<i>Recolección de datos HOM=0.5 dB Y TTT(40, 128,256 ms)</i>	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Arquitectura 4G	13
Figura 2:Esquema del Handover entre dos celdas.....	14
Figura 3: Interfaces para el intercambio de mensajes de señalización de Handover	16
Figura 4:Traspaso horizontal y vertical.....	16
Figura 5:Lista de Tracking área	17
Figura 6:Margen de Handover y TTT en LTE	19
Figura 7:Procedimiento para análisis y resultados	24
Figura 8:Simulador Matlab	25
Figura 9:Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto	26
Figura 10:Escenario de la red 4G(LTE)	27
Figura 11: Escenario de la red 4G(LTE)	28
Figura 12: Escenario de Handover en la celda	28
Figura 13: Escenario de Handover de celda pequeña a macrocelda	35
Figura 14: Proceso secuencial del Handover	36
Figura 15: Algoritmo de adaptación de Handover/HandoverPP	36
Figura 16: Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 2D	40
Figura 17: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LA RED	42
Figura 18: PARÁMETROS DE TRASPASO DE LA RED	42
Fuente: Autor	42
Figura 19: caso del pingpong en cero	44
Fuente: Autor	44
Figura 20: Resultados en tres dimensiones	44
Fuente: Autor	44
Figura 21: Latencia y Throughput en el caso de prueba	45
Fuente: Autor	45
Fuente: Autor	45
Figura 22: Probabilidad satisfactoria para Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 2D.....	46
Figura 23: Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 3D	48
Figura 24: Nivel de Confianza (%).....	49
Figura 25: Latencia, Throughput.....	50
Figura 26: resultado del modelo de referencia tiene una Hysteresis 6dB y un tiempo de transición de 0ms en el cual empieza a reducir el efecto handover pin-pong con un índice de falla máximo de traspaso es de 0.5%.....	51
Figura 27: Resultado modelo propuesto tiene una Hysteresis 6dB y un tiempo de transición de 0ms en el cual empieza a reducir el efecto handover pin-pong con un índice de falla máximo 0.2%.....	51

RESUMEN

Esta investigación abordó el tema sobre el análisis y simulación del handover para reducir el efecto handover ping-pong en una red 4G mediante el desarrollo de un modelo matemático. En una red 4G un problema significativo es la movilidad del usuario que se encuentra conectado a la red mediante una estación base (eNB) la misma que está colocada en un escenario compuesto por lo que se conoce como clúster o celdas pues al llegar la potencia que alcanza la estación base trasmisora en el punto A (eNB_{Ptx-A}) que es el borde de la celda se ve en la necesidad de hacer un traspaso lo que se conoce como handover (HO) este proceso se realiza cuando se desconecta primero nodo fuente y en un corto tiempo establece un nuevo enlace de comunicación con el nodo destino (eNB_{Ptx-B}) de manera que cuando un usuario presenta poca movilidad entre zonas de cobertura provoca el efecto HO ping-pong que ocurre cuando se transfiere de una celda a otra pero se devuelve rápidamente a la celda original desperdiciando recursos de señalización además interrumpe la comunicación generando un impacto significativo en la calidad de servicio.

El objetivo de esta investigación es analizar el proceso handover o traspaso en una red 4G adaptando un modelo matemático, que se aplicará en la simulación de la red para poder reducir efecto handover ping-pong. En este trabajo se propone mejorar la red para lo cual se utilizó datos significativos de un handover los cuales son el tiempo de disparo (TTT) y su Hystéresis (HOM) en función de la relación señal-ruido-interferencia (SINR) la adaptación se realizó mediante un algoritmo obtenido del modelo matemático, pues en las tablas de resultado muestran que la tasa de fallas handover y las fallas handover ping-pong se reducen significativamente.

Palabras claves: transferencia de conexión, sistema de comunicación 5G, algoritmo de adaptación; eNB_{Ptx-A}; Hystéresis, tiempo de disparo

ABSTRACT

This research addressed the topic of handover analysis and simulation to reduce the ping-pong handover effect in a 4G network through the development of a mathematical model. In a 4G network, a significant problem is the mobility of the user who is connected to the network through a base station (eNB), which is placed in a scenario composed of what is known as a cluster or cells, since when the power that reaches the transmitting base station at point A (eNBtx-A), which is the edge of the cell, it is necessary to do a handover, what is known as handover (HO), this process is carried out when the source node is disconnected first and in a short time it establishes a new communication link with the destination node (eNBtx-B) so that when a user has little mobility between coverage areas, it causes the HO ping-pong effect that occurs when transferring from one cell to another but it quickly returns to the original cell, wasting signaling resources, and interrupts communication, generating a significant impact on the quality of service.

The objective of this research is to analyze the handover or handover process in a 4G network by adapting a mathematical model, which will be applied in the simulation of the network in order to reduce the ping-pong handover effect. In this work, it is proposed to improve the network for which significant data from a handover was used, which are the firing time (TTT) and its hysteresis (HOM) as a function of the signal-noise-interference ratio (SINR), performed using an algorithm obtained from the mathematical model, since the result tables show that the handover failure rate and ping-pong handover failures are significantly reduced.

Keywords: connection transfer, 5G communication system, adaptation algorithm; eNBtx-A; Hysteresis, firing time.

Reviewed by:
MsC. Edison Damián Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de telecomunicaciones están direccionando a determinar el uso e investigaciones en las redes 4G (Sánchez Rigoberto, 2016) aprobadas por la ITU-R como una red de nueva generación; esto se debe a que cumple sus requisitos de velocidad máxima de transmisión para ser considerada como una red de cuarta generación sobre el cual se está desarrollando la investigación como respuesta a la creciente demanda de los servicios que estas redes proporcionan. El aumento en tamaño y complejidad de las redes actuales hace que su gestión sea una tarea cada vez más complicada pues maneja una conmutación de paquetes para lograr una comunicación más rápida y efectiva en lugar de la conmutación de circuitos. Una característica muy importante de las redes de comunicaciones móviles es la gestión de la movilidad (Agrawal, 2017). Dentro de esta funcionalidad se encuentra el procedimiento de handover (HO), estudiado por varios investigadores actualmente buscando su continua mejora, es por ellos que se establecido el IEEE 802.21 (Llerena Izquierdo & Betancur Agudelo, 2014) desarrollado con estándares que permite la movilidad de un usuario cuando este se encuentra en modo conectado, sin necesidad de interrumpir la llamada en curso. El funcionamiento de los algoritmos de HO suele estar determinado por varios parámetros característicos. Los valores configurados para estos parámetros determinan el comportamiento del algoritmo ante diferentes situaciones y, por lo tanto, influyen directamente en las prestaciones ofrecidas por la red.

Considerando los antecedentes mencionados, la optimización de HO juega un papel fundamental en el proceso de optimización de una red de acceso (S.& Luna- Ramírez, 21). El tiempo necesario para que se realice un HO puede separarse en tres componentes: retardo en la detección de movimiento, retardo de la obtención de una dirección temporal y retardo en el restablecimiento de la ruta (Fernández, 2018).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar un efecto de fallas conocido como Handover ping-pong. Este efecto se produce cuando, una vez completado el proceso de traspaso o Handover (HO) en la red, el equipo usuario sufre una desconexión de la estación base destino al cual intento conectarse sin conseguir éxito alguno regresa a conectarse nuevamente a su nodo fuente anterior en un tiempo menor a un tiempo de estancia; situación que produce desperdicio de recursos de señalización, disminución del throughput del sistema, aumento de las pérdidas de paquetes y demora en la red teniendo así un impacto significativo en las redes 4G (Sánchez & Rigoberto, 2016). Cabe mencionar que el tiempo de estancia es considerado desde que el nodo fuente recibe del usuario el mensaje “terminación de HO”, hasta el instante en el que el otro nodo destino recibe del usuario el mensaje “terminación de HO”. El tiempo mínimo de estancia lo define el operador de la red.

En este proyecto de investigación se pretende analizar método handover en una red 4G, a través de un modelo matemático para reducir el efecto handover ping-pong. Una vez analizado se procede a simular el escenario de la red de manera que se pueda obtener parámetros claves como pérdida de paquetes, latencia y throughput. Con esto se pretende mejorar el rendimiento de la red; esto servirá para que el usuario tenga una comunicación con un mínimo de fallas al momento de cambiarse de una estación base a otra.

CAPÍTULO I

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En la actualidad no cabe duda de que los equipos y dispositivos móviles de comunicación crecen a pasos acelerados permitiendo mantener una comunicación con otras personas considerándose la calidad en las llamadas, cobertura el acceso rápido a Internet y descargas de aplicaciones en las redes 4G. Para mantener una conexión y lograr recibir o transferir información durante la comunicación móvil existe el HO que su funcionalidad se basa en mantener una conexión permanente entre el dispositivo móvil y las redes 4G, incluso cuando el dispositivo usuario está en movimiento.

Uno de los problemas de movilidad más visible detectado en las redes móviles 4G es el evento de retardar o apresurar los paquetes, en el cual el proceso de traspaso o HO, el usuario se desconecta primero de su nodo fuente y en un corto tiempo establece un nuevo enlace de comunicación con el nodo destino de manera que cuando un usuario presenta poca movilidad entre zonas de cobertura provoca el efecto HO ping-pong que ocurre cuando se traslada de una celda en la cual está ubicada la estación base a otra celda con su estación destino pero se devuelve rápidamente a la celda original desperdiciando recursos de señalización, disminuye el throughput del sistema, aumento de las pérdidas del paquete, demora y pérdida de señal; además, se interrumpe la comunicación generando un impacto significativo en la calidad de servicio.

Basándonos en que existen problemas de conectividad se propone, mediante la simulación y el modelo matemático del procedimiento de HO, analizar los resultados para determinar la reducción el efecto ping-pong en la red 4G.

Pregunta de investigación:

¿Mediante la reducción del efecto handover ping-pong se logrará mejorar el rendimiento de la red?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Analizar y simular a través de un modelo matemático para reducir el efecto handover ping-pong en una red 4G

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del arte, en las redes celulares 4G para establecer las causas por las que se producen el efecto ping-pong estableciendo así que tan vulnerable es la red.
- Desarrollar un modelo matemático y mediante la simulación del handover de una red móvil 4G obtener parámetros clave de rendimiento de la red
- Ajustar los parámetros de la red para optimizar su rendimiento en función de indicadores clave como lo son pérdida de paquetes, latencia y throughput.

CAPÍTULO II

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

La evolución de las redes a lo largo de todos estos años ha pasado por diferentes tecnologías empezando desde la (1G) hasta (4G); sin embargo, el estudio (Quiñones, Martínez, & Torres, 2020) en la red 4G la misma que fue introducida en el Ecuador en el año 2014 por la estatal CNT EP realizan revisiones importantes acorde a los intereses del usuario que tiene una gran demanda desde el año 2000 las cifras han incrementado hasta el 2016 en un 7% del tráfico IP global sin embargo según proyecciones se estima que para el 2021 ocupen un 17.4% (Cisco, 2016). La red 4G se puede realizar en diferentes bandas de acuerdo con la necesidad de cada país, y según cómo se haya aprovechado el espectro radioeléctrico por parte de los gobiernos y las empresas de telecomunicaciones. En Ecuador se otorgó la banda 1.700 MHz, conocida también como servicios inalámbricos avanzados (AWS - Advanced Wireless Service), o banda 4 para el despliegue de la red 4G a las telefónicas Claro y Movistar, mientras que en el caso de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) mediante la telefónica estatal otorgó 30 MHz de espectro en una banda de 700 MHz, y 40 MHz de espectro en la banda AWS siendo así uno de los despliegues más significativos en la actualidad por la gran demanda existente lográndose mantener con una calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) a lo largo del tiempo (Inzerilli, Vegni, Neri, & Cusani, 2018).

La cuarta generación (4G) la red con mayor velocidad y menor retraso. Sin embargo, un problema en lo referente a una red 4G es la movilidad del dispositivo usuario al pasar de una celda a otra teniendo así una desconexión de llamada de voz o una sesión de datos cuando se encuentra en movimiento por lo que se utiliza el protocolo HO el estudio realizado por

(Aviles Delgado, Rodríguez López, Montejo Sánchez, López, & Orozco Crespo, 2016) la red LTE o comercialmente 4G debe realizar HO para asegurar la movilidad interrumpida con el objetivo de mantener la conectividad del usuario este protocolo es muy sensible al retardo y tiene una mayor frecuencia en la estación base al pasar de una red a otra implementado así una Transferencia vertical (VHO) la cual incluyen dos clases principales como son el traspaso controlado por el terminal móvil (MCHO) y el de transferencia controlada por la red (NCHO). Sin embargo, en la situación en que el usuario se mueve existe un fuerte desvanecimiento de sombra alrededor del usuario, una serie de trasposos puede ocurrir durante una corta duración, llamado efecto ping-pong (Ieee & Ieee). Este efecto puede disminuir el rendimiento general de la red además de afectar la comunicación fluida al moverse el usuario, porque el proceso de traspaso requiere algo de tiempos para comprometerse puesto que la movilidad puede clasificarse en método directo e indirecto cualquiera de estos dos métodos puede consumir más energía para la operación del equipo, aumentar el costo de los dispositivos móviles y no operar (Institute of Electrical and Electronics Engineers., 2012). Por esta razón el objetivo es reducir el efecto handover ping-pong mediante el modelo matemático con el fin de minimizar así las pérdidas de las llamadas que tenga el usuario al cambiar de una estación base a otra. Esto es fundamental para tener una comunicación de calidad, mejorando así el desempeño de la red 4G.

2.2 REDES DE CUARTA GENERACIÓN 4G (LTE)

El término 4G surge a partir de la evolución de las redes celulares, iniciando en el año 1980 con la aparición de la primera generación(1G) la cual era totalmente análoga, actualmente se encuentra en funcionamiento la cuarta generación (4G) en el Ecuador esta tecnología surge (González Páez & Ortiz Triviño, 2015) a partir de las fallas que tuvieron las tecnologías 3G

para actualizar las redes y no obedecían a la necesidad de los usuarios a pesar de mejorar significativamente a nivel tecnológico.

4G (LTE) ha sido diseñado acorde a los usuarios buscando proveer un servicio con mayor velocidad, brindar cobertura en todo lugar y con buena calidad, en relación con los sistemas celulares anteriores. El número de usuarios admitidos por LTE es mayor y la gama de aplicaciones proporcionadas es más amplia de manera general en la **tabla 1** se muestra la evolución de las distintas tecnologías.

Tabla 1

Evolución de los sistemas celulares

GENERACIÓN	NOMBRE/ABREVIACIÓN	VTX UL Y DL	SERVICIOS
1a generación (1980 a 1995)	NMT En Finlandia, Suecia, Noruega, Dinamarca. AMPS En Estados Unidos de América. TAC: en Reino Unido, Irlanda.	AMPS DL 1.9 Kbps UL 1.9 Kbps	Sistemas analógicos solamente para proveer servicio de voz
2ª generación (desde 1992)	GSM: (Global System for Mobile Communication) DAMPS (Digital AMPS), resp.IS136; USA PCS1900: (Personal Communication System) en Estados Unidos de América. GPRS (General Packet Radio Service); conocida como generación 2,5 EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution); conocida Como generación 2.7	GSM DL 9.6 kbps UL 9.6 kbps GPRS DL 57.6 kbps UL 28.8 kbps	Sistemas digitales que proveen servicio de voz, datos, mensajes de texto y roaming,

3ª generación (desde 2004)	CDMA 2000 (1xEV-DO, 1xEV-DV) UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) HSPA (High Speed Packet Access) HSPA+ : conocida como generación 3,5	CDMA 2000 DL 144 kbps UL 144 kbps UMTS DL=384kbps UL 384 kbps HSPA+ DL 28 Mbps UL 11.5 Mbps	Convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet y transmisión de alta velocidad acceso inalámbrico a Internet y transmisión de alta velocidad
4ª generación	LTE (Long Term Evolution); conocida como generación 3,9 LTE-A (Long Term Evolution - Advanced)	LTE DL300 Mbps UL 75 Mbps LTE-A DL 1 Gbps UL 500 Mbps	Tecnología totalmente IP enfocado a servicios de video de alta calidad con tasas de transmisión altas

Fuente: (Cruz López, 2018)

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE 4G(LTE)

La UIT-R, el sector de las radiocomunicaciones, al pasar del tiempo desempeña un papel importante en las gestiones de los espectros de frecuencia radioeléctricas y de las órbitas en el satélite pretendiendo crear condiciones necesarias para un desarrollo armonizado en las telecomunicaciones por lo que expone las características de requerimientos para ser una tecnología 4G en la normativa IMT-Avanzada, en esta generación siendo la más actual hasta

la fecha esta integra por primera vez la banda ancha móvil y la fija esto debido a tres normas las cuales son un Avance hacia la red basada completamente en tecnología IP, utilizando la comunicación por paquetes, la integración de diferentes tipos de accesos (fijo-móvil) y una capa de servicios común para que los usuarios finales puedan hacer uso de servicios multimedia en la red móvil:

- La generación 4G está enfocada en proporcionar servicios de alta calidad, con una tasa de datos de 100 Mbps en una estación móvil y 1Gbps en una estación fija (Maritza, 2015)
- Alto grado de coincidencia de la funcionalidad en todo el mundo, para soportar una amplia gama de servicios y aplicaciones a un costo eficiente
- Capacidad de interconexión con otro sistema de radio
- Ancho de banda es escalable gracias a la agregación de portadoras y soporte un ancho de banda 100Mhz
- Latencia es el tiempo que un móvil tarda en pasar de un estado de desconexión hasta una fase en el que se dispone de recursos (Cruz López, 2018)obteniendo una latencia en el usuario de 10ms y en el control a los 100ms optimizando el consumo de potencia
- Eficiencia espectral desde 5bps/Hz hasta 16bps/Hz
- Cobertura por encima de 5Km hasta los 30Km

2.2.2 ARQUITECTURA DE LA RED 4G (LTE)

Los componentes de una red de comunicación móvil son *User Equipment* (UE) es el equipo de usuario que permite al usuario acceder a los servicios de red. Típicamente posee una tarjeta inteligente (*Universal Integrated Circuit Card*, UICC) lo que permite la identificación del usuario en la red. La conexión con la red se realiza mediante una interfaz de radio mientras que

Radio Access Network (RAN) es la Red de Acceso se encarga de proveer los servicios de transmisión (datos, voz y señalización), para establecer conectividad entre los equipos de usuarios y la red troncal. La RAN está encargada de gestionar los recursos de radio disponibles, con el objetivo de optimizar los servicios portadores. La Red de Acceso está conformada por la Radio Base y por los equipos Controladores de Radio Base y la Core Network (CN): La Red Troncal es la encargada de gestionar la identificación del usuario con la base de datos, gestionar la movilidad de los usuarios, gestionar las sesiones de datos o transporte de información, establecer los mecanismos de interconexión con otras redes, entre otros. La red troncal está formada por equipos que realizan conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, bases de datos, gateways, entre otros (ANDRÉS, 2017); esta arquitectura de red se puede visualizar en la **figura 1**.

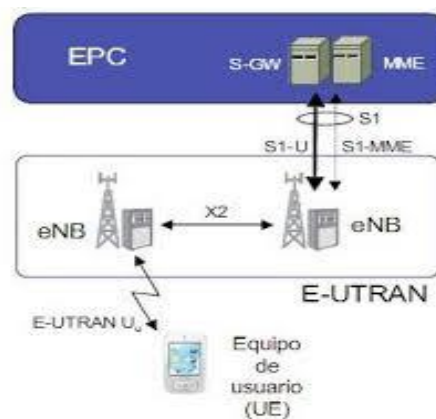


Figura 1:Arquitectura 4G

Fuente: (Sánchez, 2016)

La red 4G LTE, esta presenta en estos tres elementos fundamentales: la red de acceso Evolved UMTS Territorial, Radio Access Network (E-UTRAN) está compuesta por un solo elemento llamado nodo B evolucionado (eNodeB - Evolved Node B) maneja dos interfaces, la primera es la interfaz radio utilizada para la comunicación con los dispositivos móviles, y la segunda interfaz utilizada para conectarse con la red central a través de una red de transporte IP, la red troncal Evolved Packet Core (EPC) es donde se implementan todas las funcionalidades

ofrecidas al usuario, como conexión, movilidad, y facturación. Los elementos que componen el EPC son la entidad de gestión de movilidad (MME - Mobility Management Entity), la pasarela de servicio (SGW – Serving Gateway), la pasarela a la red de datos por paquetes (PGW – PDN Gateway), y la función de políticas y reglas de facturación (PCRF - Policy and Charging Rules Function) (DEIDÁN ARREAGA, 2017) y la plataforma de servicios multimedia IMS. Tanto la red de acceso como la red Core de LTE están diseñadas para la transferencia de información basada en paquetes IP, dejando de lado la conmutación de circuito

2.3 HANDOVER (HO)

Es el proceso mediante el cual se mantiene una comunicación de extremo a extremo activa y funcional cuando hay un cambio de enlace entre un punto de acceso y un terminal móvil a otro punto de acceso esto quiere decir que el HO entra en funcionamiento cuando hay un cambio de celdas.

El hard HO es el que se utiliza en redes LTE el cual presenta una desconexión de UE, interrumpiendo momentáneamente la conexión activa esto sucede un tiempo de milisegundo que mantiene con la estación base en servicio para poder así conectarse con la estación vecina, este HO es controlado por la red y asistido por el terminal móvil para ejecutar el traspaso

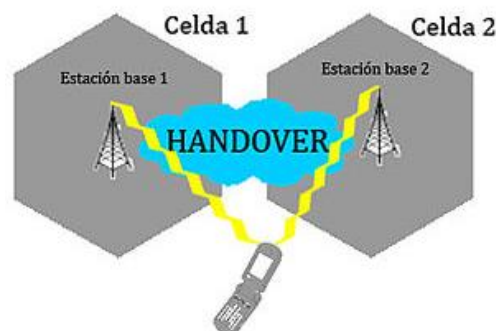


Figura 2:Esquema del Handover entre dos celdas

Fuente: Autor

Un terminal de usuario, al encenderse, escanea todas las bandas de frecuencias y comienza a escuchar los canales de difusión para poder sincronizarse con la red, esto lo realiza para conectarse a la celda que proporcione las mejores condiciones de radio de acuerdo con las mediciones de los parámetros RSRP (*Reference Signal Received Power*) y el SINR (*signal / interference*).

2.3.1 TIPOS DE HANDOVER

2.3.1.1 HANDOVER DUROS Y SUAVES

Existen dos tipos de HO: el duro y suave. El HO duro también conocido como (break before make) y el HO suave (make before break):

HO duro: requiere que el usuario UE interrumpa momentáneamente la conexión con la estación base en servicio para poder conectarse con la estación base objetivo, debido a que puede estar conectado solo con una BS a la vez (Aviles Delgado, Rodríguez López, Montejo Sánchez, López, & Orozco Crespo, 2016) reduciendo así la complejidad y minimiza la demora de HO pero también introduce un tiempo de interrupción en la comunicación entre la estación usuario y la estación base (Aviles Delgado P. M., 2015) .

HO suave: siempre mantiene al menos un enlace de radio activo con la red móvil, por lo que no se produce interrupción. Sin embargo, este tipo de HO requiere de funcionalidades extras en el UE para mantener más de una conexión, y también necesita un mayor número de procedimientos de señalización (Aviles Delgado P. M., 2015).

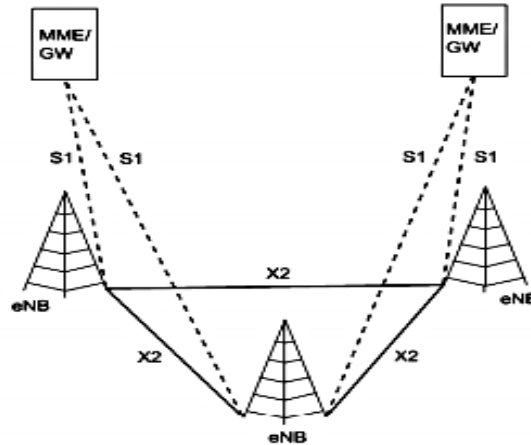


Figura 3: Interfaces para el intercambio de mensajes de señalización de Handover

Fuente: (Aviles Delgado P. M., 2015)

2.3.1.2 HANDOVER VERTICAL Y HORIZONTAL

El Handover vertical y horizontal se diferencia

Handover vertical (VHO): Es el proceso en la que realiza un traspaso intersistema, se da cuando un usuario pasa de una celda de una tecnología hacia una celda de distintas tecnologías (redes heterogéneas) (Acosta Plazas, 2018) se caracteriza porque las celdas son tecnológicamente diferentes.

Handover horizontal (HHO): traspaso intra-sistemas, también conocido como traspaso tradicional, se da cuando un usuario pasa de una celda hacia otra celda de la misma tecnología (redes homogéneas).

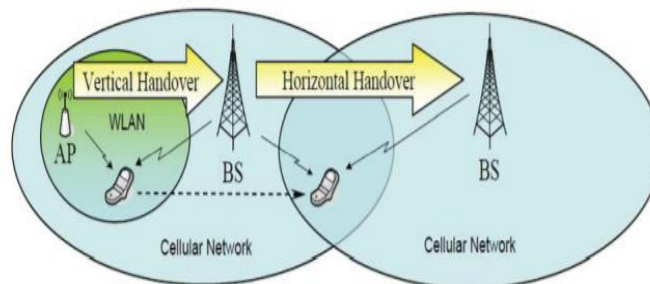


Figura 4: Traspaso horizontal y vertical

Fuente: (Navarro)

2.3.2 PROCEDIMIENTO DEL HANDOVER

El proceso es realizado en los equipos que estén conectados a la red el cual se lleva a cabo en la red troncal EPC con las medidas enviadas por el terminal usuario. Este mecanismo permite que todas las comunicaciones permanentes que se encuentren en ese momento perduren ante el cambio de la estación base fuente a la estación base destino que brinda el acceso a la red. En LTE se introduce el concepto de área de seguimiento TA (tracking área) para ejecutar la información de localización el cambio más fundamental implica que el dispositivo móvil pueda estar registrado en varias TA dentro de la red al mismo tiempo.

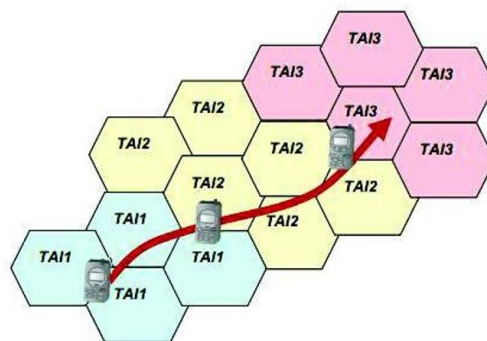


Figura 5: Lista de Tracking área

Fuente: (Cruz López, 2018)

Se puede tener algunas TA en común cuya finalidad es evitar que genere, sin embargo, no existen escenario donde las TA que pertenezcan a una misma lista se solapen.

2.3.3 PERTINENCIA DEL PROBLEMA

El proceso Handover es estudiado por varios investigadores buscando su mejora, por ello se estableció el IEEE 802.21 desarrollado con estándares que me permiten el Handover y su interoperabilidad entre redes heterogéneas que incluyen al 802 publicado en el 2008 el estándar soporta algoritmos que permita atravesar de una red a otra sin interrupciones; asimismo los

grupos de trabajo 802.21a que está desarrollando extensiones de seguridad para servicios del MIH, 802.21b dedicado a las tecnologías para Handover en enlaces descendentes, 802.21c que dirige soluciones optimizadas para Single Radio Handover, 802.21d con objetivos para soluciones de gestión y el 802.21.1 asignado para otros servicios de Framework para MIH. Se espera que para la próxima generación de redes heterogenias inalámbricas proporcionen un traspaso sin interrupciones con la mínima pérdida de información o casi sin ella (Llerena Izquierdo & Betancur Agudelo, 2014)

2.3.4 EVENTOS DISPARADORES EN LTE

Se define varios eventos que puede usar para disparar o para decidir si debe realizar el Handover en la **tabla 2** se muestra los eventos para LTE.

Tabla 2

Disparadores LTE

Tipo de evento	Condición de entrada/salida	Descripción
A1	$M_i - H_{ys} > Thresh / M_i + H_{ys} < Thresh$	La señal de la celda en servicio supera un umbral
A2	$M_i + H_{ys} < Thresh / M_i - H_{ys} > Thresh$	La señal de la celda en servicio cae por debajo de un umbral
A3	$M_n + O_{pn} + O_{cr} - H_{ys} > M_i + O_p + O_{cs} + Offset / M_n + O_{pn} + O_{cr} + H_{ys} < M_i + O_p + O_{cs} + Offset$	La señal de la celda vecina supera la señal de la celda en servicio más un <i>offset</i>
A4	$M_n + O_{pn} + O_{cr} - H_{ys} > Thresh / M_n + O_{pn} + O_{cr} + H_{ys} < Thresh$	La señal de la celda vecina supera un umbral
A5	$M_i + H_{ys} < Thresh1 \ \& \ M_n + O_{pn} + O_{cr} - H_{ys} > Thresh2 / M_i - H_{ys} > Thresh1 \ \& \ M_n + O_{pn} + O_{cr} + H_{ys} < Thresh2$	La señal de la celda en servicio cae por debajo de un umbral 1 y la señal de la celda vecina supera un umbral 2

Fuente: Autor

- Ms y Mn: Mediciones de celdas en servicio y celdas vecinas, expresados en dBm en caso de usar RSRP o en dB en caso de usar RSRQ
- Hys: Histéresis para cada evento en dB
- Thresh: valor umbral para cada evento expresados en dBm en caso de usar RSRP o en dB en caso de usar RSRQ

- Ofs y Ofn: Específico de frecuencia para la celda en servicio y vecina en dB
- Ocs Y Ocn: Específico de celda para las celdas en servicio y vecina en dB

Se considera A3 como óptimo de estudio en una red LTE ya que este evento compara la señal de la celda vecina con la señal de la celda en servicio teniendo en cuenta los valores marcados por los parámetros mencionados anteriormente.

2.3.5 MARGEN DE HANDOVER

Este parámetro es fundamental que indique el margen en el cual el nivel de señal de la celda vecina supera a la celda servidora para la ejecución del Handover este parámetro trabaja en conjunto con el tiempo de disparo (TTT) y la Hysteresis (HOM) conocido como un umbral para prevenir el efecto ping-pong entre estaciones vecinas con una correcta ocupación de recursos



Figura 6: Margen de Handover y TTT en LTE

Fuente: Autor

el efecto ping-pong al máximo es un fenómeno muy común que degrada el rendimiento de la red. El efecto ping-pong significa cuando el sistema celular realiza múltiples traspasos un lado a otro entre un par de celdas de manera innecesaria ya que el dispositivo móvil no se establece en la cobertura de la celda vecina, sino que regresa a la celda original provocando un desperdicio y pérdida de paquetes.

2.3.6 ALGORITMO DE TRASPASO EN REDES LTE

En el artículo descrito por (Jansen, Balan, Moerman, & Kürner, 2016) se evalúa para mejorar el rendimiento general de la red y disminuir los efectos negativos de la red utiliza un algoritmo el cual propone mejorar las combinaciones de la histéresis y tiempo de activación para el estado actual de la red.

El presente algoritmo de traspaso ajusta el traspaso para todas las celdas en el valor de simulación en todos los puntos de operación. Para evaluar el rendimiento general del sistema se combina los resultados de la simulación para todos los HPI en una ecuación.

$$H_p = W1HPI_{HOF} + W2HPI_{HPP} + W3HPI_{DC}$$

Ecuación 1: Algoritmo de traspaso

Fuente: Autor

Donde $W1HPI_{HOF}$, $W2HPI_{HPP}$ y $W3HPI_{DC}$ son los indicadores de desempeño de la tasa de traspaso fallidos, la tasa de traspaso de ping-pong y el corte de las llamadas respectivamente. cada HPI es multiplicado por un peso representado por $W1$, $W2$ y $W3$ definidos por el operador. Este algoritmo de acuerdo con las combinaciones de la Hysteresis y TTT reduce la tasa de traspasos fallidos y la tasa de cortes de llamadas; sin embargo, al reducir la tasa de corte de llamada puede incrementar el traspaso ping-pong aumentando significativamente la señalización de la red la simulación muestra que, dependiendo del escenario, se podría obtener una reducción alrededor del 60%.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación describe detalladamente la forma en la cual se lleva a cabo la investigación permitiendo explicar los métodos usados incluyendo la información adecuada para entender los resultados de la investigación. La estructura metodológica enfoca una condición que asegura la validez del estudio. El método de investigación busca responder como se desarrolló la investigación.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Este tipo de investigación se va a llevar a cabo, para poder obtener toda la información relacionada con el tema mediante la búsqueda en documentos de investigaciones previas ya que existe una gran cantidad de fuentes de investigación. El objetivo es permitir tener una visión clara del tema y luego mediante un análisis de toda la información obtenida se generará nuevas preguntas para estudios posteriores (Garcia Dihigo, 2016).

3.1.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación experimental se basa en la recopilación de datos específicos que puedan ser de ayuda para dar las soluciones necesarias al tema de investigación. Se hace uso de variables experimentales aún no comprobadas que puedan ser manipuladas con la finalidad de llegar a una conclusión o decisión, después de realizar un respectivo análisis de estas (Edición Buenos Aires, 2006).

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de observación se basa en un conjunto de normas orientadas a evaluar un proceso en particular para conocer la realidad de dicho procedimiento, para detallar con precisión y de forma sistemática cualquier situación que se produzca de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación como los indicadores de desempeño de traspaso.

3.2.2 INSTRUMENTOS

- 3GPP TS 36.101 detalla sobre usuario de equipo (UE) en la transmisión y recepción de radio
- IEEE 802.21 mecanismos y funciones para Handover
- IEEE 802.21b dedicado a las tecnologías para Handover en enlaces descendentes
- IEEE 802.21c que dirige soluciones optimizadas para Single Radio Handover
- Artículos científicos relacionados con el Handover en la red 4G(LTE),
- Manual de instalación y uso MATLAB R2020a

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

La población fue infinita ya que las simulaciones de la red móvil en Matlab no están limitadas en número ni en tiempo y se pueden hacer las veces que se requiera.

3.3.2 MUESTRA

Para la evaluación de la red la muestra fue no probabilística intencional ya que para validar el rendimiento se analizan 3 parámetros como lo son: Pérdida de paquetes que se escogió 20 datos, para el Throughput se tomó 20 datos y la latencia 20 datos

3.4 HIPÓTESIS

3.4.1 HIPÓTESIS NULA (H₀)= La reducción del efecto handover ping-pong logra mejorar el rendimiento de la red

3.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_i)= La reducción del efecto handover ping-pong no logra mejorar el rendimiento de la red

3.4.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 3

Variable Dependiente e Independiente del proyecto

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable -pong	Reducción del efecto y análisis de este	Topología de red Nodo de partida Nodo de llegada	Software para análisis del efecto ping-pong en una red
Variable Dependiente Calidad de servicio en redes móviles de comunicación	Optimizar la latencia y velocidad	Throughput Latencia	Resultados de simulación

Fuente: Autor

3.5 PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS

Para el análisis y simulación del efecto handover ping-pong en una red LTE se efectuará el siguiente proceso de la investigación propuesta

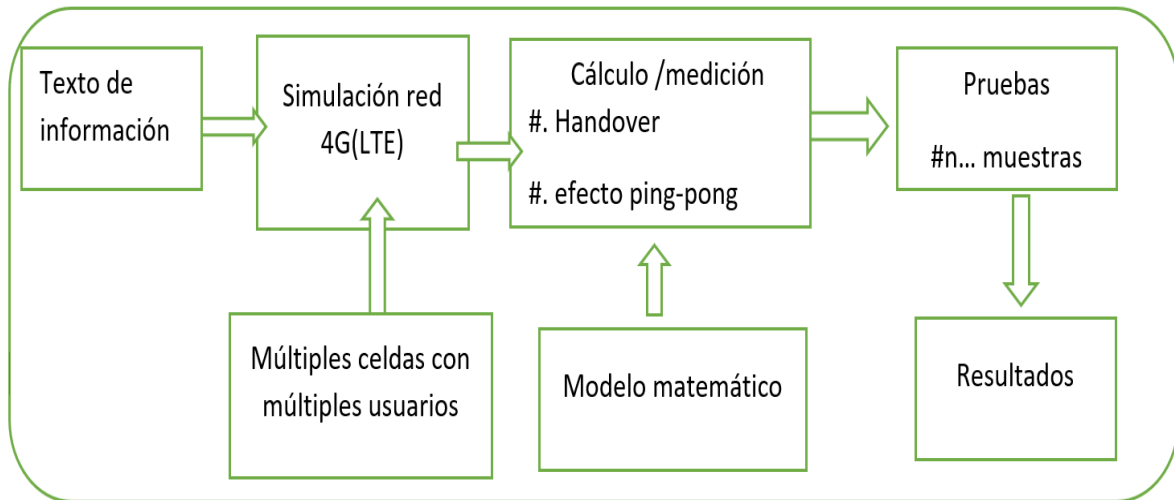


Figura 7: Procedimiento para análisis y resultados

Fuente: Autor

1. Realizar una recopilación de datos e información de la red LTE y efecto Handover ping-pong
2. Investigación de información e instalación de un software de simulación
3. Simulación de una red 4G para analizar el efecto handover ping-pong
4. Evaluación y análisis de los indicadores clave de rendimiento como lo son: pérdidas del enlace obtenidas en el modelo matemático en dB, throughput del sistema es el número de mensajes recibidos de manera exitosa, latencia en el sistema con el fin de mejorar la red LTE.

3.5.1 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN DE LA RED EN MATLAB

3.5.1.1 SIMULADOR MATLAB

El software Matlab tiene un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, visualización y programación este programa puede analizar los datos, desarrollar algoritmos y crear modelos y aplicaciones. Se puede utilizar MATLAB:

- Para una gama de aplicaciones, incluyendo el procesamiento de señales y comunicaciones, procesamiento de imágenes y vídeo, sistemas de control, prueba y medición, las finanzas computacionales, y la biología computacional.

Matlab me permite visualizar imágenes 2D Y 3D como se muestra en la figura 8

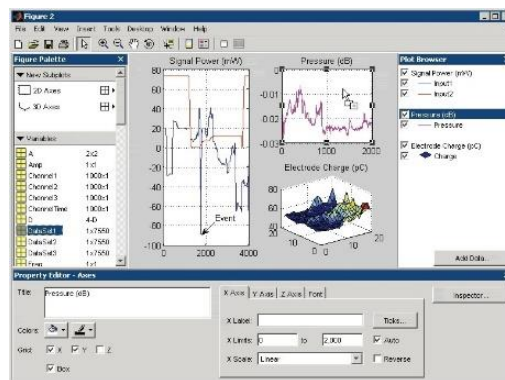


Figura 8: Simulador Matlab

Fuente: Autor

3.5.1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

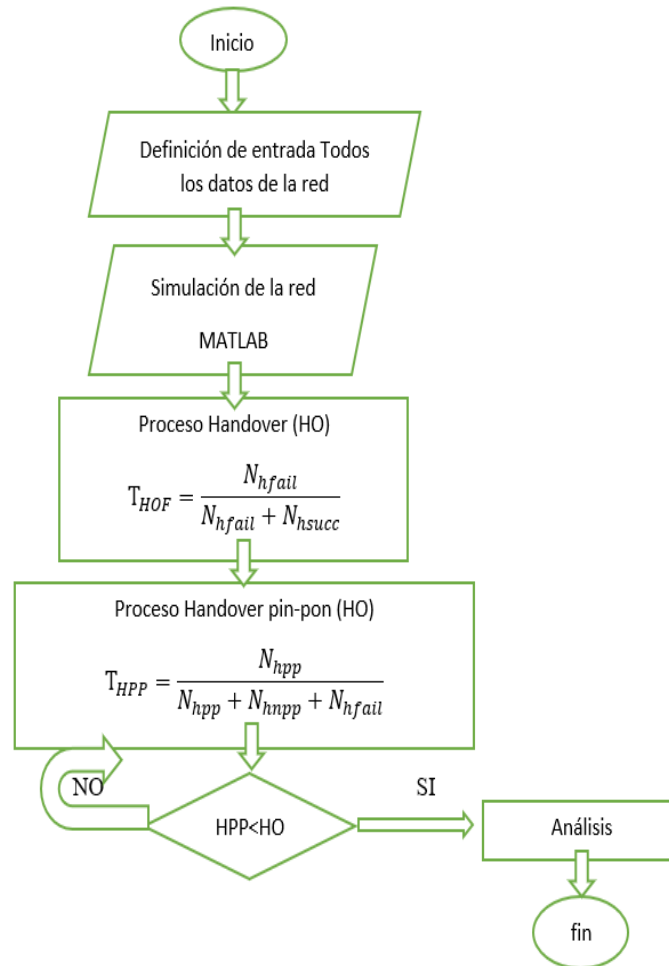


Figura 9: Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto

Fuente: Autor

3.5.2 ESCENARIO DE LA SIMULACIÓN

La simulación del handover se realizó en una red LTE representado en un escenario multicelda/multiusuario **figura 10**. Se definió un entorno de red conformado por 3 celdas, un eNB por celda y una cantidad variable de UE distribuida uniformemente entre celda los mismos que se desplazan entre las celdas. La simulación de este escenario permitió la evaluación del handover y handover ping-pong también parámetros como la latencia y el throughput.

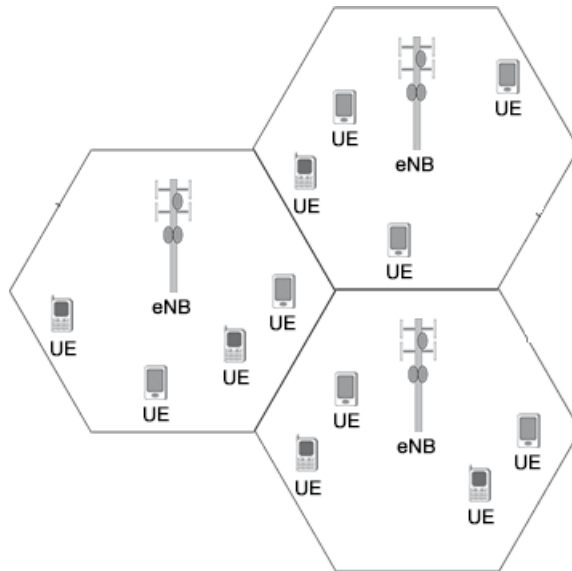


Figura 10: Escenario de la red 4G(LTE)

Fuente: Autor

En la figura 11 se muestra el área de cobertura para la simulación. Utilizamos la topología de red realista basado en los datos de red, los parámetros de simulación recomendado se basan en TS 36.839 v11.1.0. mostrados en la **tabla 6** proporciona datos realistas sobre la movilidad. La siguiente información que me proporciona un escenario de una red 4G(LTE):

- Datos de altura
- Datos movilidad
- Potencia total de transmisión
- Distancia de correlación de sombreado
- Pérdidas de penetración
- Correlación de sombras
- Desviación estándar de sombreado

En escenario los móviles se mueven por la calle en la zona marcada **figura 11**



Figura 11: Escenario de la red 4G(LTE)

Fuente: Autor

3.5.2.1 DISTANCIA ENTRE LA ESTACIÓN BASE Y EL USUARIO

Considerando que los usuarios están distribuidos en toda el área de cobertura de la estación base, primero es necesario conocer la posición del usuario, para de esa manera obtener la formulación de la distancia en cuestión. Como se puede apreciar en la **figura 11**. Las dos estaciones están separadas por una distancia D

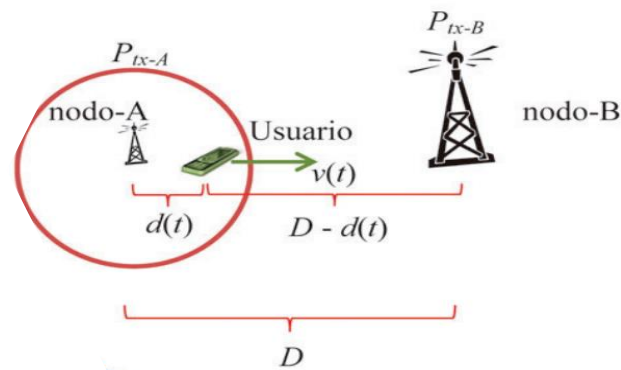


Figura 12: Escenario de Handover en la celda

Fuente: Autor

Es posible calcular la distancia mediante la ley de cosenos

$$d = \sqrt{D^2 + r^2 - 2Dr \cos(\beta)}$$

Ecuación 2: ley de cosenos

Fuente: Autor

D = distancia entre la estación base (eNB)

r = radio de la celda

β = Ángulo complementario ($\Omega + \pi - \Theta$) donde es el Ángulo que se forma entre el eje horizontal de la célula y la posición del usuario

3.5.3 MÉTRICA DE OPERACIÓN DEL HANDOVER

La potencia recibida de la señal de referencia (RSRP) y la relación señal/interferencia (SINR) son datos importantes del sistema, se utiliza para seleccionar la celda conectada y los posibles candidatos para el traspaso. La estación base de transmisión (eNBtx) inicia el traspaso en un tiempo de activación (TTT), cuando La potencia recibida de algún nodo destino ($RSRP_t$) es mayor que la potencia recibida de algún nodo fuente ($RSRP_s$)

3.5.3.1.1 *Funcionamiento de los componentes del sistema*

RSRP

$$RSRP_s = P_{txA} - PL[dt]$$

$$RSRP_t = P_{txB} - PL[D]$$

Ecuación 3: Potencia de la señal

Fuente: (Jansen, Balan, Moerman, & Kürner, 2016)

P_{txA} y P_{txB} potencia de transmisión del nodo A y B(celda)

D distancia entre nodos

PL pérdidas de propagación

dt distancia entre el usuario y nodo fuente (nodo-A)

SINR

$$SINR_S = RSRP_S - RSRP_t + SINR_S[to]$$

Ecuación 4: Potencia de la señal

Fuente: (Jansen, Balan, Moerman, & Kürner, 2016)

Los valores de SINR se calcula a partir de RSRP la aleatoriedad de SINRs en cualquier período de tiempo depende de la variable aleatoria, que en este caso presenta una distribución uniforme entre [-3,0] (dB)

Pérdidas de propagación

Esto se presenta cuando una onda electromagnética se propaga desde el transmisor hacia el receptor; se presenta un modelo de pérdidas de propagación expresada mediante la ecuación

PL

$$PL [dt]=22\log_{10}[dt] + 28 + 20 \log_{10}(fc)+x(\mu\sigma)$$

$$PL[D]=22\log_{10}[D - dt] + 28 + 20 \log_{10}(fc)+x(\mu\sigma)$$

Ecuación 5: Pérdida de propagación

Fuente: (Jansen, Balan, Moerman, & Kürner, 2016)

PL representa las pérdidas de propagación

Fc frecuencia

X variable aleatoria con valores 0 dB

$\mu\sigma$ desviación estándar que representa el desvanecimiento del canal

3.5.4 MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático que se utilizó acorde a nuestro objetivo fue de optimización que ajusta los parámetros del traspaso de LTE buscando mejorar el desempeño de la red y disminuir los efectos negativos de la red basados en el algoritmo de traspaso en redes LTE especificado en el estudio del arte **ecuación 1**.

3.5.4.1 Modelo matemático propuesto

La movilidad es una de las variables más relevantes del escenario de una red 4G. Es necesario un proceso de desplazamiento por lo cual se requiere manipular el tiempo para iniciar el proceso de traspaso con valores que puedan reducir los indeseados efectos ping-pong en este proceso de traspaso el algoritmo se basa en el cálculo porcentual y los pesos configurados de acuerdo al operador

3.5.4.2 variables de decisión

movilidad

Acorde al estudio es notorio la importancia de ciertas variables para el proceso de traspaso enfocados en un entorno multicelda/multiusuario que brinden cobertura. Entre dichas variables se encuentra

- TTT
- Histéresis (HOM)

$$\text{Minimizar} = \text{HOM} + \text{TTT}$$

Ecuación 6: variable

Fuente: Autor

3.5.4.2.1 *Tiempo de disparo (Time to Trigger)*

Tiempo para el cual el criterio de la métrica de opresión debe cumplirse para iniciar el reporte de datos. Acorde a lo establecido en la **tabla 4**, el valor definido como MS0 corresponde a 0 segundos, MS40 a 0.04 s o 40 milisegundos y así sucesivamente

Tabla 4

valores de Time To Trigger

Valores por configurar	Valores físicos (S)
MS0	0
MS40	0.04
MS64	0.064
MS80	0.08
MS100	0.1
MS128	0.128
MS160	0.16
MS256	0.256
MS320	0.32
MS480	0.48
MS512	0.512
MS640	0.64
MS1024	1.024
MS1280	1.280
MS2560	2.56
MS512	5.12

Fuente: Autor

3.5.4.2.2 *HYSTÉRESIS*

Está relacionado con el margen de traspaso por mejor celda servidora. El parámetro es usado al entrar y salir de las condiciones de disparo este valor se resta al nivel de la señal de la celda vecina, con el propósito de disminuir su nivel frente al nivel de la celda servidora.

Tabla 5

Hystéresis

Valores por configurar	Valores físicos (dB)
MHO0	0
MHO0.5	0.5
MHO1	1
MHO1.5	1.5
MHO2	2
MHO2.5	2.5
MHO3	3
MHO3.5	3.5
MHO4	4
MHO4.5	4.5
MHO5	5
MHO5.5	5.5
MHO6	6
MHO6.5	6.5
MHO7	7
MHO7.5	7.5
MHO8	8
MHO8.5	8.5
MHO9	9
MHO9.5	9.5
MHO10	10

Fuente: Autor

3.5.4.3 RESTRICCIÓN

Se inicia el traspaso si se cumple la condición

$$RSRP_t > RSRP_s + HOM$$

Ecuación 7: Parámetro de Control

Fuente: Autor

Una vez realizado el traspaso se presenta un algoritmo de optimización que ajusta los parámetros de traspaso de LTE buscando mejorar el desempeño de la red y disminuir los efectos negativos efecto handover ping-pong, el algoritmo utiliza la combinación de histéresis y TTT

de acuerdo con el estado de la red para lo cual utiliza indicadores de desempeño de traspaso como la tasa de traspasos fallidos, la tasa de traspaso ping-pong y la tasa de cortes de llamada

$$kpi = \frac{T_{HOF} + T_{HPP} + T_{DC}}{W}$$

Ecuación 8: Algoritmo

Fuente: Autor

3.5.4.4 Tasa de fallo Handover

La tasa de fallos en la entrega (T_{HOF}) es la razón del número de traspasos fallidos (N_{hfail}) al número de intentos de traspaso, el número de intentos de traspaso es la suma de número de exitosas (N_{hsucc}) y el número de traspasos fallidos

$$T_{HOF} = \frac{N_{hfail}}{N_{hfail} + N_{hsucc}}$$

Ecuación 9: Tasa de falló handover

Fuente: Autor

3.5.4.5 Tasa de fallo handover Ping-Pong

Si un usuario se traspasa a una nueva celda y se devuelve a la celda fuente en menos del tiempo de transición este traspaso se considera un traspaso de ping-pong. Ratio de traspaso (T_{HPP}) representa el número de traspasos ping-pong (N_{hpp}) dividido por el número total de traspasos, es decir el número de traspasos ping-pong (N_{hpp}) el número de traspasos en los que se produce ping-pong (N_{hnpp}) y el número de traspasos fallidos (N_{hfail}).

$$T_{HPP} = \frac{N_{hpp}}{N_{hpp} + N_{hnpp} + N_{hfail}}$$

Ecuación 10: Tasa de falló handover Ping-Pong

Fuente: Autor

3.5.4.6 Tasa de fallo Call dropping

La tasa de caída de llamadas (T_{DC}) es la probabilidad de que una llamada existente se descarta antes de que finalice. Durante el traspaso, por control de congestión si el usuario se mueve fuera de cobertura, se calcula como la relación entre el número de llamadas interrumpidas ($N_{Dropped_Call}$) a la cantidad de llamadas que fueron aceptadas por la red ($N_{Call_Initied}$)

$$T_{DC} = \frac{N_{Dropped_Call}}{N_{Call_Initied}}$$

Ecuación 11: Tasa de falló Call dropping

Fuente: Autor

Mediante el valor de $SINR_s$ que distingue un usuario al alejarse de su nodo fuente tiende a reducirse por las pérdidas de propagación, que sufre la señal respecto a la distancia que los relaciona. En el procedimiento de handover, el nivel $SINR_s$ que tiene un enlace de comunicación con el usuario y nodo fuente es menor al nivel $SINR_s$ mínimo, obligado para conservar la comunicación ($SINR_{out}$), así se origina una falla de Handover. Esta falla de handover sucede si estas condiciones se cumplen (3GPP, 2012), indicado en la **figura 13**

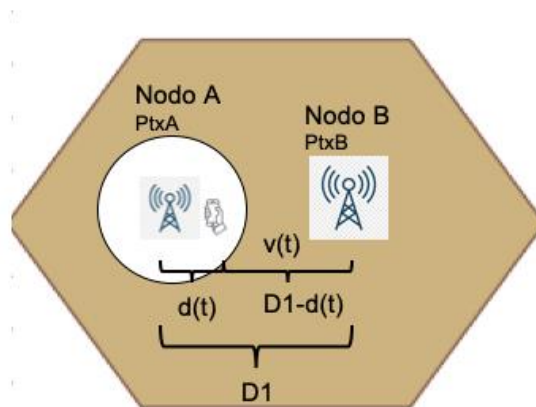


Figura 13: Escenario de Handover de celda pequeña a macrocelda

Fuente: Autor

3.5.5 DIAGRAMA SECUENCIAL PROCEDIMIENTO DEL HANDOVER

El desarrollo del Handover en Matlab se debe realizar adecuadamente de manera lógica con el objetivo de implementar correctamente el procedimiento del Handover como se observa en la **Figura 11** donde se muestra los tiempos involucrados en el procedimiento de traspaso

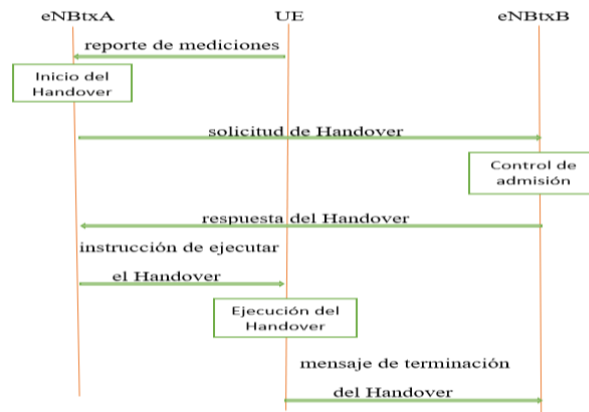


Figura 14: Proceso secuencial del Handover

Fuente: Autor

3.5.5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ADAPTACIÓN



Figura 15: Algoritmo de adaptación de Handover/HandoverPP

Fuente: Autor

El desarrollo del handover y handover ping pong, se programó bajo el pseudocódigo; descrito a continuación en el PseudoCode1:

Procedimiento HANDOVER/ HANDOVERPP

```
1  BEGIN
2  Initial conditions (PtxA, PtxB, fc, D1, SINRout, SINRs_to, dt, N)
3  Hexa_center (x, y);
4  Hexa_center_1(x, y);
5  For i=1: N+1
6  BEGIN
7    Hexa_center (x, y);
8  END
9    Time (t1, clock);
10   Dropped_Call=0;Call_Initiated=0;hfail=0;hsucc=0;
11   hpp=0; hnpp=0; PL_D=0; PL_dt=0;
12  While(t1<10)
13    BEGIN
14      User_Probability();
15    If User_Probability>4 Then
16      User_Cell_Position ();
17      Random_Channel_New ();
18      Call dropping ratio ();
19      RSRPs= PtxA-PL_dt;
20      RSRPt= PtxB-PL_D;
21      SINRs=RSRPs-RSRPt+SINRs_to;
22    If SINRs<SINRout Then
23      hfail=hfail+1;
24    ELSE
25      hsucc=hsucc+1;
26    END
27    If hfail==0&&hsucc~=0 Then
28      hpp=hpp+1;
29    ELSE
30      hnpp=hnpp+1;
```

```

31 ELSE
32     Dropped_Call=Dropped_Call+1;
33 END
34     t1=etime(clock,Previous_Time);
35 END

```

3.5.6 TROUGHPUT

El Throughput se calcula a partir del algoritmo,

$$N_1 = 0.01$$

(a)

$$\text{Troughput} = 1 + \frac{dhp}{N_1}$$

(b)

$$\text{Total} = \text{sum}(\text{Troughput}(:))$$

(c)

Ecuación 12: Información throughput

Fuente: Autor

Donde, (a) es un intervalo temporal de muestra del algoritmo, el cual se usa en la división respecto al vector resultante sumando a la unidad lo que determina en (b). Finalmente, en (c), se determina mediante una suma total de los vectores, la cantidad de información o material que se transmite o se entrega en un período de tiempo específico.

3.5.7 LATENCIA

En Matlab se mide utilizando los siguientes parámetros:

$$\begin{cases} tic \\ T1(j) = toc \end{cases}$$

Ecuación 13: Latencia

Fuente: Autor

La función de Matlab de tic, toc; sirven para medir el inicio y terminación de cada iteración del algoritmo así de forma general mide la suma de retardos temporales dentro del modelo.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección, se presenta una valoración del proceso de gestión de la comunicación evaluado en términos de: tasa de proporción de caída de llamadas, tasa de fallas de handover además de la tasa de handovers ping-pong. Para esto, es considerado la adaptación de un algoritmo y las variables Tiempo de Disparo (TTT) e Hysteresis (HOM), y los resultados es evaluado en las tablas de datos obtenidos de la simulación

4.1 Recopilación de Datos

Para la simulación del algoritmo se plantea inicialmente un escenario basado y mostrado en la figura 11, resumiendo los parámetros generales del sistema en la **tabla 6**

Tabla 6

Parámetros generales de la simulación

Parámetro	Valor
Potencia de transmisiónnodo fuente (P_{txA})	30 (dBm)
Potencia de transmisiónnodo destino (P_{txB})	46 (dBm)
Frecuencia (f_c)	2 (GHz)
Distancia entre nodos (DI)	175 (m)
Desviación estándar deldesvanecimiento (σ)	4 (dB)
Velocidades del usuario [$v(t)$]	[3,10,30,60, 100,120] (km/h)
Período de mediciones del usuario	10 (ms)
Mínimo tiempo de estancia	2 (s)
Nivel de falla de <i>handover</i> ($SINR_{out}$)	8 (dB)
Tiempo para declarar falla de enlace de radio	1 (s)
($SINR_{s,to}$)	-3 (dB)
Tiempo de preparación de <i>handover</i>	50 (ms)
Tiempo de ejecución de <i>Handover</i>	40 (ms)
W	3.5

Fuente: Autor

4.2 EVALUACIÓN EN EL ESCENARIO

El caso de uso, indicado en la [Figura 3](#), está compuesto por una red heterogénea que involucra una macrocelda, una celda de menor dimensión además del usuario que en primera instancia se ubica en el área de servicio de la celda más pequeña del nodo A. El usuario se desplazó en forma lineal, con $v = cte$ (velocidad constante) en dirección a la macrocelda del nodo B.

En las condiciones iniciales de P_{txA} , P_{txB} , $\mathbf{d}(t)$, así como de $\mathbf{PL}[\mathbf{d}(t)]$, en un intervalo de tiempo determinado se estiman los valores relacionados al usuario de \mathbf{SINR}_s , \mathbf{RSRP}_s y \mathbf{RSRP}_t , calculado de las ecuaciones (2), (3) y (4) respecto a cada una. Los tiempos involucrados se ubican de las variables Cuando el handover se inicia. Se contabiliza como exitoso, al cumplir la condición de que en el nuevo valor $\mathbf{SINR}_s < \mathbf{SINR}_{out}$; de no ser así, se cuenta como una falla de handover

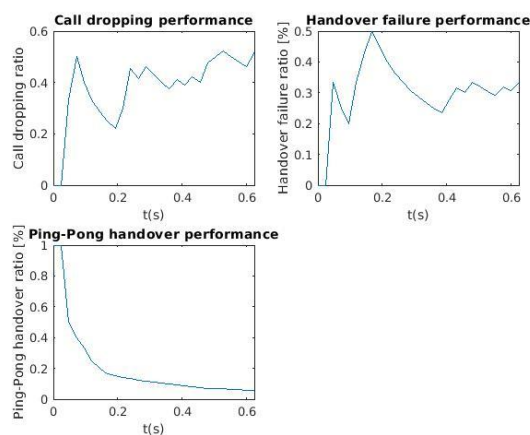


Figura 16: Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 2D

Fuente: Autor

De esta manera se toma en cuenta un handover ping-pong, si para un mismo usuario se producen al menos más de un handover consecutivo en un tiempo menor a un tiempo mínimo

estacionario. En la propuesta del caso de uso, se toma como referencia la posibilidad de que el nodo destino tiene la capacidad para admitir el handover, ya que, en caso de no existir, estas condiciones esto originaria una falla de handover independientemente de que los parámetros de TTT y HOM sean constantes.

En el escenario descrito en la [Figura 3](#), cuando el usuario tiene la misma trayectoria descrita, los cambios de $SINR_s$ y $RSRP_s$, son aleatorias, puesto que el comportamiento del canal inalámbrico de comunicación depende de pérdidas por propagación junto con el desvanecimiento. La tasa de fallas del handover se obtiene de proporción de fallas handover en consecuencia de handover que inician en Matlab mientras que la tasa de handover ping-pong se obtiene a proporción de handover ping-pong que se completa exitosamente

4.3 VALIDACIÓN:

Se realizaron inicialmente pruebas cortas que me permitan observar el correcto funcionamiento del escenario de la figura 10, registrando los niveles RSRP y el adecuado inicio del proceso de traspaso **ecuación 6**, acorde al modelo programado para el traspaso, el traspaso exitoso se comprobó con el número de llamadas con éxito total y los traspasos fallidos con el número de llamadas caídas obteniendo así mismo un % de llamadas caídas como se muestran en la **figura 18**.

```

while t1<10
tic
User_Probability=rand(); %probabilidad si el usuario tiene éxito
if(User_Probability>0.4)%la llamada es exitosa si la probabilidad es mayor
User_Cell_Position=floor((4-1)*rand()+1);%DETERMINE LA CELDA
Hexa_X_min(User_Cell_Position)=X_Center(User_Cell_Position)-(R);
Hexa_Y_min(User_Cell_Position)=Y_Center(User_Cell_Position)-(R);
Hexa_X_max(User_Cell_Position)=X_Center(User_Cell_Position)+(R);
Hexa_Y_max(User_Cell_Position)=Y_Center(User_Cell_Position)+(R);
%Mueve al usuario en posición de célula aleatoria
Random_User_X(User_Cell_Position)=Hexa_X_min(User_Cell_Position);
Random_User_Y(User_Cell_Position)=Hexa_Y_min(User_Cell_Position);
%Asignar el canal aleatorio al usuario en la celda respectiva.
Random_Channel_New=floor((Channel_Number_x-1)*rand()+1);
%figure(2);
User_Plot=plot(Random_User_X(User_Cell_Position),Random_User_Y(User_Cell_Position));
txt = ['+Ch:',num2str(Random_Channel_New)];
Channel_Plot=text(Random_User_X(User_Cell_Position),Random_User_Y(User_Cell_Position),txt);
dx(j)=User_Probability;
dy(j)=Dropped_Call;
hold on;
pause(0.9);
delete(User_Plot);
delete(Channel_Plot);
Call_Initiated=Call_Initiated+1;
dz(j)=Dropped_Call/(Call_Initiated);%Call dropping ratio
dt=R*sqrt(Random_Channel_New);
PL_dt= 22*log10(dt)+28+20*log10(fc)+User_Probability
PL_D= 22*log10(Dl-dt)+28+20*log10(fc)+User_Probability
RSRPs= PtxA-PL_dt;%potencia que recibe el usuario de algún nodo destino
RSRPs= PtxB-PL_D;%potencia que recibe el usuario de algún nodo destino
SINRs=RSRPs-RSRPt+SINRs_to;
dw(j)=SINRs;

```

Figura 17: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LA RED

Fuente: Autor

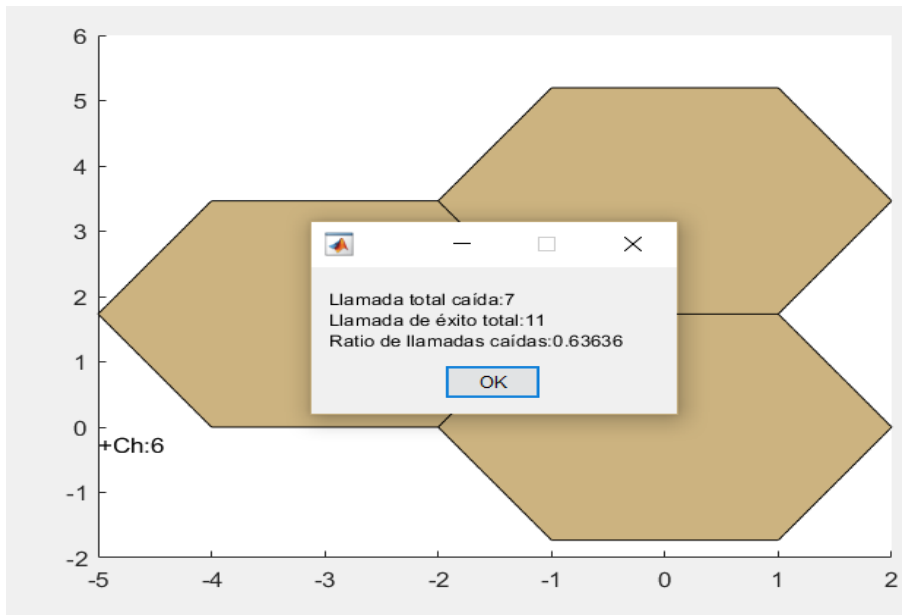


Figura 18: PARÁMETROS DE TRASPASO DE LA RED

Fuente: Autor

4.4 FORMULACIÓN DEL MODELO:

Para implementar el modelo se utilizó el diagrama de flujo de la **figura 15**, en donde están incluidas la movilidad del modelo matemático y la adaptación del algoritmo el cual utilizo las **ecuaciones (8)(9)(10)** propuestas anteriormente. el cual utiliza las medidas reportadas por la simulación de la red que determinar la mejor celda servidora como se muestra en la **figura 18**,

comienza el proceso de traspaso **ecuación 6**, entre las eNB involucrados para mejorar el rendimiento de la red reduciendo el efecto handover ping-pong.

4.5 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN HOM Y TTT

En este apartado se presentan los resultados de la tasa de proporción de caída de llamadas, tasa de fallas de handover además de la tasa de handover ping-pong; en el caso de uso en donde los valores de HOM y TTT son constantes, junto con los parámetros de evaluación descritas anteriormente y los valores de simulación indicado en la **Tablas (4)(5)**. Esta simulación fue programada en Matlab además de ser ejecutado en una computadora DELL con procesador Intel® Core® i7-1065G7 CPU@ 1.30 GHz 1.5 GHz, y RAM 8GB.

En el experimento descrito en la subsección anterior se ejecuta j veces de forma aleatoria hasta llegar al resultado. Al tener esta característica permite tener una aproximación en intervalos de confianza de alrededor del 85%, en los valores estimados de las tasas de fallas caída de llamadas, handover y handover ping-pong, conserven a partir de la tasa que le corresponde, con rangos máximos del valor absoluto de las tasas. Podría decirse así que en una tasa de 5%, le corresponde un intervalo de confianza del 95% tendrá como máximo valores entre $[0.8, 1]$ (%).

4.6 CASO DE PRUEBA

A partir de la **Figura 18**, la cual se realizó el handover con un total de llamadas caídas de 7 y llamadas exitosas de 11 y un porcentaje de perdida 0.63636% al implementar el algoritmo se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la **Figura 19**, (A)(B)(C)

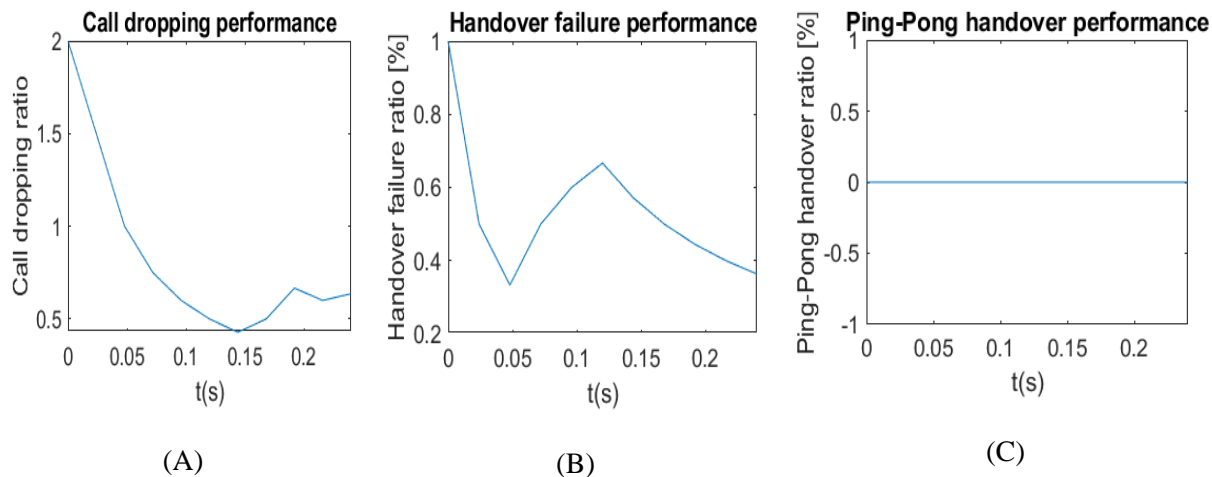


Figura 19: caso del pingpong en cero

Fuente: Autor

Como se observa en la **Figura 19** literal (B) la falla del efecto handover comienza a reducirse a cero a partir de los 150ms mientras que las fallas del efecto handover ping-pong literal(c) teniendo una mejora significativa de la red con un alcance del 1%

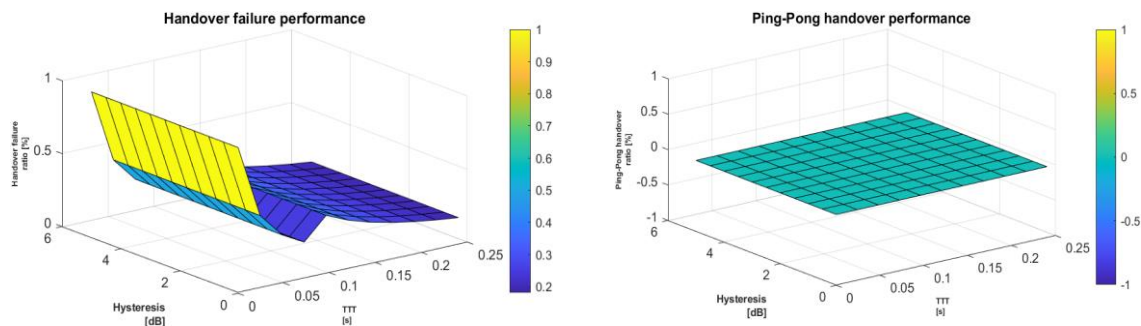


Figura 20: Resultados en tres dimensiones

Fuente: Autor

El throughput del sistema tiene una tasa máxima de 0.4kbytes/s y una latencia máxima alrededor de 3s de la frecuencia.

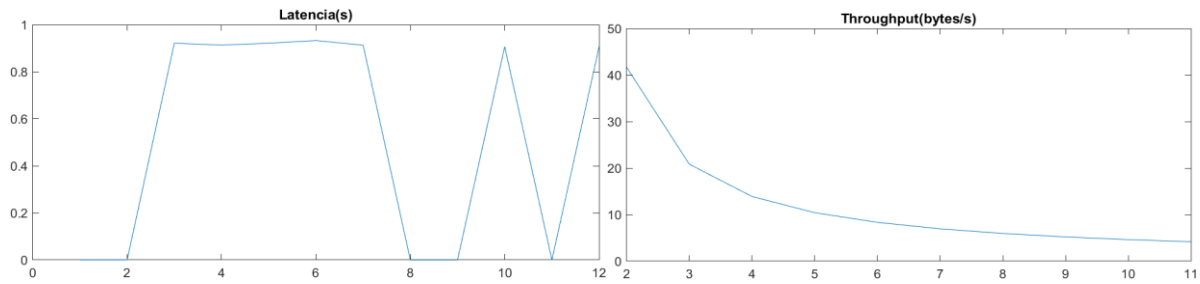


Figura 21: Latencia y Throughput en el caso de prueba

Fuente: Autor

Tabla de resultado del caso de prueba en los cuales se observa tanto los valores de las fallas handover y handover ping-pong

Tabla 7

Resultado del caso de prueba

TTT	MHO2			Throughput	Latencia
	Valores físicos (S)	HANDOVER	PING-PONG		
MS40	0.04	0.333	0	0.4kbytes/s	3s
MS64	0.064	0.5	0	0.2kbytes/s	3s
MS80	0.08	0.6	0	0.13kbytes/s	3s
MS100	0.1	0.62	0	0.10kbytes/s	3s
MS128	0.128	0.667	0	0.08kbytes/s	3s
MS160	0.16	0.677	0	0.0694kbytes/s	3s
MS256	0.256	0.777	0	0.05952kbytes/s	3s

Fuente: Autor

4.7 RENDIMIENTO DE HANDOVER Y HANDOVER PING-PONG

4.7.1 PROBABILIDAD SATISFACTORIA

Se muestra el resultado de la simulación con una histéresis 6dB y un tiempo de activación de 40 ms como se observa en la **Figura 22**, la línea roja muestra el índice de fallas del traspaso mientras que la línea amarilla indica el índice de traspaso del ping-pong, la tasa de transferencia ping-pong casi alcanza un 1% el algoritmo que nace del modelo matemático tiene como objetivo reducir los traspasos ping-pong. para examinar el efecto del algoritmo de optimización de traspaso comienza el ajuste de los parámetros de transferencia después de los 40 ms del tiempo de simulación. El rendimiento del sistema es el mismo hasta los 40ms del tiempo de simulación

como se en la figura 16 después de este tiempo la tasa de $t < zzzras$ paso ping-pong se reduce a cero mediante el algoritmo de optimización mejorando el rendimiento de la red y cumpliendo el objetivo de reducir el efecto ping-pong

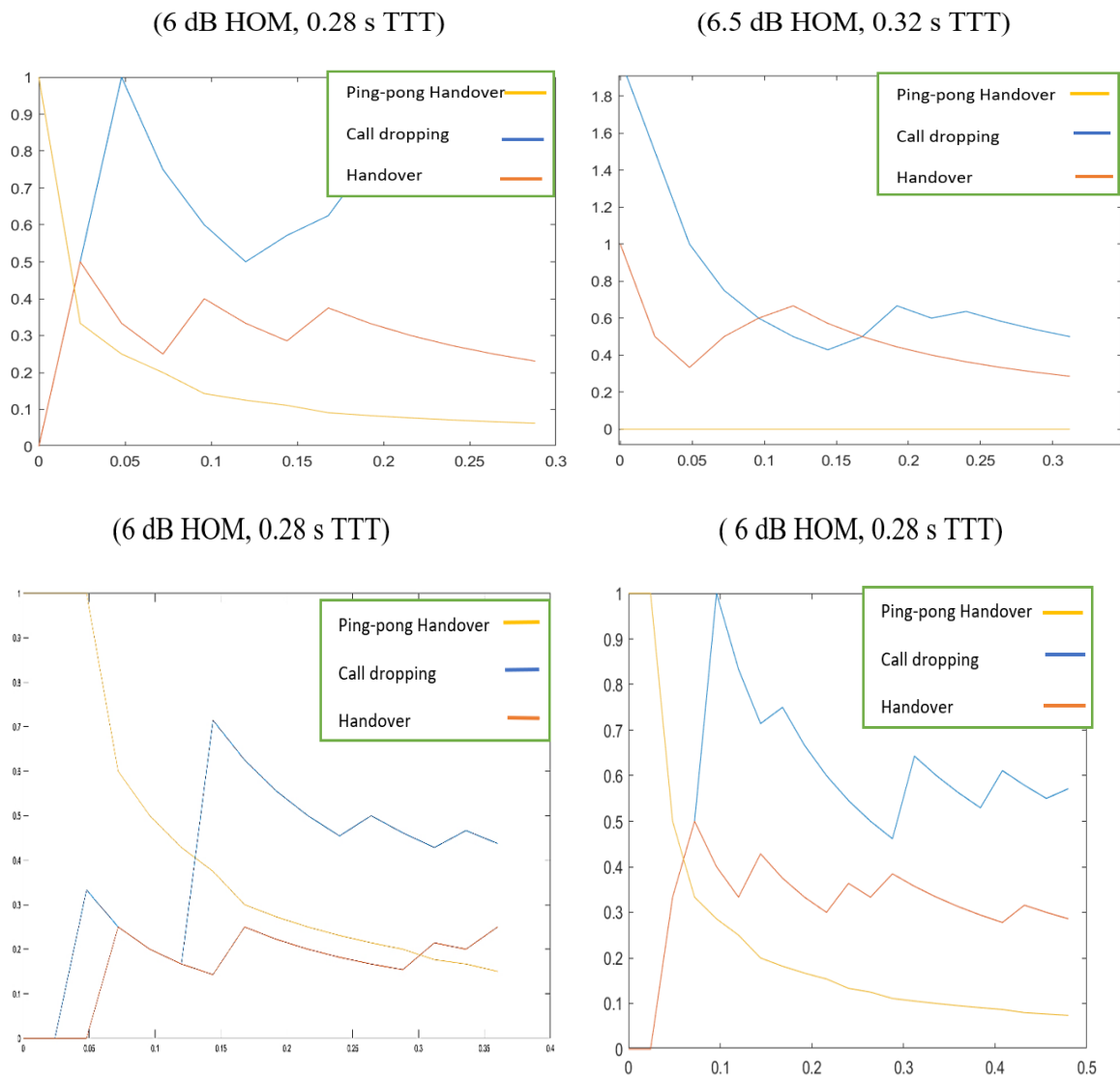


Figura 22: Probabilidad satisfactoria para Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 2D

Fuente: Autor

Se muestra probabilidad satisfactoria para el handover y handover ping-pong, por lo tanto, para el análisis se toma diferentes intervalos como se muestra en la **tabla 8**, para el handover y en la **tabla 9**, handover ping-pong

Tabla 8*Tasa de fallas de handover (%) con valores constantes de HOM y TTT*

HOM	TTT(s)			
	MS40	MS80	MS128	MS256
MHO6	0.3333	0.4	0.3333	0.25
MHO6.5	0.333	0.6	1	0.333
MHO7.5	0	0.2	0.1667	0.1667
MHO10	0.3333	0.4	0.3333	0.3333

Fuente: Autor**Tabla 9***Tasa de handovers ping-pong (%) con valores constantes de HOM y TTT*

HOM	TTT(s)			
	MS40	MS80	MS128	MS256
MHO6	0.25	0.1429	0.125	0.06667
MHO6.5	0	0	0	0
MHO7.5	1	0.5	0.4	0.02143
MHO10	0.5	0.2857	0.25	0.0125

Fuente: Autor**Tabla 10***porcentaje de llamada caídas*

HOM	TTT(s)			
	MS40	MS80	MS128	MS256
MHO6		0.6	0.5	0.75
MHO6.5	1	0.6	0.5	0.5
MHO7.5	0.3333	0.2	0.1667	0.5
MHO10	0.3333	1	0.8333	0.5

Fuente: Autor

En la **Tabla 8** se muestra la tasa de falla handover 0.3% cuando la histéresis HOM=6 y el tiempo de disparo TTT=0.04s es decir que del total del handover que inician, 0.3% es considerado como fallas siendo esto en los valores más pequeños de HOM y TTT, resultado

que se obtuvo en la simulación provocando así el máximo adelanto máximo adelanto del handover y una tasa menor de fallas handover teniendo así los resultados en **Tabla 9**, en la cual se puede observa que la tasa de handover ping-pong 0.25% teniendo como resultado el total de handover que se completa con éxito pero se observa también en la **Tabla 8 y 9** que si se incrementan los valores del HOM y TTT se reducen la tasa de handover ping-pong pero se incrementa la tasa de fallas de handover, con estos resultados se establece que hay responsabilidad entre la tasa de fallas de handover y la tasa de handover ping-pong, los valores grandes en la Hysteresis y el tiempo de disparo (10 dB y 256 ms) retrasan el inicio del handover reduciendo la tasa de handover ping-pong, teniendo así también un porcentaje de llamada caídas 1%.

4.8 RENDIMIENTO DEL SISTEMA

El rendimiento del sistema **Figura 23**, muestra los resultados de la simulación en 3D para el traspaso así también las simulaciones del sistema son aleatorias, se observa un tiempo de disparo 0.256 s y una Hysteresis de 6dB para el traspaso. Para evaluar el rendimiento general de la red se combinó los resultados de la tasa de fallas de handover y la tasa handover ping-pon en una sola tabla. El rendimiento de traspaso se representa para todos los puntos de operación

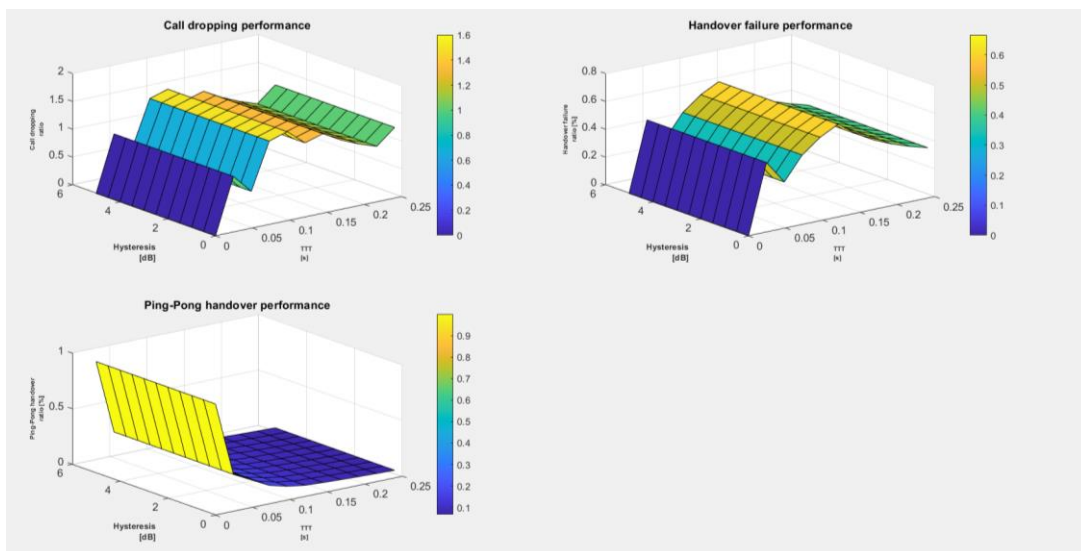


Figura 23: Tasa de fallas call dropping, handover, handover ping-pong en 3D

Fuente: Autor

Tomando en cuenta los resultados de la **Figura 23**. El cual realiza un total de llamadas 23 usuarios de las cuales 10 son caídas y 13 son exitosas teniendo un porcentaje de llamadas caídas de 0.76923% la menor tasa de fallas de handover (33%) ocurre cuando HOM=6 dB y TTT=40 ms, con estos mismos valores de HOM y TTT se obtiene una mayor tasa de handovers ping-pong (25%).

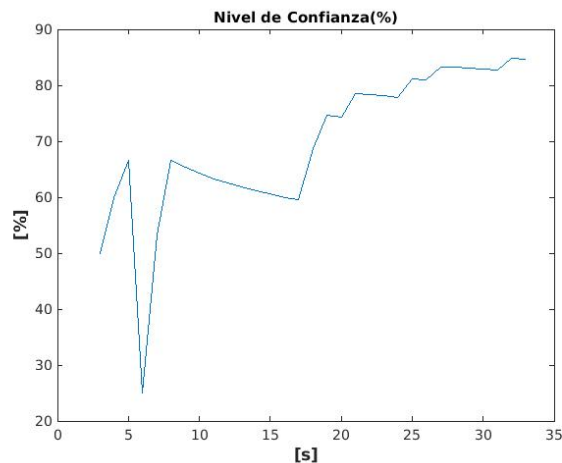


Figura 24: Nivel de Confianza (%)

Fuente: Autor

De esta manera, el resultados que se presentan en la **Tabla 11**, permite visualizar que existe una tasa de fallas de handover ping-pong del 1.25%, con un nivel de confianza del 88%, indicado en la **Figura 24**, con la adaptación de los parámetros HOM y TTT, todo esto con el escenario del entorno de propagación establecidas, indica que si es posible reducir de forma simultánea con este método propuesto

Tabla 11

Tasas de fallas de handover y handover ping-pong con valores adaptados de HOM y TTT

Predicción de $SINR_S$ con nivel de confianza del (88%)	
Tasa de fallas de <i>handover</i> (%)	33

Tasa de <i>handovers ping-pong</i> (%)
--

1.25

Fuente: Autor

El sistema tiene una latencia máxima de alrededor de 1.4s en la frecuencia y el Throughput relacionado a el trabajo de información neto que circula a través de un sistema de simulación tiene como tasa máxima un valor alrededor de los 4Kbytes/s, estas métricas se muestran en la **Figura 25**.

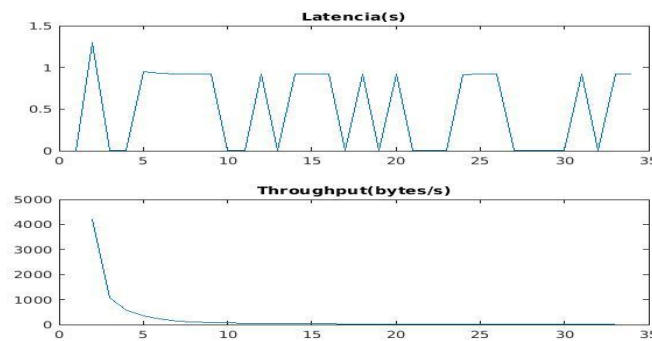


Figura 25: Latencia, Throughput.

Fuente: Autor

4.9 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Se muestra los resultados de la simulación en un punto de funcionamiento fijo con una hystéresis 5 dB y un tiempo de activación 40ms **Figura 26**, la línea roja muestras índice de traspaso del ping-pong el cual alcanza con una falla máxima de 0.5%, y el handover de falla máxima de 0.8% este modelo que se tomó como referencia **ecuación 1**, se hace cero en un tiempo 256ms para el efecto handover ping-pong

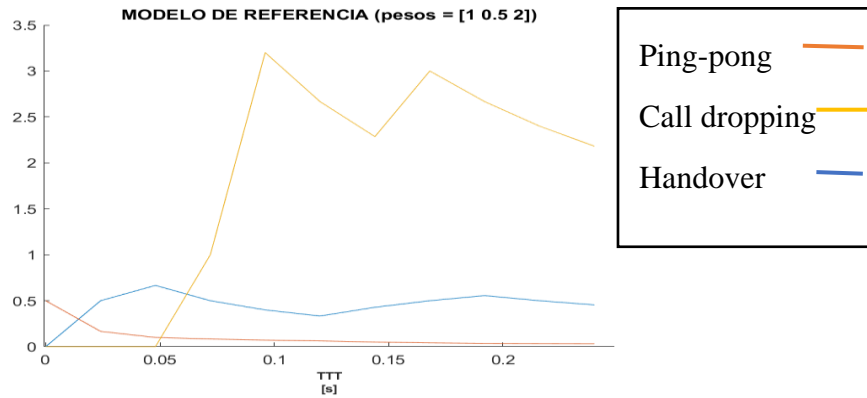


Figura 26: resultado del modelo de referencia tiene una Hysteresis 6dB y un tiempo de transición de 0ms en el cual empieza a reducir el efecto handover pin-pong con un índice de falla máximo de traspaso es de 0.5%

Fuente: Autor

El nuevo modelo tiene como objetivo reducir el efecto handover ping-pong para examinar el rendimiento de la red. La **figura 27**, muestra la simulación del nuevo modelo utilizando los mismos parámetros de simulación del modelo de referencia y su nuevo algoritmo teniendo, así como resultado un rendimiento mucho mejorado ya que la falla máxima del efecto handover ping-pong es de 0.18% y su falla máxima handover 0.2% llegando a cero en un tiempo de transición 160ms eso quiere decir que nuestro modelo tiene una mejora significativa con respecto al modelo de referencia un 0.32% de reducción en la falla del handover ping-pong en la red.

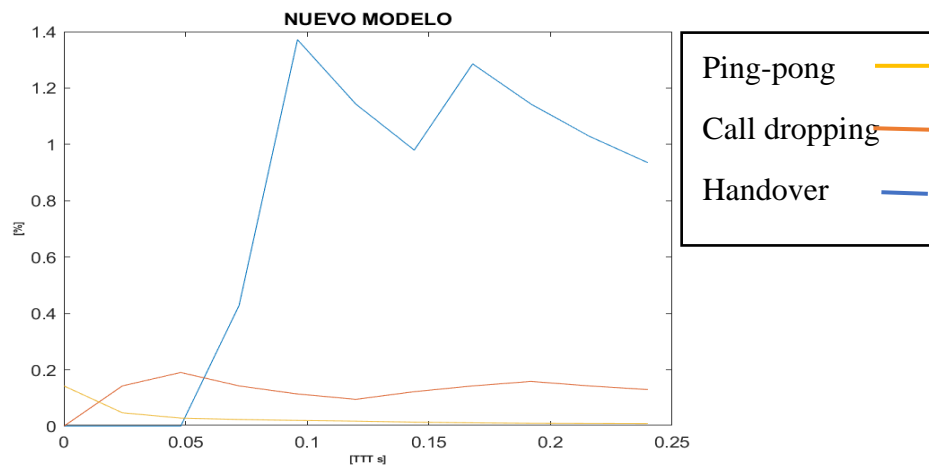


Figura 27: Resultado modelo propuesto tiene una Hysteresis 6dB y un tiempo de transición de 0ms en el cual empieza a reducir el efecto handover pin-pong con un índice de falla máximo 0.2%

Fuente: Autor

Los algoritmos de optimización comienzan a ajustar los parámetros en 24 ms del tiempo de simulación después de este tiempo el ajuste del handover y handover ping-pong aumenta, y por lo tanto el rendimiento de la red. La tasa de fallas de traspaso y la tasa de fallos del ping-pong se reducen mediante un algoritmo de optimización propuesto.

La **tabla 12**, muestra la reducción de las fallas ping-pong mediante el modelo propuesto logra reducir significativamente a cero **figura 27**, con una latencia máxima 1.5 s y un **Throughput** de 1.5 kbytes/s con un nivel de confianza 88% mejorando así la calidad de la red

Tabla 12

Resultados

	MODELO		MODELO PROPUESTO	
TTT	HANDOVER	PING-PONG	HADOVER	PING-PONG
MS40	0.048	0.1	0.1905	0.02857
MS80	0.5	0.08333	0.1429	0.02381
MS128	0.333	0.0625	0.09524	0.01789
MS160	0.5	0.04167	0.1429	0.0119
MS160	0.4545	0.03125	0.1299	0.008929
HYTERESIS	5dB		5dB	
TASA DE FALLA DE TRASFRENCIA MAXIMA	0.5%		0.1429%	
Throughput	1.5 kbytes/s		1.5 kbytes/s	
Latencia	1.5S		1.5S	
Ajuste de parámetros	24ms		24ms	

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. En esta investigación se analizó el método de handover en una red 4G a través de un modelo matemático para reducir el efecto ping-pong, teniendo una mejora significativa en la red, el handover es un protocolo muy importante en este tipo de redes. Pues este protocolo es fundamental para las redes por paquetes, teniendo así también la movilidad en este proceso, el protocolo realiza un cambio de celdas de una cantidad de usuarios al mismo tiempo en este proceso realiza una desconexión en un tiempo mínimo lo que provoca las fallas handover y los efecto handover ping-pong que es un proceso en el cual el usuario se desconecta de la estación base colocada en una celda de 30 m a la cual está conectada y trata de conectarse a la estación más cercana que está colocada en otra celda y sin éxito alguno entonces vuelve a conectarse a la anterior teniendo un efecto rebote perjudicando al usuario y degradando a la red.
2. Se desarrolló así un modelo matemático que reduzca las fallas de este protocolo teniendo presente los parámetros que son fundamentales en este protocolo handover, como son el tiempo de disparo (TTT) este tiempo determina la inicialización del traspaso y su histéresis (HOM) el cual es el margen del handover se basa en valores futuros SINR, los resultados muestran que el modelo matemático utilizado reduce la tasa de fallas de handover y la tasa handover ping-pong esto se puede verificar en las gráficas y tablas de valores en los cuales se puede observar. Los valores futuros (RSRP) se calcularon a partir de la potencia de trasmisión (P_{txA}) (P_{txB}) de la celda, pérdidas de la ruta de los usuarios a las diferentes celdas (PL) y su distancia partiendo de estos valores se calcula señal-ruido-interferencia (SINR).

3. El ajuste de los parámetros de la red ocurre cuando el traspaso cumple con la condición $RSRP_t > RSRP_s + HOM$ manteniéndose en los parámetros de activación ((0 0,04 0,064 0,08 0,1 0,128 0,16 0,256 0,32 0,48 0,512 0,64 1,024 1,280 2.560 5.120) y su adaptan con el nuevo algoritmo. La optimización del parámetros de rendimiento del protocolo se realizó mediante los indicadores como son la tasa de fallas handover(T_{HOF}), tasa de fallas handover ping-pong (T_{HPP}) y tasa de fallos de las llamadas (T_{DC}) en consecuencia su nivel de confianza para valores futuros es de un 88% teniendo una falla máxima (T_{HPP}) de 0.18%, del handover ping-pon puesto que se verifico nuestro modelo comparando con un modelo de referencia en cual se obtuvo una falla máxima 0.5%, en el handover ping-pong, esto quiere decir que se redujo un 0.35%, con nuestro modelo propuesto, teniendo así también una pérdida de llamadas del 1%, su latencia que varía de 1.4s a 3s y su throughput 1.4 bytes/s a 4Kbytes/s dependiendo su tiempo de disparo.
4. En consecuencia, el modelo matemático propuesto cambia los valores en el tiempo de transición y la Hysteresis en forma automatizada en respuesta al rendimiento de la red como se muestra en la **figura 27**. el rendimiento de la red es el mismo durante los primero 40ms de simulación después de este tiempo el ajuste de los parámetros de traspaso aumenta significativamente permitiendo reducir las fallas de handover y handover ping-pon a 0%. Los resultados de la simulación muestran que el modelo de optimización mejora significativamente el rendimiento de la red sin embargo se puede seguir realizando estudios que puedan reducir totalmente a cero el handover ping-pong en un tiempo mínimo

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seleccionar información renovada sobre el protocolo handover en las

redes de cuarta generación (LTE) pues es un factor importante para la comunicación móvil por paquetes por lo que será también muy útil e indispensable para las redes de próxima generación como la 5G. Este protocolo permite al usuario tener una comunicación móvil sin necesidad que este tenga que desconectarse en el momento del traspaso.

- Esta tesis de investigación busca mejora en el rendimiento de la red reduciendo efectos ping-pong, de manera que también se reduzca la latencia en la transmisión

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

3GPP. (2012). Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). En T. S.-c. Network, & E. U.-d. (E-UTRA), *Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)*.

Acosta Plazas, R. J. (2018). *ANÁLISIS DE ALGORITMO DE HANDOVER REACTIVO Y PROACTIVO EN SISTEMAS FEMTOCELDA PARA LA TECNOLOGIA 4G*. Quito-Ecuador.

ANDRÉS, A. (2017). *ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE COBERTURA VOLTE MEDIANTE DISEÑO DE LINK BUDGET PARA RED 4G LTE DE ENTEL EN SANTIAGO*. UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150298/Estudio-y-simulacion-de-cobertura-VoLTE-mediante-dise% c3 % b1 o - de - link - budget - para - red - % 20 4 G % 20 LTE - de - Entel - en - Santiago . pdf ? sequence = 1 & is Allowed = y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150298/Estudio-y-simulacion-de-cobertura-VoLTE-mediante-dise%c3%b1o-de-link-budget-para-red-%204G%20LTE-de-Entel-en-Santiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Aviles Delgado, P. M. (2015). *Impacto de los mecanismos de handover en la calidad percibida por usuarios de servicios de voz en LTE*[TRABAJO DE DIPLOMA]. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara.
- Aviles Delgado, P. M., Rodríguez López, C. A., Montejo Sánchez, S., López, R., & Orozco Crespo, E. (2016). ESTUDIO DEL IMPACTO DEL HANDOVER EN REDES LTE. *TELEMATICA [REVISTA DIGITAL DE LAS TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES]*, 31-46. Obtenido de <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele>
- Cisco. (2016). Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020. *Cisco Visual Networking* , 39.
- Cruz López, E. A. (2018). *EVALUACION DE PARÁMETROS DE HANDOVER EN UNA RED LTE MEDIANTE EL SOFTWARE DESIGNER*. Politecnica Nacional, Quito-Ecuador.
- DEIDÁN ARREAGA, C. L. (2017). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS SOFTWARE DEFINED NETWORKING Y NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION EN REDES LTE 4G. (*tesis de Magister*). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, GUAYAQUIL – ECUADOR. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101906/D-106267.pdf>
- Fernández. (2018). *EVALUACIÓN DEL HANDOVER EN REDES IP MÓVILES BAJO*.
- García Dihigo, J. (2016). *Metodología de la investigación*. Bogotá: ediciones de la U-carrera 27#27-43.
- Ghanem, E. M. (2013). *REDUCING THE EFFECTS OF PING-PONG HANDOVER IN INTRA- LTE NETWORKS USING FUZZY LOGIC*. .Ghanem, E. M. (2013). *REDUCING THE EFFECTS OF PING-PONG HANDOVER IN INTRA- LTE NETWORKS USING FUZZY LOGIC*. .
- Ghanem, K. A.-R. (2016). *The Effect of Overlapping Area on Ping-Pong Handover in LTE Networks Machine Learning View project Mobility management in 4G View project The Effect of Overlapping Area on Ping-Pong Handover in LTE Networks*.
- González Páez, F. J., & Ortiz Triviño, J. E. (2015). *Handover Vertical y convergencia hacia IP como factores clave del desarrollo de las redes 4G*. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <file:///C:/Users/SYSTEMarket/Downloads/Dialnet-HandoverVerticalYConvergenciaHaciaIPComoFactoresCl-4991524.pdf>
- Gonzalo. (2017). *LTE o la Cuarta Generación (4G) de Comunicaciones Móviles*.
- guevara, & vazques, v. (2015). *handover en telecomunicaciones*. cuenca .
- Jaheon Gu, S. J. (2010). *Mobility-Based Handover Decision Mechanism to Relieve Ping-Pong Effect in Cellular Networks* . *Asia-Pacific*.
- Jansen, T., Balan, I., Moerman, I., & Kürner, T. (2016). *Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks*.

- Llerena Izquierdo, J., & Betancur Agudelo, L. (2014). IEEE 802.21, Media Independent Handover (MIH), en la actualidad. *estudiante PhD*. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- Maritza, C. (2015). *ALISIS DE LA PROPUESTA DE EVOLUCIÓN DE REDES 3G Y SU CONVERGENCIA A LA TECNOLOGIA 4G PARA REDES DE TELEFONIA MOVIL*. CUENCA-ECUADOR .
- Narváez, T. (2018). *Handover Algorithms in LTE Networks for Massive Means of Transport*. *Sistemas y Telemática*,.
- Navarro, E. (s.f.). *Transferencias horizontales y verticales en redes inalámbricas más allá de 3G (B3G)*. .
- Pérez, F. (2015). *REDES MÓVILES TERRESTRES: 4G*. tesis de PHD.
- Quiñones, M., Martínez, J., & Torres, R. (2020). *Desarrollo y evaluación de un gateway móvil IoT para redes 4G LTE*. Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.634>
- Sánchez, R. (2 de SEPTIEMBRE de 2016). *Arquitectura 4G*. Obtenido de TELEMÁTICA: <http://rubensm.com/arquitectura-4g/#comments>
- Yus, C. M. (2014). *TECNOLOGIA 4G La próxima generación en comunicaciones móviles Integrantes*.

ANEXO

Muestras de las Probabilidades satisfactorias

Tabla 13

Recolección de datos HOM=10dB Y TTT (40, 128,256 ms)

Llamadas caídas	Llamadas exitosas	Radio de llamadas caidas	HOM (dB)	Latencia =2s Throughput=4kb/s			
				TTT	Handover	Ping-pong	Rendimiento de caída de llamadas
11	21	0.52381	10	0.04	0	1	1
				0.128	0.1564	0.5	0.7
				0.256	0.1667	0.0357	0.5

Fuente: Autor

HOM= 10 dB Y TTT=256ms tiene una falla handover 0.1% y ping-pong =0.03% siendo este reducido cuando el tiempo es mayor

Tabla 14

Recolección de datos HOM=20dB Y TTT(40, 128,256 ms)

Lladas caidas	Llamadas exitosas	Radio de llamadas caidas	HOM (dB)	Latencia =3s Throughput=0.4kb/s			
				TTT	Handover	Ping-pong	Rendimiento de caída de llamadas
18	27	0.66667	20	0.04	1	0	1
				0.128	0.5	0	0.6667
				0.256	0.375	0	0.75

Fuente: Autor

HOM= 20 dB Y TTT=256ms tiene una falla handover 0.5% y ping-pong =0% siendo este reducido cuando el tiempo es mayor

Tabla 15

Recolección de datos HOM=7dB Y TTT (40, 128,256 ms)

Lladas caídas	Llamadas exitosas	Radio de llamadas caídas	de HOM (dB)	Latencia =3s Throughput=4.2kb/s			
				TTT	Handover	Ping-pong	Rendimiento de caída de llamadas
6	15	0.4	7	0.04	0	1	0.3333
				0.128	0.1667	0.5714	1.6667
				0.256	0.333	0.25	0.25

Fuente: Autor

Después de varias muestra obtenidas se tomó estos datos significativos en los cuales observamos la tasa de fallos de handover 0% a un tiempo 40 ms que es el tiempo más pequeño y con Hysteresis 7 dB y la falla del handover ping-pong 1% pero si se retrasa el tiempo, las fallas handover son mayores 0.3 % y la tasa de fallas ping-pon de un 0.25 % cumpliendo las condiciones de reducción

Tabla 16*Recolección de datos HOM=11.5 dB Y TTT(40, 128,256 ms)*

Lladas caídas	Llamadas exitosas	Radio de llamadas caídas	de HOM (dB)	Latencia =3s Throughput=4kb/s			
				TTT	Handover	Ping-pong	Rendimiento de caída de llamadas
14	24	0.625	11.5	0.04	0.6667	0.2	1.667
				0.128	0.5	0.1111	1.167
				0.256	0.25	0.06667	0.8333

Fuente: Autor

A diferencia de la tabla anterior en esta se tiene TTT=256ms y HOM=11.5, la falla handover al máximo valor es de 0.25% y la tasa del ping-pong=0.06% siendo evidente la reducción del cuando la Hystéresis aumenta

Tabla 16*Recolección de datos HOM=0.5 dB Y TTT(40, 128,256 ms)*

Lladas caídas	Llamadas exitosas	Radio de llamadas caídas	de HOM (dB)	Latencia =3s Throughput=4.2kb/s			
				TTT	Handover	Ping-pong	Rendimiento de caída de llamadas
2	2	1	0.5	0.04	0.5	0.333	1
				0.128	0	0	0
				0.256	0	0	0

Fuente: Autor

HOM= 0.5 dB Y TTT=256ms tiene una falla handover 0 % y ping-pong =0 las fallas son mínimas