



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN MECANISMO PARA ASIGNACIÓN
ESTRATÉGICA DE RECURSOS RADIO EN SISTEMAS
INALÁMBRICOS 5G CON NETWORK SLICING**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

Autor:

Inga Ilvay, José Luis

Tutor:

Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.

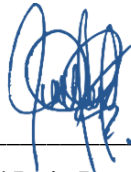
Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, José Luis Inga Ilvay, con cédula de ciudadanía 060422706-6, autor del trabajo de investigación titulado: DISEÑO DE UN MECANISMO PARA ASIGNACIÓN ESTRATÉGICA DE RECURSOS RADIO EN SISTEMAS INALÁMBRICOS 5G CON NETWORK SLICING, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 1 de diciembre de 2022.



José Luis Inga Ilvay

C.I: 060422706-6

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación DISEÑO DE UN MECANISMO PARA ASIGNACIÓN ESTRATÉGICA DE RECURSOS RADIO EN SISTEMAS INALÁMBRICOS 5G CON NETWORK SLICING, presentado por José Luis Inga Ilvay, con cédula de identidad número 060422706-6, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 1 de diciembre de 2022.

Ing. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

Ing. Leonardo Fabián Rentería
Bustamante, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD
TUTOR



.....
Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación DISEÑO DE UN MECANISMO PARA ASIGNACIÓN ESTRATÉGICA DE RECURSOS RADIO EN SISTEMAS INALÁMBRICOS 5G CON NETWORK SLICING, presentado por José Luis Inga Ilvay, con cédula de identidad número 060422706-6, bajo la tutoría del Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 1 de diciembre de 2022.

Ing. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Leonardo Fabián Rentería
Bustamante, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Que, **INGA ILVAY JOSÉ LUIS** con CC: **0604227066**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO DE UN MECANISMO PARA ASIGNACIÓN ESTRATÉGICA DE RECURSOS RADIO EN SISTEMAS INALÁMBRICOS 5G CON NETWORK SLICING**", cumple con el **7%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 29 de noviembre de 2022



Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a todo lo vivido, con profesores, amigos, compañeros de la universidad. El esfuerzo, apoyo y el amor incondicional de mi familia, Humberto Mónica, Jessica, Mónica, Jeimy y María Fernanda.

Que, a pesar de los tropiezos, caídas, momentos buenos y malos, todo el tiempo transcurrido hasta este momento, siempre me sentí respaldado, lo que me permitió no desfallecer y seguir hasta el final de mi vida universitaria.

José Luis Inga Ilvay

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios y la vida, por darme una familia paciente y amorosa, a mis padres que me enseñan cada día el esfuerzo y el valor del trabajo, con su guía y sabiduría. Al destino por todo lo amargo y dulce que he probado, pero todo ello me ha servido a darme cuenta las personas que quiero en mi vida y la persona que quiero ser.

Gracias a los docentes de la carrera que supieron brindarme sus conocimientos para forjarme profesionalmente y por toda la ayuda brindada para el desarrollo de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES	19
2.2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL CELULAR 5G.....	20
2.3. RED DEFINIDA POR SOFTWARE (SDN) Y VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED (NFV)	21
2.4. NETWORK SLICING EN 5G.....	22
2.5. REDES INALÁMBRICAS.....	22
2.5.1. MODELADO A NIVEL DE FLUJO DE REDES DE DATOS.....	22
2.5.2. CAPACIDAD DE LA DE REDES DE DATOS.....	23
2.5.3. ASIGNACIÓN DE CAPACIDAD.....	23
2.5.4. LÍMITES DE TASAS DE FLUJO.....	23
2.5.5. RENDIMIENTO DE FLUJO DEL PERFIL DE TRANSMISIÓN.....	24
2.6. REDES WHITTLE.....	25
2.6.1. ANÁLISIS DE COLAS	25
2.6.2. PROPIEDAD DE EQUILIBRIO.....	25
2.6.3. CONDICIÓN NECESARIA PARA LA INTENSIDAD.....	26
2.6.3.1. INSENSIBILIDAD A LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL FLUJO.....	26
2.6.3.2. INSENSIBILIDAD AL PROCESO DE LLEGADA DEL FLUJO.....	26
2.6.3.3. INSENSIBILIDAD AL ESCALA DE TIEMPO.....	26
2.7. ASIGNACIÓN DE RECURSOS	27
2.7.1. EQUIDAD BALANCEADA	27
2.7.2. EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA.....	27
CAPÍTULO III	28
METODOLOGÍA.....	28
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.1.1. INVESTIGACIÓN APLICADA.....	28
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.2.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE.....	28
3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.3.1. TÉCNICA DE OBSERVACIÓN.....	29
3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	30
3.4.1. POBLACIÓN.....	30
3.4.2. TAMAÑO DE MUESTRA.....	30
3.5.HIPÓTESIS.....	30
3.5.1. PLANTAMIENTO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA VALIDACIÓN DEL MECANISMO USANDO LA TÉCNICA DE EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA.....	30
3.5.2. PLANTAMIENTO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO USANDO LA TÉCNICA DE EQUIDAD BALANCEADA.....	31
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	31

3.6.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	31
3.6.1.1. MÉTODO ANALÍTICO	31
3.6.1.2 MÉTODO DESCRIPTIVO.....	31
3.6.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	31
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. RESULTADOS DE LA CLASE 1 CON 10 PERFILES DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS DE: EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA.....	32
4.2. RESULTADOS DE LA CLASE 2 CON 1 PERFIL DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS DE: EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA.....	33
4.3. RESULTADOS DE LA CLASE 1 CON $C1 = [5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30]$ PERFILES DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS: EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA.....	34
4.4. RESULTADOS PARA LA CLASE 2 CON UN PERFIL DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA.....	35
4.5. RELACIÓN DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 10 PERFILES, DE TRANSMISIÓN CON EL MECANISMO BASE COMPARADO CON EL MECANISMO DISEÑADO.....	36
4.6. RESULTOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 1 CON 10 PERFILES.....	37
4.7. RESULTOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 2 CON 1 PERFIL, COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y MECANISMO DISEÑADO.....	37
4.8. RESULTOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 2 CON 1 PERFIL	38
4.9. RESULTOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 5, 10, 15, 20, 25 Y 30 PERFILES, COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y MECANISMO DISEÑADO.....	39
4.10. RESULTOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 5, 10, 15, 20, 25, 30 PERFILES CON EL MECANISMO DISEÑADO.....	40
4.11. RESULTOS DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 2 CON 1 PERFIL, COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y EL MECANISMO DISEÑADO.....	41
4.12. RESULTOS PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 2 CON 1 PERFIL.....	41
4.13. RESULTOS DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 5, 10, 15, 20, 25 Y 30 PERFILES CON EL MECANISMO DISEÑADO	42
4.14. RESULTOS PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO USANDO LA TÉCNICA EQUIDAD BALANCEADA CON DIFERENTES PERFILES DE TRANSMISIÓN.....	43
4.15. DISCUSIÓN.....	44
CAPÍTULO V	45
5.1. CONCLUSIONES.....	45
5.2. RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	29
Tabla 2. Medias de rendimiento de flujo de función a las técnicas de asignación de recursos: Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo.....	37
Tabla 3. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 1.....	37
Tabla 4. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos: Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo.....	39
Tabla 5. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 2.....	39
Tabla 6. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos de flujo de clase 1 con 5, 10, 15, 20, 25, 30 perfiles.....	40
Tabla 7. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 1.....	40
Tabla 8. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos: Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo para la clase 2 = 1 perfil.....	42
Tabla 9. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 2.....	42
Tabla 10. P – valor para estadístico de prueba f de Fisher.....	43
Tabla 11. Resultados mediante la corporación múltiple post hoc Tukey con estadísticos des- criptivos.....	44
Tabla 12. Base de datos de clase 1 con 10 perfiles de transmisión bajo mecanismo base y meca- nismo diseñado respectivamente.....	49
Tabla 13. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo base y mecanismo diseñado respectivamente.....	49
Tabla 14. Base de datos de clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles de transmisión bajo mecanismo base.....	50
Tabla 15. Base de datos de clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles de transmisión bajo mecanismo diseñado	50
Tabla 16. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo base.....	50
Tabla 17. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo diseñado.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparativa entre OFDM y OFDMA.....	21
Figura 2. Estación Base para N=2 clases de flujo con $c_1 > c_2$	23
Figura 3. Tasa de bits asignada a cada flujo en cada enlace con L recursos.....	25
Figura 4. Red de comunicación inalámbrica con BS.....	29
Figura 5. Fases de estudio.....	30
Figura 6. Resultados mediante la configuración para clase 1, $C_1=10$; cuando se implementan 10 perfiles de transmisión.....	32
Figura 7. Resultados mediante la configuración para clase 2, $C_2=1$; cuando se implementa 1 perfil de transmisión.....	34
Figura 8. Resultados con distintos perfiles de transmisión cuya variación va de 5 a 30 para la Clase 1.....	35
Figura 9. Resultados mediante la configuración para clase 2 con un perfil de transmisión con intensidad de tráfico correspondiente al 50%.....	36
Figura 10. Resultados de rendimiento de flujo para la Clase 1 con 10 perfiles de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.....	37
Figura 11. Resultados de rendimiento de flujo para la Clase 2 con 1 perfil de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.....	38
Figura 12. Resultados de rendimiento de flujo para la Clase 1 con 5, 10, 15, 20, 25, 30 perfiles de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.....	39
Figura 13. Resultados de rendimiento de flujo para la Clase 2 con 1 perfil, comparado con el mecanismo base y mecanismo diseñado.....	41
Figura 14. Resultados de rendimiento para la Clase 2 con 1 perfil de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.....	43
Figura 15. Gráficos de medias para una clase en particular con 5,10,15,20,25 y 30 perfiles de transmisión.	44

RESUMEN

La incorporación de Redes definidas por *software* y Virtualización de funciones de red en sistemas móviles inalámbricos de quinta generación (5G) con *Network Slicing*, permite el control programable y gestión eficiente de los recursos de red. Además, posibilita la eficiencia espectral en la partición virtual de la Red de Acceso por Radio (RAN), mediante técnicas de asignación de recursos para un número aleatorio de flujos de datos. Considerando el número real de *bits* que fluyen a través de una conexión de red de datos, estos flujos de tráfico pueden ser modelados en diferentes clases de flujo con perfiles de transmisión predefinidos, mediante programación cumpliendo funciones sensibles al tiempo, como gestión de la calidad del servicio y equilibrio de la carga de acuerdo con demandas requeridas.

Este trabajo de investigación comprende el análisis del modelo, diseño del mecanismo, simulación y comparación de la red de datos con mecanismos de asignación de recursos utilizando la técnica de equidad balanceada y la equidad máxima-mínima. Se implementó un modelo de red *Whittle* en el *software* MatLab, con lenguaje de programación propio del entorno, utilizando leyes, criterios y fórmulas recursivas de manera sistemática. Esto permitió predefinir la clases de flujo con perfiles de transmisión que atraviesan el sistema respecto a métricas de rendimiento; derivadas de la distribución estacionaria dependientes del estado de la red modelada.

Los resultados relacionados a la intensidad de tráfico *vs. Throughput* entre diferentes clases de flujo con perfiles predefinidos de transmisión bajo la condición de estabilidad obtenidos en MatLab, sirvieron como base de datos para el análisis estadístico mediante el *software* SPSS. Validando el mecanismo diseñado, al ser más eficiente en clases de flujo con un mayor número de perfiles de transmisión, es decir, presenta mayor rendimiento en clases de flujo con perfiles de transmisión que generan mayor parte de la carga de tráfico.

Palabras claves: *Network Slicing, Red de Acceso por Radio, Red Whittle, Intensidad de tráfico, Throughput, Equidad balanceada, Equidad máxima-mínima.*

ABSTRACT

The incorporation of Software Defined Networking and Network Function Virtualization in fifth generation (5G) wireless mobile systems with Network Slicing enables programmable control and efficient management of network resources. In addition, it enables spectral efficiency in the virtual partitioning of the Radio Access Network (RAN), using resource allocation techniques for a random number of data streams. Considering the actual number of bits flowing through a data network connection, these traffic flows can be modeled into different flow classes with predefined transmission profiles by scheduling, fulfilling time-sensitive functions such as QoS management and load balancing according to required demands.

This research work comprises model analysis, mechanism design, simulation and comparison of the data network with resource allocation mechanisms using the balanced fairness technique and maximum-minimum fairness. A Whittle network model was implemented in MatLab software, with the environment's own programming language, using laws, criteria and recursive formulas in a systematic way. This allowed predefining the flow classes with transmission profiles traversing the system with respect to performance metrics; derived from the stationary distribution dependent on the state of the modeled network.

Throughput between different flow classes with predefined transmission profiles under the stability condition obtained in MatLab, served as a data base for the statistical analysis using SPSS software. Validating the designed mechanism, as it is more efficient in flow classes with a greater number of transmission profiles, i.e., it presents higher performance in flow classes with transmission profiles that generate more of the traffic load.

Keywords: *Network Slicing, Radio Access Network, Whittle Network, Traffic Intensity, Throughput, Balanced Fairness, Maximum-Minimum Fairness.*



Firmado electrónicamente por:
DORIS ALEXANDRA
CHUQUIMARCA ONCE

Reviewed by:

Lic. Doris Chuquimarca, Mgs.

ESL PROFESSOR

C.I. 060449038-3

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación se enfoca en la innovación tecnológica para el desarrollo de mecanismos escalables con diferentes capacidades de servicio para las comunicaciones móviles inalámbricas de 5G que usen frecuencias de onda milimétrica (mmW) en bandas de hasta 100 GHz. Esto permite mayor capacidad para soportar muchos dispositivos con requisitos diferentes en lo que trata al tráfico. Aprovechando la característica de escalabilidad de ancho de banda del canal con velocidades 10 veces mayor que 4G por el acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA, por sus siglas en inglés), con tasas de bits muy altas, latencias bajas y densidades de dispositivos altas orientados a datos más rápidos en la nube; bajo una técnica de asignación dependiendo la disponibilidad de recursos [1].

A partir de diferentes formas de comunicación, las necesidades han ido cambiando respecto a la evolución de estas. El éxito de la implantación de sistemas de comunicación basado en tecnología móvil 5G con *Network Slicing* no solo se mide por su eficiencia en la reducción de costos y tiempos, sino también por soportar la carga de tráfico necesaria que demandan los nuevos servicios, nuevos modelos de negocios con capacidades de red específicas con propósitos comerciales [2].

La arquitectura de la red móvil actual no es lo suficientemente escalable para admitir la red 5G, por contar con un acceso relativamente monolítico, con asignaciones de recursos energéticamente ineficientes tanto en rendimiento como escalabilidad [3]. Las tecnologías 5G son de interés global no solo por su acceso de radio de vanguardia, sino también por la forma de integración de redes de dominio cruzado en escenarios que requieran conectividad masiva conectados a *internet* de alto rendimiento [4].

Actualmente las redes 5G se encuentran desplegadas en países como Corea del Sur y parte de Estados Unidos, con pruebas en Sudamérica en países como Chile, Paraguay, Argentina y Perú [5]. Ecuador pretende tener esta tecnología a finales del 2022 en el mejor de los casos, con el fin de mejorar las prestaciones y cumplir requisitos de calidad de servicio en diferentes escenarios de aplicación [6]. Al dar paso a las redes 5G aparecerán algunos desafíos que se responderán con el aumento de capacidad, mejoramiento de la eficiencia energética, costos, utilización del espectro, proporcionando una gran cantidad de nodos de baja potencia para una densidad masiva de usuarios por comunicación dispositivo a dispositivo [7].

Este tipo de redes están preparadas para apoyar diferentes escenarios con distintas aplicaciones, enfocados ampliamente al uso del ser humano para acceso a contenidos, servicios y datos multimedia, que dará soporte a la categoría de servicio de comunicaciones Ultra Confiables de Baja Latencia (*Ultra Reliable Low Latency Communications*; URLLC, por sus siglas en inglés), especialmente en términos de latencia y confiabilidad [8]. Por otro lado, se pretende prever servicio a comunicaciones masivas de tipo de máquina *M2M* (*Machine to Machine*; por sus siglas en inglés), para un número de dispositivos conectados como sensores, actuadores y otros *robots* que normalmente transmiten un volumen relativamente bajo de datos no sensibles al retardo, con requisitos de latencia y confiabilidad para poder entregar con éxito la información sensible al retraso en funciones de URLLC de 5G [9].

El alto volumen de tráfico en las redes permite desarrollar subredes virtuales que sepan adaptarse a los requisitos de los usuarios. Esto con el fin de proporcionar servicios confiables personalizados utilizando recursos de red limitados mientras se reducen los gastos de capital y los gastos operativos. Como resultado de esta revisión ha surgido el *Network Slicing* en 5G usando la combinación de tecnologías en la nube con las capacidades de redes definidas por *software* (SDN) y virtualización de funciones de red (NFV), que convergen y se complementan entre sí. Esto habilita la implementación de la segmentación de la red de un extremo a otro a través de la RAN sobre recursos de radio físicos para asignar los recursos en la red de acuerdo con sus propios requisitos en cada segmento [10].

El principal objetivo de este trabajo de investigación es diseñar un mecanismo de asignación estratégica de recursos radio en 5G, que brinde servicios bajo la perspectiva de *Network Slicing* y la partición virtual de la RAN. El mecanismo con la técnica de equidad balanceada es comparado con el mecanismo con la técnica equidad máxima-mínimo con ciertos números de flujos de tráfico con una capacidad limitada en función de sus perfiles de transmisión en lugar de paquetes, siendo un modelo análogo al de redes de conmutación de circuitos. Ambos modelos comparten la propiedad de insensibilidad lo que permitirá desarrollar el mecanismo sin hacer uso de conocimiento de estadísticas finas de tráfico y así evaluar los resultados en base a parámetros relacionados con el rendimiento de la red [11].

1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

La asignación de recursos se puede definir como el proceso estratégico en la toma de decisiones para aumentar la calidad de los servicios (QoS, por sus siglas en inglés) que ofrece un sistema de comunicación con máxima utilidad para un conjunto de usuarios. Entre los problemas principales está la optimización del uso de recursos físicos del canal de comunicación. Esto surge principalmente en los sistemas de comunicación móvil celular debido a su diseño que consta de una estación base (BS, por sus siglas en inglés), que implementa funcionalidades asociadas con la toma de decisiones de asignación de recursos en la RAN, que dispone de recursos limitados en la interfaz radio e infraestructura celular, por tal motivo, las redes deben contar con mecanismos de asignación de recursos responsables de hacer uso eficiente de los mismos.

En las redes celulares, las BS envían y reciben señales de radio de baja potencia (flujos de tráfico) dependiendo de la aplicación y de los usuarios, que llegan en momentos aleatorios y abandonan la red una vez que han sido atendidos. Consideremos los usuarios que experimentan malas condiciones de radio donde requieren más recursos de radio (por ejemplo: ancho de banda y potencia de transmisión total) que otros usuarios para obtener la misma tasa de *bits*. En el sentido de que el rendimiento de las transferencias de datos no depende de características precisas del tráfico, como la distribución del volumen de datos, sino únicamente de la demanda general. Esto da como resultado un conjunto aleatorio y dinámico de usuarios activos que afecta la velocidad de *bits* que se puede asignar a cada uno de ellos; es decir, los recursos son compartidos por un número aleatorio de usuarios, e inversamente, la tasa de *bits* asignada a cada usuario determina cuánto tiempo permanecerá activo ese usuario causando problemas al conjunto de usuarios activos descrito por un proceso de Poisson.

Por otro lado, la asignación óptima pero no justa puede depender de características de tráfico como la distribución de los volúmenes de transferencia de datos para maximizar la utilidad. Este estudio se realiza en un sistema inalámbrico con un número aleatorio de flujos de datos, con usuarios que requieran más recursos de la red que otros para obtener la misma tasa de *bits*. Esto nos lleva a diseñar un mecanismo de asignación de recursos de red de manera justa para el conjunto de usuarios que sea eficiente y equitativo con los flujos de tráfico que atraviesan el sistema, tomando en cuenta el tipo de arquitectura de red, requerimientos de QoS, tipos de dispositivos y modos de comunicación, entre otros aspectos [11].

En particular, el mecanismo se basa en el uso de la técnica equidad balanceada, considerando una topología de red que consta de una estación base que atiende a diversos flujos de tráfico pertenecientes a varias clases de flujo con distintos perfiles de transmisión. Esto se representa mediante un modelo de red *Whittle*, en el sentido que la distribución estacionaria de este proceso estocástico no depende de ninguna característica del tráfico y las asignación de recursos sean compartidos por un número aleatorio de flujos de datos dentro de sesiones generadas por una gran población de usuarios de forma independiente. Cada sesión compone de una sucesión de flujos, en noción de equidad donde es posible que un usuario represente a varios usuarios y todos los flujos pueden verse limitados, por ejemplo, la banda de frecuencia y la potencia de transmisión en la red.

Para la simulación el modelo de red se representa como una red colas en el *software* MatLab, donde cada cola corresponde a una clase de flujo con distintos perfiles de transmisión. Basada en la propiedad de insensibilidad donde las reglas de aprovisionamiento de la red pueden desarrollarse únicamente en los pronósticos de la intensidad del tráfico, independientemente de la compleja estructura del tráfico que evoluciona de acuerdo con los nuevos servicios que requieran. La distribución del número de flujos de tráfico en progreso en estado estacionario es insensible a la distribución del tamaño del perfil de transmisión, esto significa que asumimos que la intensidad del tráfico permanece constante durante un período indefinido, lo que permite la estimación de los criterios en términos de rendimiento.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. GENERAL.

- Diseñar un mecanismo para la asignación estratégica de recursos radio en sistemas inalámbricos 5G con *Network Slicing*.

1.2.2. ESPECÍFICOS.

- Definir un modelo analítico para una red inalámbrica que cumpla condiciones específicas necesarias para la asignación de recursos radio en sistemas inalámbricos 5G con *Network Slicing*.
- Implementar técnicas de asignación de recursos en modelos de simulación de red de colas, para obtener el rendimiento de las clases de flujos en términos de Intensidad de tráfico *vs. Throughput* con diferentes perfiles de transmisión.
- Evaluar el rendimiento de cada cola con diferentes clases de flujos con el mecanismo diseñado bajo la técnica equidad balanceada, comparándolo con un mecanismo base bajo la técnica equidad máxima-mínima, permitiendo validar el mecanismo diseñado.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES.

En un estudio realizado por Bonald [11], el objetivo fundamental es definir un modelo de red bajo técnicas de asignación de recursos distribuidos por un número aleatorio de flujos de datos usando TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo). De acuerdo con el modelo de redes de datos a nivel de flujo consta de una red de colas de procesador compartido. El vector de tasas de servicio, que está limitado por un conjunto de capacidad convexo y compacto que representa los recursos de la red, donde la distribución estacionaria de la cola de procesador compartido es insensible a la distribución de los requisitos del servicio, lo que implica que el rendimiento de un único enlace de datos con un intercambio justo es independiente de la distribución del tamaño del flujo.

Fombellida Gobantes realizó un estudio titulado “Modelado y simulación de tecnologías mmW en escenarios 5G” [12]. Modelando el tráfico tanto para las llegadas y salidas, lo que permite adaptar totalmente tanto los recursos radio como los de red a los distintos tipos de usuarios de 5G. Esta abstracción es adecuada para la evaluación del desempeño de grandes flujos que generalmente generan la mayor parte del tráfico, teniendo en cuenta que la técnica de asignación de recursos equidad balanceada es homotética. Donde la asignación de recursos es homotética si cambian los recursos disponibles para una clase dada por algún factor cambia la tasa de bits asignada a esta clase por el mismo factor.

Por otra parte, la investigación en torno a *Network Slicing* en 5G es mundial, por contar con autonomía en términos de operación, mecanismos de ingeniería y provisión de red. Lo que ayuda a la creación y operación de *Network Slicing*, habilitando la reutilización de funciones y el intercambio de recursos de la infraestructura de la red[13]. El modelo de redes de datos a nivel de flujo considerado puede representarse como un sistema de cola[14].

Basados en anteriores estudios, la simulación de modelo del sistema inalámbrico 5G con *Network slicing*, puede estar dado en un modelo discriminatorio - compartir cola, utilizando teorías de colas[11]. Pieza fundamental para continuar con el estudio y definir los flujos de tráfico en un sistema de comunicación inalámbrico celular. Donde se prevé estudiar y eva-

luar la asignación de recursos para diseñar un mecanismo de asignación estratégica de recursos que implementen el rendimiento de la red en términos de *Throughput*, de tal forma, se use como herramienta matemática para próximos estudios en campos determinados.

Considere el caso de la simulación de modelo de sistema de red *Whittle* correspondiente a una red de colas con capacidad de enlace establecida, clases de flujo e intensidad de flujos de tráfico bajo equidad balanceada para asignaciones más eficientes con condiciones necesarias y suficientes para la insensibilidad en redes estocásticas subyacentes. La insensibilidad es tal que la distribución del número de flujos en curso y en consecuencia el rendimiento esperado, dependen sólo del promedio de tráfico ofrecido en cada ruta. La técnica de equidad balanceada es aplicada un entorno dinámico con un número variable aleatoria de flujos de datos para aprovisionar y asignar los recursos [11].

2.2. SISTEMA DE COMUNICACION MÓVIL CELULAR 5G

La transición entre diferentes generaciones de sistemas de comunicaciones móviles abrió paso al despliegue de redes de cuarta generación (4G), caracterizada por mejorar significativamente prestaciones en la interfaz radio gracias al uso de un acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA, por sus siglas en inglés) con soporte para altas tasas de transmisión hasta los 6 GHz. Operación en escenarios caracterizados por señales multi-camino, es decir un enlace ascendente y enlace descendente, mejorando la capa física permitiendo aumentar las prestaciones de velocidad en el enlace descendente [15].

En el mismo contexto el desarrollo e implementación de 5G NR (New radio) ha mantenido la interfaz radio basada en OFDMA para tomar la información en símbolos y colocarlos en un vector convirtiéndolos en números complejos para darnos una señal en dominio de tiempo, a la vez que se incorporan técnicas para aumentar la eficiencia espectral como es el caso de técnicas de múltiple entrada y múltiple salida. Donde las asignaciones de espectro son mucho mayores en bandas de frecuencia de onda con tasas de *bits* mucho más altas en porciones más grandes del área de cobertura, menores costos de infraestructura y mayor capacidad agregada para muchos usuarios simultáneos en la red. Con estrictos requisitos de *QoS* para admitir aplicaciones altamente interactivas, que requieren una latencia ultra baja y un alto rendimiento frente a nuevos servicios [16].

2.3. RED DEFINIDA POR SOFTWARE (SDN) Y VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED (NFV)

La integración de redes definidas por software (SDN) en sistemas 5G posibilita admitir de manera eficiente un conjunto heterogéneo de servicios, por medio de la separación de las funciones del plano de datos de usuario y de control del Evolved Packet Core (EPC)[17].

La cooperación entre SDN y NFV permite abordar la realización de *Network Slicing* donde las limitaciones técnicas de capacidad y los patrones de tráfico que pueden interferir con las experiencias de los usuarios, que implica la virtualización y la softwareización de la red para hacer frente a las necesidades emergentes de eficiencia y confiabilidad de la red 5G[18].

2.4. NETWORK SLICING EN 5G

Network Slicing en 5G, la red física debe dividirse en segmentos de red en este caso RAN en múltiples redes lógicas aisladas de diferentes tamaños y estructuras dedicadas a diferentes tipos de servicios, más allá de las comunicaciones tradicionales de tipo humano para incluir varios tipos de tipo de máquina. Los segmentos de radio en la RAN pueden compartir los recursos de radio y el hardware de comunicación correspondiente de manera dinámica o estática de acuerdo con las reglas de configuración utilizando el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) a partir de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), mediante la asignación de subportadoras a usuarios individuales. De tal manera, se realiza varias transmisiones simultáneas de diferentes flujos de información que corresponden a diferentes usuarios [19], véase *Figura 1*. Para convertirlo en un tejido más flexible y programable, aprovechando SDN y NFV, utilizadas para la partición lógica de la red de extremo a extremo que se ejecuta en una infraestructura subyacente común garantizar el rendimiento de las particiones, desvinculando el *hardware* del *software* [18].

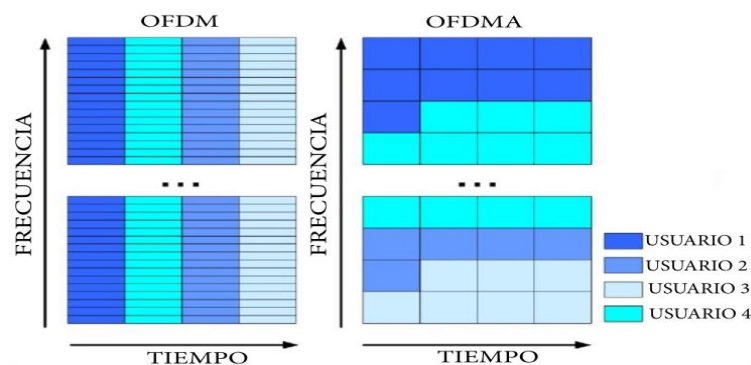


Figura 1. Comparativa entre OFDM y OFDMA

Fuente: Autor

2.5. REDES INALÁMBRICAS

En redes inalámbricas el conjunto de capacidades depende tanto de los recursos de radio como del esquema de acceso a estos recursos. Considere el caso de una BS que transmite datos a cada usuario activo a la vez, utilizando completamente la banda de frecuencia y la potencia de transmisión. Un número N de modulaciones predefinidas y esquemas de codificación pueden ser utilizados por los usuarios dependiendo de las condiciones de radio. Cada clase k de flujo utiliza el esquema de modulación y codificación k . Donde ϕ_k es la tasa total de bits asignada a la clase k de flujos y tiene tasa de bits C_k cuando se usa. Así ϕ_k/C_k es la fracción de tiempo que el punto de acceso sirve a una clase de flujo. La restricción de capacidad es [20]:

$$\sum_K \frac{\phi_k}{C_k} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

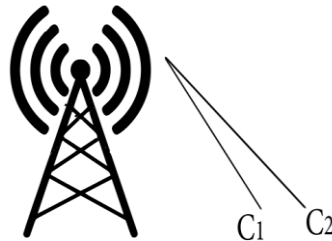


Figura 2. Estación Base para $N = 2$ clases de flujo con $c_1 > c_2$.
Fuente: Autor

Considere el caso simple de dos clases, como se muestra en *Figura 2* con $C_1 > C_2$ o $C_1 < C_2$, experimentando condiciones de radio "buenas" o "malas".

2.5.1. MODELADO A NIVEL DE FLUJO DE REDES DE DATOS

Un modelo de redes de datos a nivel de flujo puede representarse mediante una red de colas de procesador compartido con capacidades de servicio dependientes del estado, con cualquier característica de tráfico, que comparte la propiedad de distribución estacionaria igual al de Erlang [21]. Representado como un conjunto de enlaces L donde cada enlace $l \in L$ tiene una capacidad $C_l > 0$ compartido por N clases de flujos, con cierto volumen de información a transferir que compiten por acceder a estos enlaces [22].

2.5.2. CAPACIDAD DE LA RED DE DATOS

Para una red inalámbrica que consta de L recursos que representa una banda de frecuencia o potencia de transmisión denotada por C_l la cantidad de recursos l , con un conjunto aleatorio

de flujos de datos. Considere un número arbitrario de N clases k de flujo tal que todos los flujos dentro de la misma clase requieren los mismos recursos A_{ij} . Donde ϕ_k es la tasa total de bits asignada a la clase k de flujos, que se supone que se comparten uniformemente entre flujos, la asignación ϕ debe satisfacer la condición de desigualdad para la estabilidad y la intensidad de tráfico ρ_k de clase k se encuentra en el límite del conjunto de capacidad[20]:

$$\phi A \leq C \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\rho_k < C_l \quad (\text{Ecuación 3})$$

2.5.3. ASIGNACIÓN DE CAPACIDAD

Considere K clases de flujo con cada clase k es caracterizada por una ruta r_k que consta de un conjunto de enlaces l y un límite de tasa de flujo $a_k > 0$ referida a la tasa de acceso que lo limita y la convención de $a_k < \min_{l \in r_k} C_l$. Denotada por $x = (x_1, \dots, x_K)$ el estado de la red, donde x_k es el número de clase de flujos en curso. Donde la capacidad total ϕ_k asignada a la clase k de flujos es igualmente compartida entre estos flujos y depende únicamente del estado de la red x , denotada por:

$$\sum_{k: l \in r_k} \phi_k(x) \leq C_l, \quad \phi_k(x) \leq x_k a_k, \quad \text{donde } l = 1, \dots, L \text{ y } k = 1, \dots, K \quad (\text{Ecuación 4})$$

Se dice que la asignación es eficiente en el sentido de Pareto si para cualquier estado x y cualquier clase k que $x_k > 0$, el enlace l saturado en la ruta r_k con tasa de clase k de flujo es máxima, es [20]:

$$\phi_k(x) = x_k a_k \quad (\text{Ecuación 5})$$

2.5.4. LÍMITES DE TASA DE FLUJO

En las redes inalámbricas los flujos pueden tener restricción de potencia del móvil denotado por $a_k > 0$ la restricción de velocidad de clase k fluye en bit/s, donde $a_k = \infty$ si los flujos de clase k no tienen ninguna restricción de tasa individual [23]. La tasa de bits total de la clase de flujos no puede exceder $x_k a_k$ en presencia de x_k clase de flujos, la asignación ϕ debe satisfacer la desigualdad adicional por componentes [20] :

$$\phi \leq x_a \quad (\text{Ecuación 6})$$

Los l enlaces, cada uno con capacidad C_l con tasa de cada clase- k de flujo denotado por λ_k , para λ_0 cruza por todos los enlaces, el $\lambda_1 \leq l \leq L$ usa solo el enlace l .

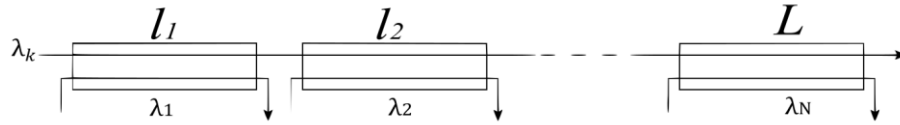


Figura 3. Tasa de bits asignada a cada flujo en cada enlace con L recursos
Fuente: Autor

2.5.5. RENDIMIENTO DE FLUJO DEL PERFIL DE TRANSMISIÓN

El rendimiento de flujo del perfil de transmisión se deriva de la distribución estacionaria del estado de la red, reflejada en la calidad de las transferencias de datos experimentadas por los usuarios, establecido como la relación entre el tamaño medio del flujo y la duración media del flujo. Sea τ_k el retardo medio por bit de la clase k de flujos en bit/s. La duración media de la clase de flujos viene dada por $\sigma_k \tau_k$ en estado estable es [20]:

$$\bar{x}_k = \lambda_k \sigma_k \tau_k = \rho_k \tau_k \quad (\text{Ecuación 7})$$

Deducimos el rendimiento de clase k de flujos:

$$\gamma_k = \frac{\rho_k}{\bar{x}_k} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Considere una cola de procesador compartido, con solo un enlace de capacidad C y una sola clase de tráfico con asignación eficiente en el sentido de Pareto. Si hay una sola clase de flujo con tasa de llegada λ y tamaño medio σ , la cola es una $M / M / 1$ con tasa de llegada λ y tarifa de servicio C/σ . La cola es estable si y solo si la intensidad del tráfico $\rho = \lambda \sigma$ es menos que C , en cuyo caso la distribución estacionaria del número de flujos en curso es dada por:

$$\pi(x) = \pi(0) \left(\frac{\rho}{C} \right)^x \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde el número medio de flujos en curso es:

$$\bar{x} = \frac{\rho}{C - \rho} \quad (\text{Ecuación 10})$$

el rendimiento de flujo del perfil de transmisión es:

$$\gamma = C - \rho \quad (\text{Ecuación 11})$$

2.6. REDES WHITTLE

Red de Whittle o también llamada red de colas, considere una red de N colas donde las llegadas externas a la cola i forman un proceso de intensidad de Poisson v_i , después de completar el servicio en la cola i , enruta a un cliente a la cola j con probabilidad P_{ij} . Todos los usuarios van a la red de modo que la tasa de llegada λ_i se define por:

$$\lambda_i = v_i + \sum_j \lambda_j P_{ij}, \quad i = 1, \dots, N \quad (\text{Ecuación 12})$$

Los requisitos del servicio son independientes, exponencialmente distribuidos de la media σ_i en la cola i . Denotado por $\rho_i = \lambda_i \sigma_i$ la intensidad de tráfico en la cola i . Sea x_i el número de clientes presentes en la cola i . La tasa de servicio de la cola i es una función σ_i del estado de la red x , con $\sigma_i(x) = 0$ si y sólo si $x_i = 0$ [20].

2.6.1. ANÁLISIS DE COLAS

Sea \bar{e}_k el vector unitario con 1 en el componente k y 0 en el resto. El estado de la red x evoluciona como un proceso de Márkov o sin memoria, para el cual la probabilidad condicional sobre el estado presente, futuro y pasado del sistema son independientes. Con tasas de transición λ_k del estado x al estado $x + e_k$ y $\phi_k(x) / \sigma_k$ del estado x al estado $x - e_k$. Esto último se deriva del hecho de que la tasa de bits total de clase k de flujos es $\phi_k(x)$ en el estado x y el tamaño medio de clase k de flujos es igual a ϕ_k . La intensidad del tráfico en la cola es $\rho_k = \lambda_k \sigma_k$ en bit/s. La tasa de servicio ϕ_k de la cola i depende del estado de la red x , que está en el número de clientes en cada cola. El vector $\bar{\phi}$ que define el recurso la asignación debe satisfacer las restricciones de capacidad (*Ecuación 2*) en todos los estados:

$$\forall x, \quad \phi(x) \leq C \quad (\text{Ecuación 13})$$

2.6.2. PROPIEDAD DE EQUILIBRIO

Esta propiedad se cumple si la tasa de servicio si corresponde a una red de Whittle, equivalente a la reversibilidad del proceso de Markov que describe la evolución de la red estado x , como:

$$\forall i, j, \quad \forall x, \quad \phi_i(x) \phi_j(x - e_k) \quad (\text{Ecuación 14})$$

La propiedad de equilibrio (*Ecuación 14*), se define la distribución Estacionaria como una función positiva Φ por $\Phi(0) = 1$ y:

$$\forall x \neq 0, \quad \Phi(x) = \frac{1}{\phi_{k_1}(x)\phi_{k_2}(x-e_{k_1})\dots\phi_{k_n}(x-e_{k_1}-\dots-e_{k_{n-1}})}, \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde: $x, x - e_{k_1}, x - e_{k_1} - e_{k_2}, \dots, e_{k_n}, 0$ denota cualquier camino directo desde el estado x al estado 0. Sin embargo, la existencia de tal función implica la propiedad de equilibrio (*Ecuación 15*). Por la propiedad de reversibilidad, la $\Phi(x)$ viene dada por:

$$\forall x, \quad \pi(x) = \pi(0)\Phi(x)\rho^x, \quad (\text{Ecuación 16})$$

bajo la condición de estabilidad:

$$\sum_x \Phi(x)\rho^x < \infty, \quad (\text{Ecuación 17})$$

2.6.3. CONDICIÓN NECESARIA PARA LA INSENSIBILIDAD

Cumpliendo con la (*Ecuación 15*), cada una de las siguientes formas más leves de insensibilidad implica la propiedad del equilibrio, para llegadas de flujo de Poisson y tamaños de flujo exponenciales.

2.6.3.1. INSENSIBILIDAD A LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL FLUJO

El número de perfil de flujos de cada clase permanecen sin cambios cuando, para cualquier clase, la distribución exponencial de tamaños de flujo se reemplaza por cualquier distribución de tipo de fase con la misma media.

2.6.3.2. INSENSIBILIDAD AL PROCESO DE LLEGADA DEL FLUJO

El número de perfil de flujos de cada clase permanecen sin cambios cuando, para cualquier clase, las llegadas de flujo de Poisson se reemplazan por llegadas de sesión de Poisson con la misma velocidad de llegada de flujo [24].

2.6.3.3. INSENSIBILIDAD A LA ESCALA DE TIEMPO

El invariante de las medidas del proceso que describen el número de perfiles de flujos de cada clase permanecen sin cambios cuando, para cualquier clase, los tiempos entre llegadas de flujo y los tamaños de flujo se multiplican por la misma constante.

2.7. ASIGNACIÓN DE RECURSOS

2.7.1. EQUIDAD BALANCEADA

La equidad balanceada se define como la asignación insensible más eficiente de forma única que satisface la propiedad de equilibrio y se encuentra en el límite de la capacidad establecida en todos los estados $x \neq 0$. Sea $\phi_k(x)$ la tasa de bits de los flujos de clase k en el estado x , que se reparte por igual entre estos flujos. El reparto equitativo balanceado correspondiente a la (Ecuación 18) donde Φ es la llamada función de equilibrio, definida recursivamente por $\Phi(x) = 0$ para alguna clase k de flujo.

$$\phi_k(x) = \frac{\Phi(x-e_k)}{\Phi(x)}, \quad x_k > 0 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Bajo la técnica de equidad balanceada, los rendimientos de perfil de flujo se dan por:

$$\gamma_1 = C_1(1-e) \quad \text{y} \quad \gamma_2 = C_2(1-e) \quad (\text{Ecuación 19})$$

Cumpliendo la condición de estabilidad $e < 1$.

2.7.2. EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

Satisface la propiedad de equilibrio si las restricciones de capacidad (Ecuación 3) si se reduce a un solo recurso l y si todos los flujos tienen el mismo requerimiento de recursos en el sentido que $A_{il} = A_{jl}$. Se asignan los recursos de la red de tal forma que la tasa de bits de un flujo no puede aumentar sin disminuir la tasa de bits de un flujo que tiene una tasa de bits más pequeña. Bajo la técnica de equidad máxima-mínima, los rendimientos de flujo se dan por:

$$\gamma_1 = C_1 \frac{(1-e)(2-e)}{2-e-e\frac{C_1 C_2 - C_1}{C_2 C_2 + C_1}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\gamma_2 = C_2 \frac{(1-e)(2-e)}{2-e-e\frac{C_2 C_1 - C_2}{C_1 C_1 + C_2}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. INVESTIGACIÓN APLICADA

Esta investigación es de tipo aplicada porque se centra en diseñar un mecanismo de asignación estratégico de recursos, mediante la implementación de un modelo análogo de redes de comunicación con diferentes clases de flujos de tráfico aleatorios usando la técnica equidad balanceada. Logrando asignar los recursos de una red móvil con reglas de ingeniería simples que no requieren el conocimiento de estadísticas finas de tráfico, considere un punto de acceso (BS) inalámbrico que transmite datos a cada móvil activo a la vez, véase *Figura 4*. Con el propósito de analizar diferentes parámetros en métricas de rendimiento que permitan validar el mecanismo en base a la técnica equidad máxima-mínima.

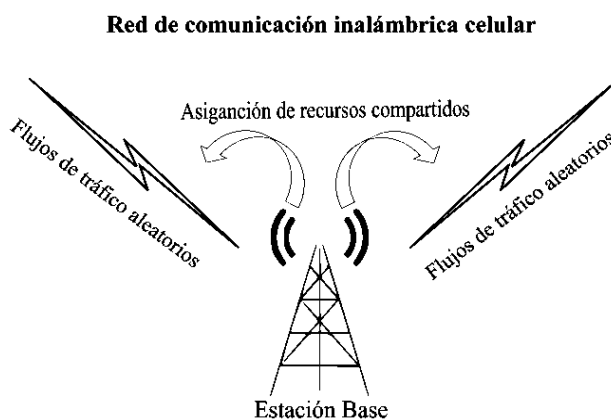


Figura 4. Red de comunicación inalámbrica con BS.

Fuente: Autor

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Esta investigación es de diseño experimental al manipular variables, véase *Tabla 1*, bajo el uso de la técnica de equidad balanceada; aplicada a la asignación de recursos del enlace de forma estratégica. A través de un modelo de simulación, por medio de MatLab. Este *software* servirá para implementar el bloque de “SIMULACIÓN DE MODELO DEL SISTEMA INALÁMBRICO” y así obtener valores de las métricas de rendimiento correspondientes de Intensidad de tráfico vs. Throughput. A continuación, se presenta de manera estructurada la metodología en bloques para el estudio, véase *Figura 2*. En el bloque del “MDELO DE

TRÁFICO” creamos el flujo de tráfico a través de un modelo adaptado por medio del “MECANISMO DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS” en función del tráfico que entrará a la de “SIMULACIÓN DE MODELO DEL SISTEMA INALÁMBRICO” de forma que no se saturen configurando el canal de comunicación de la red acceso radio para obtención de las métricas de rendimiento para la evaluación y análisis de los resultados.

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTO
Perfil de transmisión	Número de flujos de tráfico que genera un usuario en un sistema de comunicación	- Intensidad de tráfico	Observación directa a través de un modelo de simulación del procedimiento de acceso aleatorio para evaluación en base a parámetros relacionados con el rendimiento de la red de acuerdo a los flujos de tráfico con la técnica de equidad balanceada.
VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	
Rendimiento de la red	Medidas de calidad de servicio de un producto de telecomunicaciones desde el punto de vista del usuario .	- Throughput	

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Fuente: Autor

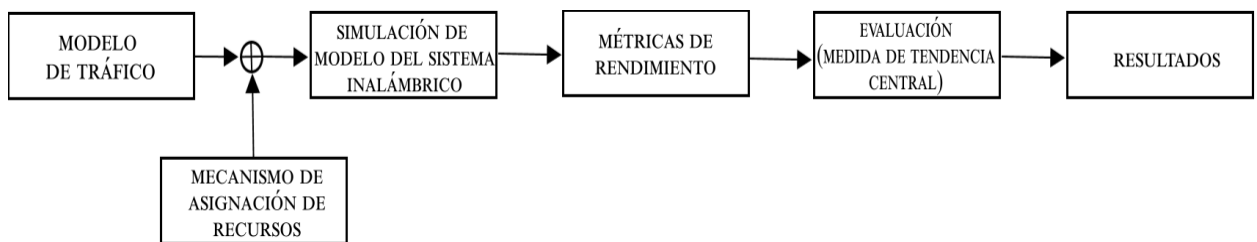


Figura 5. Fases del estudio

Fuente: Autor

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICA DE OBSERVACIÓN

Al comparar el rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión usando MatLab para modelar la red, los resultados obtenidos sirven como base de datos ingresados a SPSS para el

análisis estadístico (se rechaza o se acepta la hipótesis). Con diferentes tablas y gráficas, que permiten interpretar la valides del mecanismo diseñado comparado con el mecanismo base.

3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

La población estará compuesta por datos relativos a las variables de estudio que llegan a la red 5G con Network Slicing en un proceso de Poisson, modelados como una red *Whittle*.

3.4.2. TAMAÑO DE MUESTRA

Las muestras para investigación comprenden a las clases con distintos perfiles de transmisión, que han sido atendidos por la estación base resultado de la distribución estacionaria en el modelo de red con el mecanismo diseñado y el mecanismo base.

3.5. HIPÓTESIS

Sea una estación base que atiende dos clases con diferentes perfiles de transmisión predefinidos a nivel de flujo, bajo dos técnicas de asignación de recurso. El rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión bajo la técnica equidad balanceada con el mecanismo diseñado presenta un mejor rendimiento comparado con el mecanismo base bajo la técnica de Equidad máxima-mínima, cuando existen más perfiles de transmisión independientemente a la clase que pertenezca.

3.5.1. PLANTEAMIENTO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA VALIDACIÓN DEL MECANISMO USANDO LA TÉCNICA DE EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

$$H_0; \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis nula: El rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión bajo la técnica equidad balanceada es igual al rendimiento de los perfiles de transmisión de equidad máxima-mínima.

$$H_1; \mu_1 \neq \mu_2$$

Hipótesis alternativa: El rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión bajo la técnica equidad balanceada es distinto al rendimiento de los perfiles de transmisión de equidad máxima-mínima.

$\alpha=0.05$ (Nivel de significancia).

Estadístico de prueba: *t-student*

PLANTEAMIENTO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO USANDO LA TÉCNICA DE EQUIDAD BALANCEADA

$$H_0; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$

Hipótesis nula: El rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión bajo la técnica Equidad balanceada son iguales.

$$H_1; \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Hipótesis alternativa El rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión bajo la técnica Equidad balanceada al menos dos son distintos.

$\alpha=0.05$ (Nivel de significancia).

Estadístico de prueba: *F de Fisher (ANOVA)*.

3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS, Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.6.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.6.1.1. MÉTODO ANÁLITICO

Se utilizará el método analítico porque a través de la observación y el análisis de resultados obtenidos se podrá validar el diseño del mecanismo comparado con el mecanismo base, por medio de la interpretación de resultados en términos de las pruebas estadísticas para aceptar o rechazar la hipótesis.

- Analizar los resultados de rendimiento en términos de intensidad de tráfico vs *Throughput*, bajo la técnica de equidad balanceada y equidad máxima-mínima en las Clase 1 y Clase 2 con perfiles de transmisión predefinidos.

3.6.1.2. MÉTODO DESCRIPTIVO

Se utilizará el método descriptivo porque el propósito de la investigación es describir el comportamiento del rendimiento de flujo con diferentes perfiles de transmisión dentro del modelo de red conformado por dos clases bajo el mecanismo diseñado y el mecanismo base.

3.6.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos en términos rendimiento de flujo de los perfiles de transmisión obtenidos en Matlab proporcionan resultados que forman bases de datos, necesarios para la codificación, incorporación, tabulación, análisis, consulta y formulación de hipótesis [25].

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el modelo de red simulado como un modelo de colas, donde cada cola representa una clase de flujo, con diferentes perfiles de transmisión atendidos por la estación base simultáneamente. El mecanismo diseñado con la técnica equidad balanceada y el mecanismo base con la técnica equidad máxima-mínima, presentan valores de rendimiento de flujo del perfil de transmisión de forma adimensional, interpretados como n veces menos tiempo para la transmisión de tráfico.

Los resultados obtenidos de MatLab en diferentes clases con distintos perfiles de transmisión sirvieron como base de datos para el análisis estadístico por medio de SPSS, con gráficas y valores pertenecientes a pruebas estadísticas para aceptar o rechazar la hipótesis de esta investigación.

4.1. RESULTADOS DE LA CLASE 1 CON 10 PERFILES DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

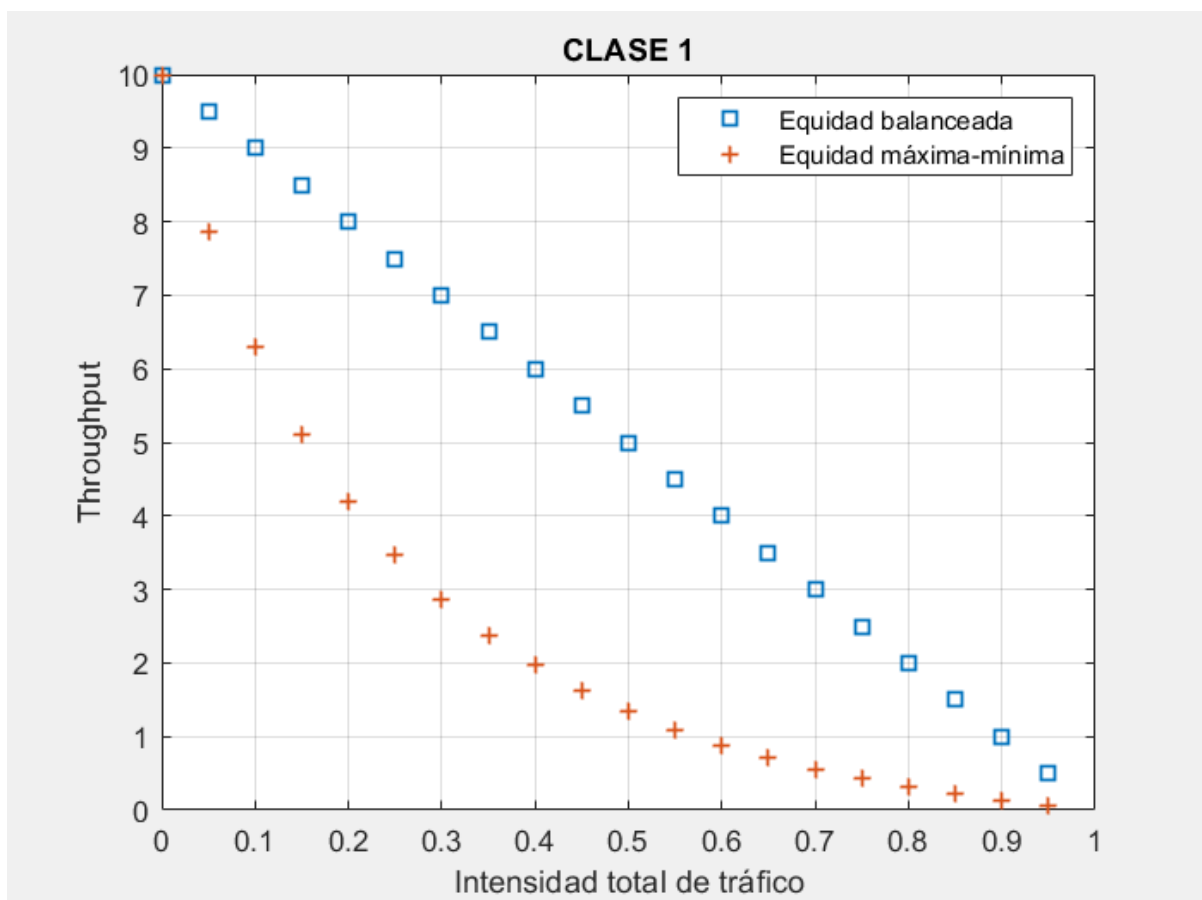


Figura 6. Resultados mediante la configuración para clase 1, $C1=10$; cuando se implementan 10 perfiles de transmisión.

Fuente: Autor

Cuando la Clase 1 con 10 perfiles de transmisión está bajo la técnica de equidad balanceada, el rendimiento de flujo se obtiene con la *Ecuación 19*, con intensidades de tráfico sin llegar a emplear el 100% por lo que puede saturar la red. Empleando C1= 10 perfiles de transmisión con intensidades de tráfico correspondientes al 30%, 60% y 90%, se obtienen valores de rendimiento de flujo equivalente a 7, 4, 1 veces menos el tiempo de transmisión. Comparado con los resultados basados bajo la técnica equidad máxima-mínima, empleando la *Ecuación 21* con la misma intensidad de tráfico usadas anteriormente se obtiene un rendimiento de flujo de 2.86, 0.88, 0.13 menos el tiempo de transmisión, véase en la *Figura 7*. Es decir, el mecanismo bajo equidad balanceada presenta una mejora con lo que respecta al rendimiento de flujo forma lineal sin congestionar a la red. Sin embargo, para el mecanismo bajo equidad balanceada presenta un comportamiento discriminatorio.

4.2. RESULTADOS DE LA CLASE 2 CON 1 PERFIL DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

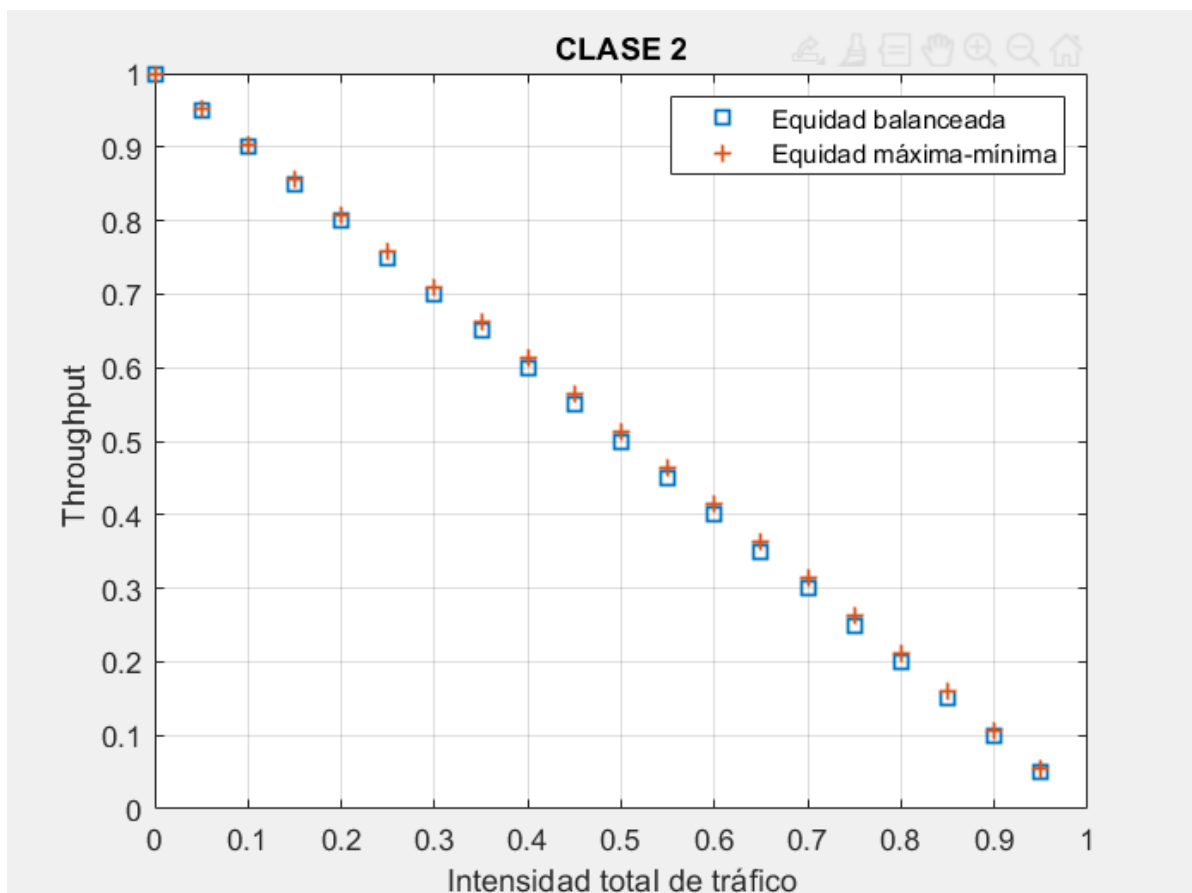


Figura 7. Resultados mediante la configuración para clase 2, C2=1; cuando se implementa un perfil de transmisión.

Fuente: Autor

Cuando la Clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo la técnica de equidad balanceada, el rendimiento de flujo se obtiene con la *Ecuación 20*, con intensidad de tráfico correspondiente al 50% sin llegar a emplear el 100% por lo que puede saturar la red. Empleando $C2= 1$ perfil de transmisión, se obtiene un rendimiento de flujo equivalente a 0.5. Comparado con los resultados basados bajo la técnica equidad máxima-mínima, empleando la *Ecuación 22* al poseer la misma intensidad de tráfico se obtiene un rendimiento de flujo de 0.505, véase en la *Figura 8*. La ganancia con lo que respecta a rendimiento de flujo de clase 2 bajo las dos técnicas es insignificante porque los flujos de Clase 1 generan la mayor parte de la carga al tener más perfiles de transmisión.

4.3. RESULTADOS DE LA CLASE 1 CON $C1 = [5 10 15 20 25 30]$ PERFILES DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

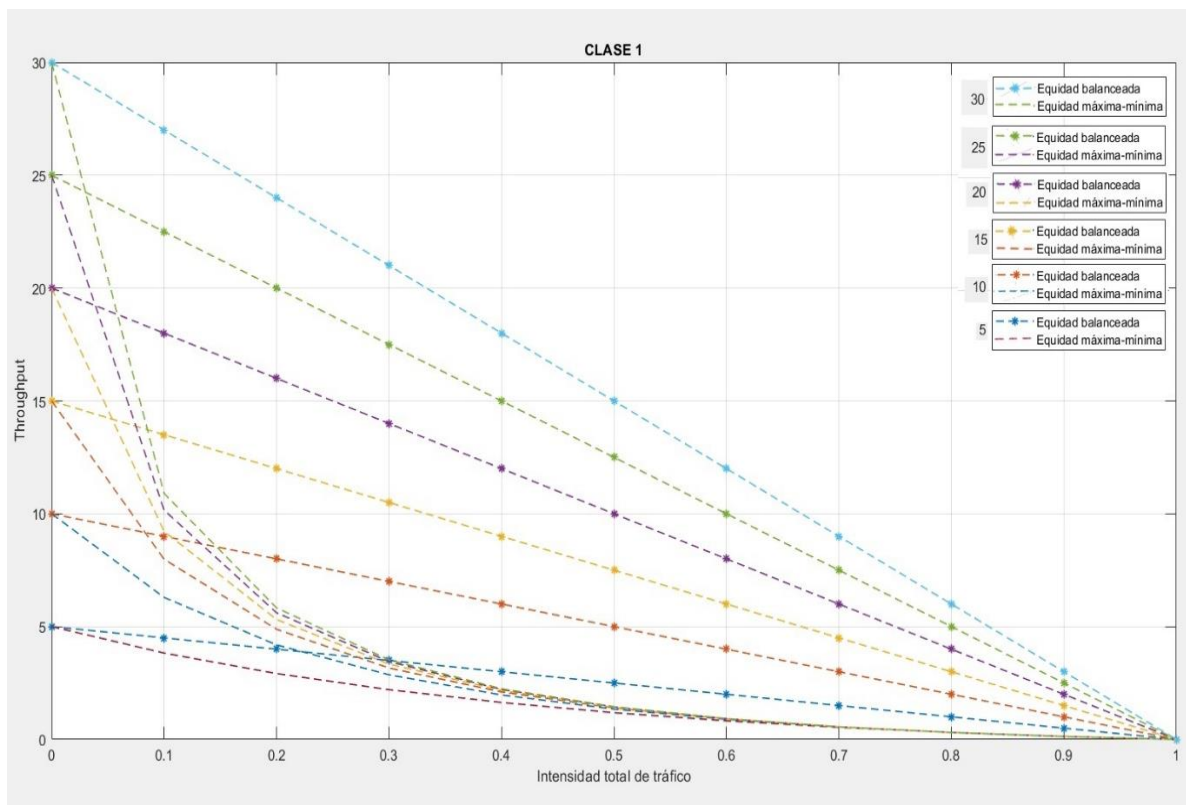


Figura 8. Resultados de los distintos perfiles de transmisión con variación de 5 a 30 para la Clase 1.

Fuente: Autor

Cuando la Clase 1 con diferentes perfiles de transmisión $C1 = [5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30]$, vector fila, bajo la técnica de equidad balanceada, los rendimientos de C1 se obtienen con la *Ecuación 19*, con intensidad de tráfico correspondiente al 50%. Empleando $C1 = [5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30]$ perfiles de transmisión, se obtiene un flujo de rendimiento equivalente a 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 veces menos el tiempo de transmisión en cada perfil de transmisión respectivamente. Comparado con los resultados basados bajo la técnica equidad máxima-mínima, empleando la *Ecuación 21* al poseer la misma intensidad de tráfico se obtiene un rendimiento 1.184, 1.34, 1.395, 1.422, 1.438, 1.449 veces menos el tiempo de transmisión en cada perfil respectivamente, véase en la *Figura 9*. Dicho esto, con lo que respecta a rendimiento de flujo de clase 1 bajo el mecanismo diseñado, el rendimiento va a seguir mejorando si la carga de tráfico aumenta.

4.4. RESULTADOS DE LA CLASE 2 CON 1 PERFIL DE TRANSMISIÓN BAJO LAS TÉCNICAS EQUIDAD BALANCEADA Y EQUIDAD MÁXIMA-MÍNIMA

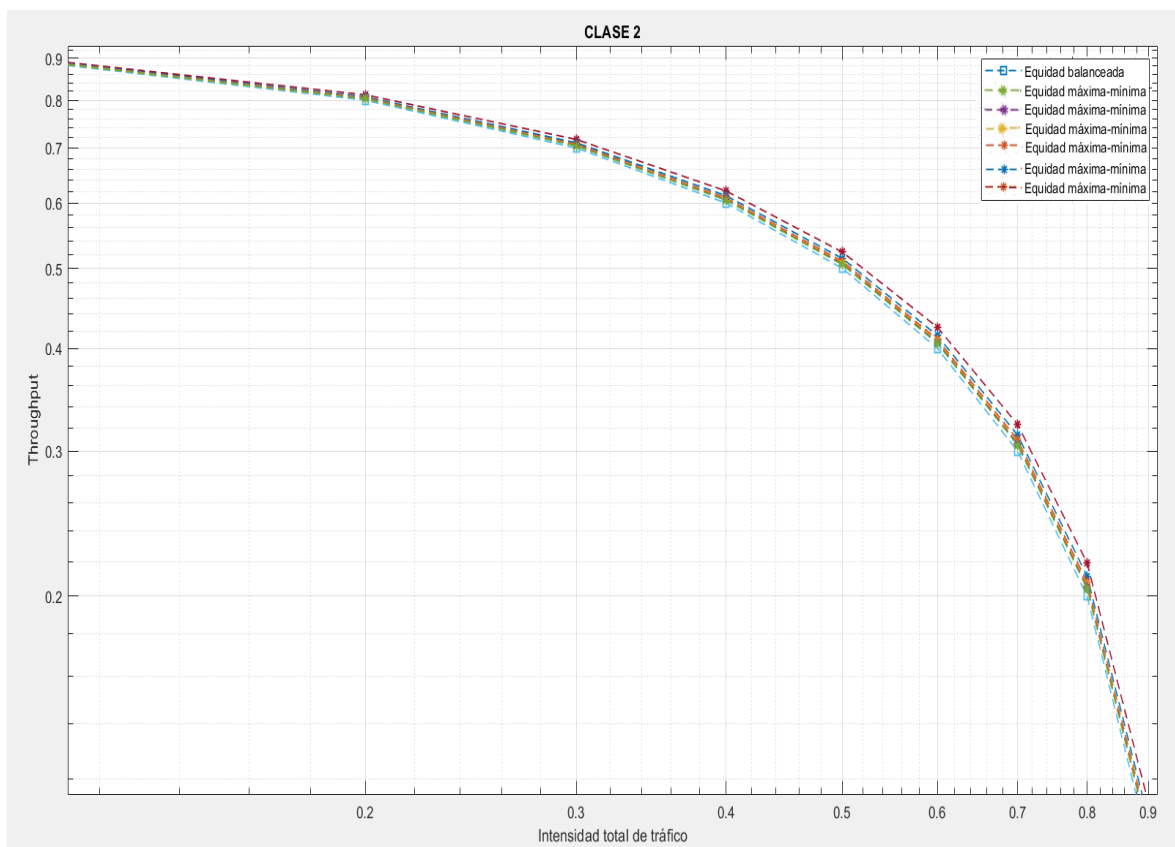


Figura 9. Resultados mediante la configuración para clase 2 con un perfil de transmisión con intensidad de tráfico correspondiente al 50%

Fuente: Autor

Cuando la Clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo la técnica de equidad balaceada, el rendimiento de flujo del perfil de transmisión se obtiene con la *Ecuación 20*, con intensidad de tráfico correspondiente al 50%. Empleando $C2 = 1$ perfil de transmisión, se obtiene un flujo de rendimiento equivalente a 0.5. Comparado con los resultados basados bajo la técnica equidad máxima-mínima, empleando la *Ecuación 22*, con valores de Clase 1 y Clase 2 para obtener los rendimientos respecto a la Clase 2, al poseer la misma intensidad de tráfico se obtienen valores de rendimiento de 0.5053, 0.5062, 0.5077, 0.5099, 0.5014 y 0.5232, véase en la *Figura 11*. Resultados similares a la *Figura 8*, indicando que el rendimiento con el mecanismo diseñado y mecanismo base es similar, al no presentar mayor carga de tráfico para la Clase 2 respecto a la Clase 1.

4.5. RESULTADO DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 10 PERFILES, CON EL MECANISMO BASE COMPARADO CON EL MECANISMO DISEÑADO

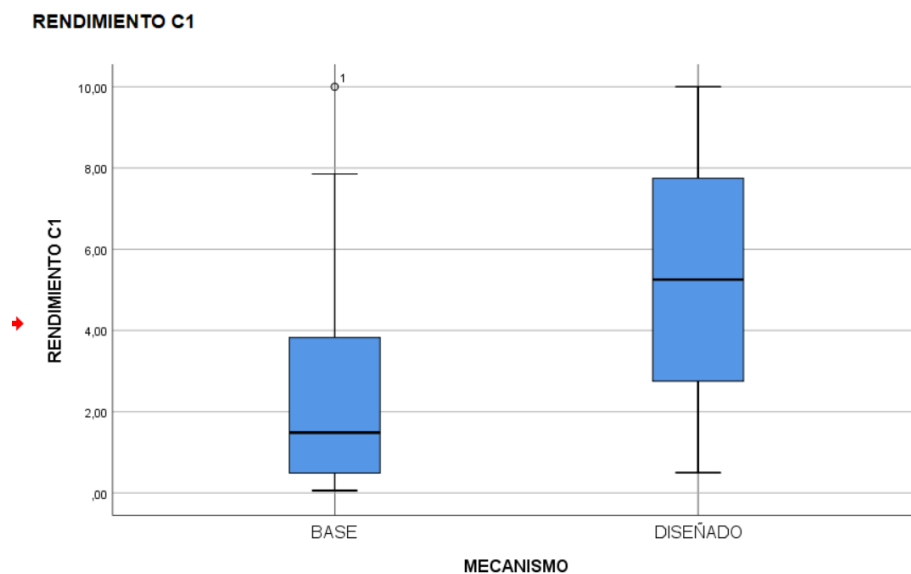


Figura 10. Resultados de rendimiento para la Clase 1 con 10 perfiles de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.

Fuente: Autor

Los datos de rendimiento representados en la *Figura 10*, son los resultados obtenidos de la simulación de Clase 1 con 10 perfiles, bajo el mecanismo base y mecanismo diseñado. Mostrando visualmente la validación del mecanismo con diagramas de cajas, para el mecanismo diseñado con 10 perfiles manejan valores de rendimiento del 0.5% al 100%. Con mejor dispersión en todos los valores de rendimiento cerca de la mediana, con mayor dispersión en valores cerca del mínimo y del máximo. A comparación del mecanismo base con 10 perfiles

manejan valores de rendimiento del 0.0% al 78%. La caja está cerca del mínimo, presentando un bajo rendimiento incluso al ser carga de tráfico para el modelo de red.

4.6. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 1 CON 10 PERFILES

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5% (0.05), usando el estadístico de prueba “*t-student*” y la toma de decisión se realizó considerando el *p – valor*.

➔ Prueba T

Estadísticas de grupo					
	MECANISMO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
RENDIMIENTO C1	BASE	20	2,5733	2,80748	,62777
	DISEÑADO	20	5,2500	2,95804	,66144

Tabla 2. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos: Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo.

Fuente: Autor

La media de rendimiento de flujo del perfil bajo la técnica de asignación de recursos con el mecanismo diseñado es mayor a la media de rendimiento del perfil de la técnica de asignación del mecanismo base, véase en la *Tabla 2*.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
RENDIMIENTO C1	Se asumen varianzas iguales	,416	,523	-2,935	38	0,005629	-2,67666	,91192	-4,52275	-,83058
	No se asumen varianzas iguales			-2,935	37,897	,006	-2,67666	,91192	-4,52291	-,83041

Tabla 3. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 1.

Fuente: Autor

En la *Tabla 3*, se observa que el *p – valor* 0.0056 es menor a 0.05 donde se asumen varianzas iguales por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

4.7. RESULTADO DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 2 CON 1 PERFIL, COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y MECANISMO DISEÑADO

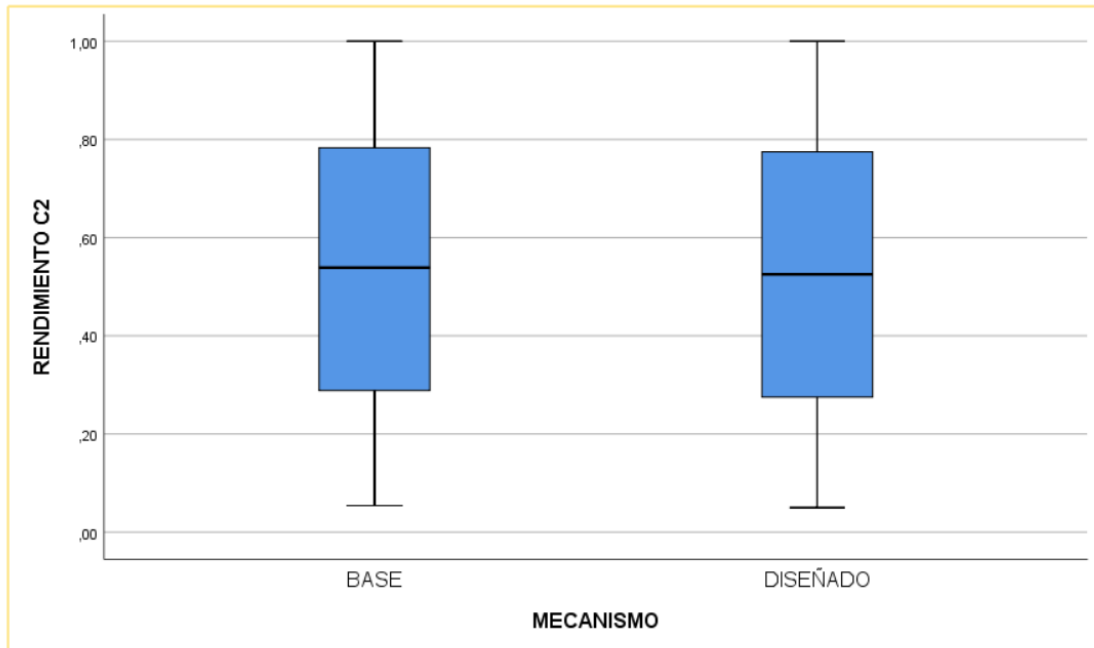


Figura 11. Resultados de rendimiento para la Clase 2 con 1 perfil de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.

Fuente: Autor

Los datos de rendimiento representados en la Figura 12, son los resultados obtenidos de la simulación de Clase 2 con 1 perfil, bajo el mecanismo base y mecanismo diseñado. Las cajas no presentan diferencia respecto al rendimiento, al tener un perfil de transmisión y no presentar ser mayor carga de tráfico para la red.

4.8. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 2 CON 1 PERFIL

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5% (0.05), usando el estadístico de prueba “*t-student*” y la toma de decisión se realizó considerando el *p – valor*.

Prueba T

Estadísticas de grupo					
	MECANISMO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
RENDIMIENTO C2	BASE	20	,5346	,29368	,06567
	DISEÑADO	20	,5250	,29580	,06614

Tabla 4. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos: Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo para Clase 2 = 1 perfil.

Fuente: Autor

La media de rendimiento de flujo del perfil bajo la técnica de asignación de recursos con el mecanismo diseñado no presenta mayor significancia respecto rendimiento del perfil de la técnica de asignación del mecanismo base, véase en la *Tabla 4*.

		Prueba de muestras independientes					prueba t para la igualdad de medias			
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas					Diferencia de medias		95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
RENDIMIENTO C2	Se asumen varianzas iguales	,002	,965	,103	38	,919	,00959	,09321	-,17910	,19828
	No se asumen varianzas iguales			,103	37,998	,919	,00959	,09321	-,17910	,19828

Tabla 5. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 2
Fuente: Autor

En la *Tabla 5*, se observa que el *p* - valor 0.919 es mayor a 0.05 donde se asumen varianzas iguales por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

4.9. RESULTADO DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 5,10,15,20,25,30 PERFILES COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y MECANISMO DISEÑADO

Rendimiento

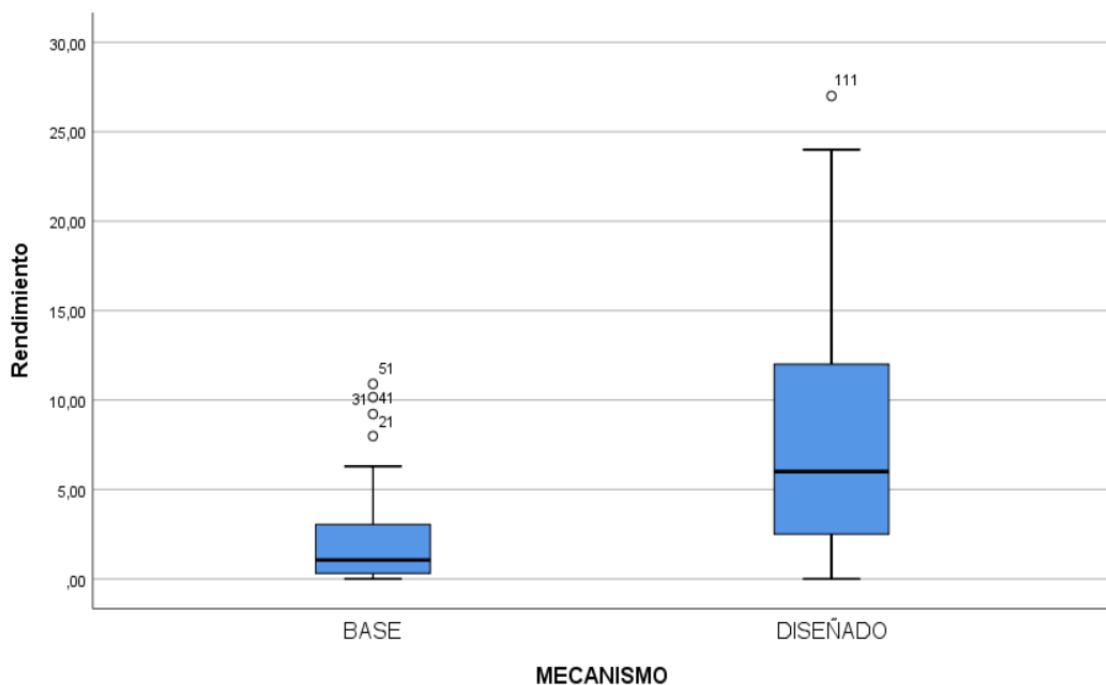


Figura 12. Resultados de rendimiento para la Clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.

Fuente: Autor

Los datos de rendimiento representados en la Figura 12, son los resultados obtenidos de la simulación de Clase 1 con {5,10,15,20,25,30} perfiles, bajo el mecanismo base y mecanismo diseñado. Mostrando visualmente la validación del mecanismo con diagramas de cajas, para el mecanismo diseñado la caja indica mayor dispersión en valores cerca del mínimo y del máximo respecto al mecanismo base. A comparación del mecanismo base la caja está cerca del mínimo, presentando un bajo rendimiento con diferentes perfiles de transmisión.

4.10. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 1 CON [1, 5,10,15,20,25,30] PERFILES

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5% (0.05), usando el estadístico de prueba “*t-student*” y la toma de decisión se realizó considerando el *p – valor*.

➔ Prueba T

	MECANISMO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Rendimiento	BASE	60	2,1260	2,60483	,33628
	DISEÑADO	60	7,8750	6,84305	,88343

Tabla 6. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos de flujo de clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles.

Fuente: Autor

La media de rendimiento de flujo del perfil bajo la técnica de asignación de recursos con el mecanismo diseñado presenta una media de 7,87 respecto a la técnica de asignación del mecanismo base con una media de 2,12 (véase en la Tabla 6).

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Rendimiento	Se asumen varianzas iguales	42,820	,000	-6,082	118	,000	-5,74901	,94527	-7,62091	-3,87712
	No se asumen varianzas iguales			-6,082	75,746	,000	-5,74901	,94527	-7,63179	-3,86624

Tabla 7. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 1

Fuente: Autor

En la Tabla 7, se observa que el *p - valor* 0.00 es menor a 0.05 donde se asumen varianzas iguales por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

4.11. RESULTADO DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 2 CON 1 PERFIL, COMPARADO CON EL MECANISMO BASE Y MECANISMO DISEÑADO

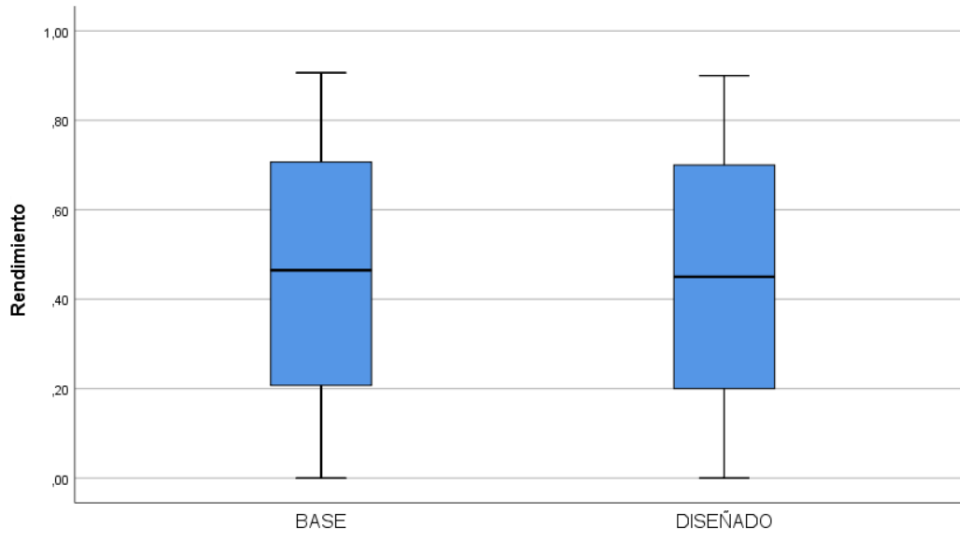


Figura 13. Resultados de rendimiento para la Clase 2 con 1 perfil de transmisión con el mecanismo base comparado con el mecanismo diseñado.

Fuente: Autor

Los datos de rendimiento representados en la *Figura 13*, son los resultados obtenidos de la simulación de Clase 2 con 1 perfil, bajo el mecanismo base y mecanismo diseñado. Las cajas no presentan diferencia respecto al rendimiento, al tener un perfil de transmisión, similar a la *figura 11*.

4.12. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA RENDIMIENTO DE FLUJO DE CLASE 2 CON 1 PERFIL

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5% (0.05), usando el estadístico de prueba “*t-student*” y la toma de decisión se realizó considerando el *p – valor*.

Prueba T

Estadísticas de grupo					
	Tipo	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Rendimiento1	BASE	60	,4575	,29006	,03745
	DISEÑADO	60	,4500	,28965	,03739

Tabla 8. Medias de rendimiento de flujo en función a las técnicas de asignación de recursos Técnica equidad Balanceada y equidad máximo-mínimo para clase 2=1 perfil.

Fuente: Autor

La media de rendimiento de flujo del perfil bajo la técnica de asignación de recursos con el mecanismo diseñado no presenta mayor significancia respecto rendimiento del perfil de la técnica de asignación del mecanismo base, véase en la *Tabla 8*.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Rendimiento1	Se asumen varianzas iguales	,000	,998	,142	118	,888	,00750	,05292	-,09729	,11230
	No se asumen varianzas iguales			,142	118,000	,888	,00750	,05292	-,09729	,11230

Tabla 9. Prueba de muestras independientes para el rendimiento de Clase 2
Fuente: Autor

En la *Tabla 9*, se observa que el *p* - valor 0.888 es mayor a 0.05 donde se asumen varianzas iguales por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

4.13. RESULTADO DEL RENDIMIENTO DE FLUJO PARA LA CLASE 1 CON 5,10,15,20,25,30 PERFILES CON EL MECANISMO DISEÑADO

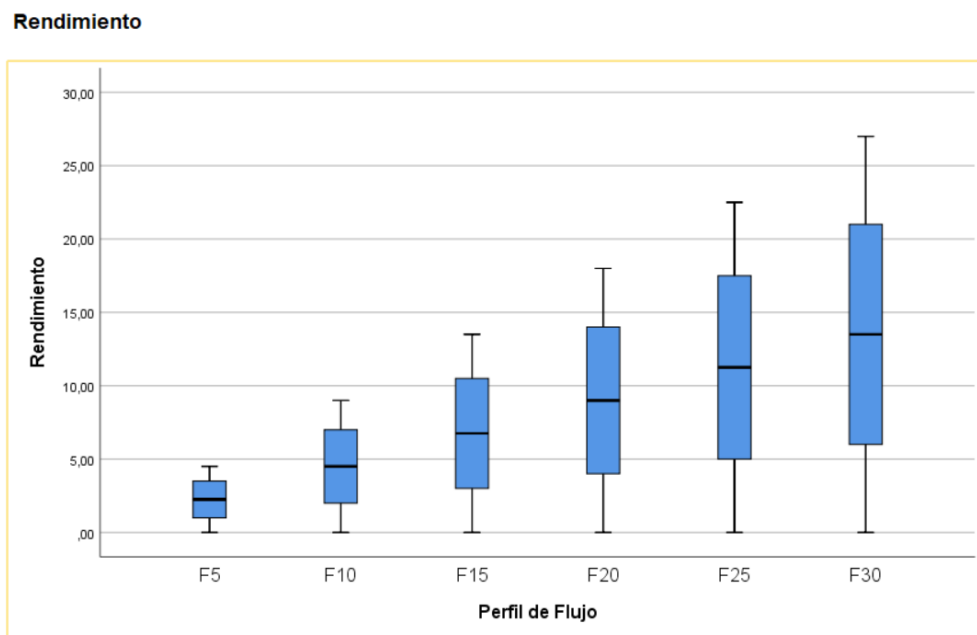


Figura 14. Resultados de rendimiento para la Clase 2 con 1 perfil de transmisión con el mecanismo diseñado comparado con el mecanismo base.

Fuente: Autor

4.14. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO USANDO LA TÉCNICA DE EQUIDAD BALANCEADA CON DIFERENTES PERFILES DE TRANSMISIÓN

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5% (0.05), usando el estadístico de prueba “*f de Fisher (ANOVA)*” y la toma de decisión se realizó considerando el *p – valor*.

ANOVA					
rendimiento	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	885,938	5	177,188	5,098	,001
Dentro de grupos	1876,875	54	34,757		
Total	2762,813	59			

Tabla 10. *P – valor para estadístico de prueba f de Fisher.*

Fuente: Autor

En la Tabla 6, se observa que el *p - valor* 0.001 es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Con ANOVA de un factor, mediante la corporación múltiple post hoc Tukey con estadísticos descriptivos y gráfico de las medias, observamos comportamientos distintos en referencia a las medias de cada perfil de transmisión, creando tres grupos con de los perfiles [5,10,15,20,25,30] similares.

Subconjuntos homogéneos

rendimiento					
HSD Tukey ^a					
Flujo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	
F5	10	2,2500			
F10	10	4,5000	4,5000		
F15	10	6,7500	6,7500	6,7500	
F20	10	9,0000	9,0000	9,0000	
F25	10		11,2500	11,2500	
F30	10			13,5000	
Sig.		,125	,125	,125	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

Tabla 11. *Resultados mediante la corporación múltiple post hoc Tukey con estadísticos descriptivos*

Fuente: Autor

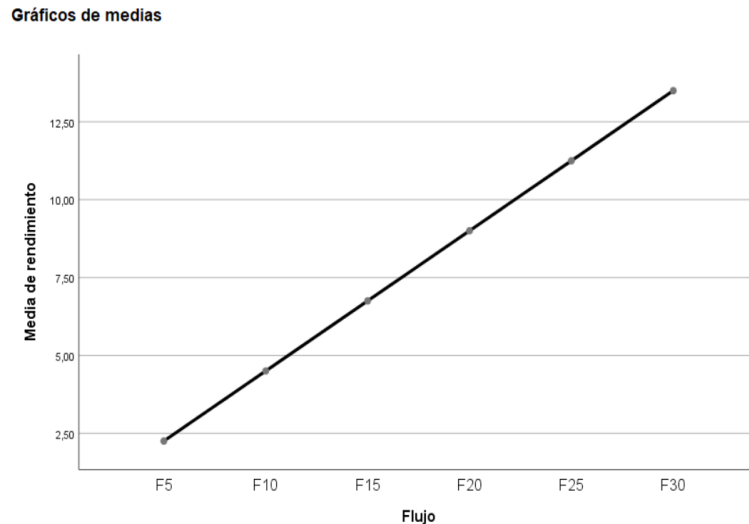


Figura 15. Gráficos de medias para una clase en particular con 5,10,15,20,25 y 30 perfiles de transmisión.

Fuente: Autor

Los valores de las medias para el rendimiento de flujo muestran un comportamiento lineal, es decir agregamos a la misma clase más perfiles de transmisión el rendimiento seguirá aumentando.

4.15. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa al presentar una mejora en el rendimiento con el mecanismo diseñado en el modelo de red para la asignación estratégica de recursos en clases con mayor carga de tráfico.

Estos resultados guardan relación con los que sostiene Bonald [11], quien señala que, al trabajar con técnicas de asignación de recursos, los modelos de red que cumplen ciertas leyes y criterios con la técnica equidad balanceada presentan un mejor rendimiento. Ello es acorde con lo que el estudio halla.

Pero en lo que no concuerda la asignación estratégica usando el mecanismo diseñado, al ser implementado en clases con un perfil de transmisión al no representar ser carga de tráfico, no experimenta mejoras de rendimiento comparado con el mecanismo base, siendo similares entre sí.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La investigación determinó que el diseño del mecanismo de asignación estratégica de recursos radio en sistemas inalámbricos 5G con *Network Slicing* es representado por un modelo de red de colas, donde cada cola representa una clase de flujo en particular con diferentes perfiles de transmisión.
- Las técnicas de asignación de recursos no dependen de ninguna característica de tráfico, al estar a nivel de flujo se relacionan en términos de métricas de rendimiento de flujo para diferentes perfiles de transmisión. No obstante, los resultados bajo las técnicas de equidad que cumplen la propiedad de equilibrio, permitiendo diseñar un mecanismo con buena aproximación a cargas elevadas en todos los casos con los perfiles de transmisión predefinidos.
- El mecanismo diseñado presentó mejores valores de rendimiento con un mayor número de perfiles de transmisión. Con asignaciones de recursos compartidos por un número aleatorio de flujos de tráfico en cada clase de flujo. En lo que se refiere a la eficiencia del mecanismo cuando una clase de flujo en particular presenta varios perfiles de transmisión se observó que el rendimiento es creciente de forma lineal de acuerdo con el número que presenten los perfiles de transmisión. En cuanto a la clase de flujo en particular que presenta un perfil de transmisión bajo el mecanismo base y el mecanismo diseñado, al no presentar ser mayor carga de tráfico el rendimiento de perfil es insignificante en los dos mecanismos.

5.2. RECOMENDACIONES

Establecidas las conclusiones de esta investigación se recomienda que:

- El modelo analítico con el mecanismo diseñado y el mecanismo base, deben cumplir con la condición necesaria y suficiente del límite del conjunto de capacidad para no congestionar la red. Proporcionando límites a la intensidad total de tráfico. Estos límites presentan el interés práctico de ser insensibles a las características del tráfico.
- La simulación del modelo de red permite establecer la cantidad de clases de flujos con n diferentes perfiles de transmisión, clases necesarias para ser implementadas bajo las técnicas de asignación de recursos que permiten conocer el comportamiento en distintos casos de acuerdo con el estudio a realizar. Que sirve como herramienta matemática en diferentes escenarios que atraviesen múltiples condiciones de radio ya sean buenas o malas representadas por los flujos de tráfico.
- El valor del rendimiento de flujo con el mecanismo diseñado es directamente proporcional al número de perfiles de transmisión, es decir, mientras existan más perfiles de transmisión el rendimiento será mayor. Sin embargo, no se recomienda clases con la misma cantidad de perfiles de transmisión por lo que los mecanismos no cumplen condiciones necesarias para este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Yang, L. Wang, G. Geraci, M. ElKashlan, J. Yuan, and M. Renzo, “Safeguarding 5G Wireless Communication Networks Using Physical Layer Security,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 53, pp. 20–27, Apr. 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7081071.
- [2] A. P. Figueras, S. J. Fernández, and S. S. Sanz, “5G: fundamentos de una tecnología que cambiará el mundo,” *Revista Tribuna Norteamericana*, no. 33, pp. 16–23, 2020.
- [3] G. Wu, C. Yang, S. Li, and G. Y. Li, “Recent advances in energy-efficient networks and their application in 5G systems,” *IEEE Wirel Commun*, vol. 22, no. 2, pp. 145–151, 2015, doi: 10.1109/MWC.2015.7096297.
- [4] Y. Cai, Z. Qin, F. Cui, G. Y. Li, and J. A. McCann, “Modulation and Multiple Access for 5G Networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 629–646, 2018, doi: 10.1109/COMST.2017.2766698.
- [5] A. M. Rodríguez-Gemade and A. K. Gandur-Manzano, “Red 5G: ¿Beneficio o sacrificio?,” *Revista CONVICCIONES*, vol. 7, no. 14, pp. 24–28, 2020.
- [6] J. W. A. Morales, J. C. A. Morales, and B. C. Quiñónez, “La tecnología 5G en el Ecuador. Un análisis desde los requerimientos 5G,” *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, vol. 5, no. 2, pp. 805–822, 2020.
- [7] A. Gupta and R. K. Jha, “A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2461602.
- [8] J. E. A. Peña, “Simulación de radio propagación de arreglos de Múltiples-Entradas-Múltiples-Salidas (MIMO) en frecuencias de ondas milimétricas para redes 5G,” *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA*, p. 233, 2020.
- [9] T.-K. Le, U. Salim, and F. Kaltenberger, “An overview of physical layer design for Ultra-Reliable Low-Latency Communications in 3GPP Releases 15, 16, and 17,” *IEEE access*, vol. 9, pp. 433–444, 2020.
- [10] K. S. Ibarra-Lancheros, G. Puerto-Leguizamón, and C. Suárez-Fajardo, “Quality of service evaluation based on network slicing for software-defined 5G systems,” *Tecnológicas*, vol. 21, pp. 27–41, 2018.
- [11] T. Bonald, L. Massoulié, A. Proutiere, and J. Virtamo, “A queueing analysis of max-min fairness, proportional fairness and balanced fairness,” *Queueing Syst*, vol. 53, no. 1, pp. 65–84, 2006.

- [12] Á. Fombellida Gobantes, “Modelado y simulación de tecnologías mmW en escenarios 5G,” 2019.
- [13] Q. Li, G. Wu, A. Papathanassiou, and U. Mukherjee, “An end-to-end network slicing framework for 5G wireless communication systems,” *arXiv preprint arXiv:1608.00572*, 2016.
- [14] C. A. Hervella Baturone, “Análisis del comportamiento de controladores vRAN en redes 5G,” 2020.
- [15] A. Ghosh, R. Ratasuk, B. Mondal, N. Mangalvedhe, and T. Thomas, “LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology,” *IEEE Wireless Communication*, vol. 17, no. 3, pp. 10–22, 2010.
- [16] N. Hassan, K. A. Yau, and C. Wu, “Edge Computing in 5G: A Review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 127276–127289, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2938534.
- [17] Y. Li and M. Chen, “Software-Defined Network Function Virtualization: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2542–2553, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2499271.
- [18] S. Rommer, P. Hedman, M. Olsson, L. Frid, S. Sultana, and C. Mulligan, *5G Core Networks: Powering Digitalization*. Academic Press, 2019.
- [19] S. M. A. Kazmi, L. U. Khan, N. H. Tran, and C. S. Hong, *Network slicing for 5G and beyond networks*, vol. 1. Springer, 2019.
- [20] T. Bonald and A. Proutiere, “Insensitive Bandwidth Sharing in Data Networks,” *Queueing Syst*, vol. 44, pp. 69–100, May 2003, doi: 10.1023/A:1024094807532.
- [21] V. P. Mochalov, G. I. Linets, and I. S. Palkanov, “The Erlang Model for a Fragment of SDN Architecture,” in *International Russian Automation Conference*, 2020, pp. 424–437.
- [22] T. Bonald and J. Virtamo, “A recursive formula for multirate systems with elastic traffic,” *IEEE Communications Letters*, vol. 9, no. 8, pp. 753–755, 2005, doi: 10.1109/LCOMM.2005.1496605.
- [23] T. Bonald and A. Proutiere, “A Queueing Analysis of Data Networks,” in *Queueing Networks*, vol. 154, 2010, pp. 729–765. doi: 10.1007/978-1-4419-6472-4_17.
- [24] S. Pérez, H. Facchini, A. Dantiacq, and G. Cangemi, “Análisis por Simulación del Impacto de los Parámetros EDCA de la norma IEEE 802.11 e Rendimiento Wi-Fi con QoS,” 2014.
- [25] R. C. H. Lara, “Herramientas de software libre para aplicaciones en ciencias e ingeniería,” *Revista Politécnica*, vol. 32, 2013.

ANEXOS

1		1	
1	10	1	10
2	7.8526	2	9.5000
3	6.2910	3	9
4	5.1100	4	8.5000
5	4.1905	5	8
6	3.4581	6	7.5000
7	2.8643	7	7
8	2.3761	8	6.5000
9	1.9701	9	6
10	1.6295	10	5.5000
11	1.3415	11	5
12	1.0966	12	4.5000
13	0.8876	13	4.0000
14	0.7086	14	3.5000
15	0.5550	15	3.0000
16	0.4231	16	2.5000
17	0.3099	17	2.0000
18	0.2128	18	1.5000
19	0.1300	19	1.0000
20	0.0595	20	0.5000

Tabla 12. Base de datos de clase 1 con 10 perfiles de transmisión bajo mecanismo base y mecanismo diseñado respectivamente

1		1	
1	1	1	1
2	0.9520	2	0.9500
3	0.9039	3	0.9000
4	0.8557	4	0.8500
5	0.8073	5	0.8000
6	0.7589	6	0.7500
7	0.7103	7	0.7000
8	0.6615	8	0.6500
9	0.6125	9	0.6000
10	0.5634	10	0.5500
11	0.5140	11	0.5000
12	0.4644	12	0.4500
13	0.4145	13	0.4000
14	0.3644	14	0.3500
15	0.3138	15	0.3000
16	0.2629	16	0.2500
17	0.2115	17	0.2000
18	0.1597	18	0.1500
19	0.1072	19	0.1000
20	0.0540	20	0.0500

Tabla 13. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo base y mecanismo diseñado respectivamente

	1	2	3	4	5	6
1	5	10	15	20	25	30
2	3.8284	6.2910	7.9844	9.2195	10.1600	10.8999
3	2.9189	4.1905	4.8814	5.3146	5.6115	5.8277
4	2.2037	2.8643	3.1663	3.3387	3.4500	3.5279
5	1.6364	1.9701	2.1022	2.1724	2.2159	2.2455
6	1.1842	1.3415	1.3953	1.4221	1.4381	1.4486
7	0.8235	0.8876	0.9057	0.9138	0.9183	0.9211
8	0.5367	0.5550	0.5578	0.5585	0.5586	0.5586
9	0.3103	0.3099	0.3077	0.3062	0.3052	0.3044
10	0.1341	0.1300	0.1278	0.1265	0.1257	0.1252
11	0	0	0	0	0	0

Tabla 14. Base de datos de clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles de transmisión bajo mecanismo base

	1	2	3	4	5	6
1	5	10	15	20	25	30
2	4.5000	9	13.5000	18	22.5000	27
3	4	8	12	16	20	24
4	3.5000	7	10.5000	14	17.5000	21
5	3	6	9	12	15	18
6	2.5000	5	7.5000	10	12.5000	15
7	2	4	6	8	10	12
8	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000
9	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	5.0000	6.0000
10	0.5000	1.0000	1.5000	2.0000	2.5000	3.0000
11	0	0	0	0	0	0

Tabla 15. Base de datos de clase 1 con 5,10,15,20,25,30 perfiles de transmisión bajo mecanismo diseñado

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	0.9064	0.9039	0.9028	0.9021	0.9018	0.9015
3	0.8120	0.8073	0.8052	0.8040	0.8033	0.8028
4	0.7169	0.7103	0.7073	0.7056	0.7046	0.7039
5	0.6207	0.6125	0.6089	0.6069	0.6056	0.6047
6	0.5233	0.5140	0.5099	0.5077	0.5062	0.5053
7	0.4242	0.4145	0.4103	0.4079	0.4064	0.4054
8	0.3232	0.3138	0.3097	0.3075	0.3061	0.3051
9	0.2195	0.2115	0.2081	0.2062	0.2050	0.2042
10	0.1122	0.1072	0.1050	0.1038	0.1031	0.1026
11	0	0	0	0	0	0

Tabla 16. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo base

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
3	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000
4	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000
5	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
7	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000
8	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
9	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
10	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
11	0	0	0	0	0	0

Tabla 17. Base de datos de clase 2 con 1 perfil de transmisión bajo mecanismo diseñado