



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS DEL PROCESO RAMPA DE POTENCIA EN SISTEMAS
INALÁMBRICOS DE CUARTA GENERACIÓN (4G) EN COMUNICACIÓN
MASIVA IOT PARA INCREMENTAR LA PROBABILIDAD DE ACCESO
SATISFACTORIO**

**“Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Telecomunicaciones”**

Autor:

Kevin Alexander Guadalupe Chafra

Tutor:

PhD. Luis Patricio Tello Oquendo

Riobamba – Ecuador


2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Kevin Alexander Guadalupe Chafla, con cédula de ciudadanía 0605599380, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: ANÁLISIS DEL PROCESO RAMPA DE POTENCIA CON SISTEMAS INALÁMBRICOS DE CUARTA GENERACIÓN (4G) EN COMUNICACIÓN MASIVA IOT PARA INCREMENTAR LA PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO, 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, 14 de diciembre del 2023.



Kevin Alexander Guadalupe Chafla

C.I:0605599380

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Luis Patricio Tello Oquendo catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Análisis del proceso rampa de potencia en sistemas inalámbricos de cuarta generación (4G) en comunicación masiva IoT para incrementar la probabilidad de acceso satisfactorio, bajo la autoría de Kevin Alexander Guadalupe Chafila; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 18 días del mes de noviembre de 2023



PhD. Luis Patricio Tello Oquendo

C.I: 0604235242

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Análisis del proceso rampa de potencia en sistemas inalámbricos de cuarta generación (4G) en comunicación masiva IoT para incrementar la probabilidad de acceso satisfactorio, presentado por Kevin Alexander Guadalupe Chafra, con cédula de identidad número 060559938-0, bajo la tutoría del PhD. Luis Patricio Tello Oquendo; 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 14 de diciembre del 2023.

Msc. Deysi Vilma Inca Balseca
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. José Luis Jinez Tapia
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Marlon Danilo Basantes Valverde
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Kevin Alexander Guadalupe Chafía** con CC: **060559938-0**, estudiante de la Carrera **Ingeniería en Telecomunicaciones**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **ANÁLISIS DEL PROCESO RAMPA DE POTENCIA EN SISTEMAS INALÁMBRICOS DE CUARTA GENERACIÓN (4G) EN COMUNICACIÓN MASIVA IOT PARA INCREMENTAR LA PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO**", cumple con el **4%** 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, 8 de diciembre del 2023



LUIS PATRICIO TELLO
OQUENDO

PhD. Luis Patricio Tello Oquendo
TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios quien me ha llenado de bendiciones a lo largo de mi formación personal como estudiantil, permitiéndome cumplir con éxito las metas que me he planteado a lo largo de mi vida.

A mis queridos padres, Guillermo Guadalupe y Mercedes Chafla, quienes me han inculcado todos mis valores y han estado apoyándome en cada logro y cada tropiezo de mi vida, incentivándome a cada día ser una mejor persona, quienes a pesar de las adversidades siempre me han llenado de amor y de alegría.

A mis hermanos Dayana y Dylan quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en cualquier decisión de mi vida y han sido un pilar fundamental para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mi querido Dios por ayudarme a superar todos los obstáculos que se presentaron en el transcurso de mi vida y poder llegar exitosamente hasta este punto.

A mi familia quienes me brindaron sus consejos, me llenaron de amor y de apoyo incondicional para cumplir cada sueño propuesto en mi vida.

A mi apreciado tutor el PhD. Luis Patricio Tello Oquendo quien puso toda su confianza en mí, quien me guio en cada punto de desarrollo de este proyecto y de mi formación personal.

A mis docentes quienes fueron pilares fundamentales en mi formación estudiantil, mismos que día a día compartían sus conocimientos para formarme como un profesional de excelencia.

A mis queridos amigos con quienes he compartido esta etapa importante de mi vida, quienes me han acompañado a cumplir muchos de mis sueños y han estado conmigo incondicionalmente.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I	17
1.1. INTRODUCCIÓN	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	18
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO II	20
2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. TELEFONÍA MÓVIL	20
2.1.1.1. COMUNICACIONES MÓVILES DE PRIMERA GENERACIÓN (1G)	20
2.1.1.2. COMUNICACIONES MÓVILES DE SEGUNDA GENERACIÓN (2G)	20
2.1.1.3. LA GENERACIÓN DE COMUNICACIONES MÓVILES 2.5G.	21
2.1.1.4. COMUNICACIONES MÓVILES DE TERCERA GENERACIÓN (3G)	21
2.1.1.5. REDES INALÁMBRICAS DE CUARTA GENERACIÓN (4G)	21

2.1.1.6. COMUNICACIONES MÓVILES DE QUINTA GENERACIÓN (5G)

22

2.2.	CANAL DE ACCESO ALEATORIO	24
2.3.	ACCESO ALEATORIO BASADO EN CONTENCIÓN	24
2.3.1.	PREÁMBULO DE ACCESO ALEATORIO	25
2.3.2.	RESPUESTA DE ACCESO ALEATORIO	26
2.3.3.	RESPUESTA DE CONEXIÓN	26
2.3.4.	RESOLUCIÓN DE CONEXIÓN	26
2.3.5.	ASIGNACIÓN DE RESPUESTA DE ACCESO ALEATORIO (RAR)	26
2.4.	PROCESO RAMPA DE POTENCIA	26
2.5.	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO	27
2.5.1.	NÚMERO MEDIO DE TRANSMISIONES DE PREÁMBULOS	27
2.5.2.	PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO	27
2.5.3.	TIEMPO DE RETARDO EN EL ACCESO	28
2.6.	COMUNICACIONES MASIVAS DE TIPO MÁQUINA	28
2.7.	INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	28
CAPÍTULO III		31
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.1.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2.	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	31
3.2.1.	MÉTODO ANALÍTICO	31
3.2.2.	MODELO DE SIMULACIÓN	31
3.3.	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	32
3.3.1.	OBSERVACIÓN	32
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.4.1.	POBLACIÓN	32
3.4.2.	MUESTRA	32
3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	34
CAPITULO IV		35
4.1.	RESULTADOS	35

4.1.1. ESCENARIO BASE	35
4.1.2. ESCENARIO 2	36
4.1.3. ESCENARIO 3	40
4.1.4. ESCENARIO 4	47
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
4.2.1. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio.	71
4.2.1.1. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar (escenario sin la aplicación del PRP).	71
4.2.1.2. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual (escenario en el que se aplicó el PRP)	72
4.2.2. TEST U DE MANN-WHITNEY PARA LA MUESTRA DE LA PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO DEL ESCENARIO ESTANDAR Y ACTUAL.	73
CAPITULO V	76
5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1.1. CONCLUSIONES	76
5.1.2. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA:	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestra las características que presentan las diferentes generaciones de comunicaciones móviles. _____	24
Tabla 2: Formato de preámbulo _____	33
Tabla 3: Operacionalización de las variables _____	34
Tabla 4: Datos obtenidos del modelo estándar de canal de acceso aleatorio, sin la aplicación del PRP. _____	65
Tabla 5: Datos obtenidos del modelo de canal de acceso aleatorio en el cual ya se ha aplicado el PRP. _____	67
Tabla 6: Definición de las variables obtenidas tras realizar la simulación y que están mostradas en la tabla 4 y 5. _____	68
Tabla 7: Datos tomados de la tabla 4 y 5, mismos que servirán para realizar el análisis estadístico. _____	70
Tabla 8: Test de Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio obtenidos del modelo estándar. _____	71
Tabla 9: Test de Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio obtenidos del modelo actual _____	72
Tabla 10: Test U DE MANN-WHITNEY para la muestra obtenida en la variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual. _____	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muestra de manera gráfica los servicios que ofrecen las diferentes generaciones de comunicaciones.	22
Figura 2: Procedimiento de acceso aleatorio basado en contención.	25
Figura 3: Colisión entre preámbulos dentro del canal de acceso aleatorio.	27
Figura 4: Evolución del IoT	30
Figura 5: Aplicaciones que ofrece el internet de las cosas	30
Figura 6: Curva resultante entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE)	35
Figura 7: Curva resultante entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE).	36
Figura 8: Curvas resultantes entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -90 dB.	37
Figura 9: Curvas resultantes entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -90 dB.	38
Figura 10: Curvas resultantes entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -120 dB.	39
Figura 11: Curvas resultantes entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -120 dB.	40
Figura 12: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.	41
Figura 13: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.	42
Figura 14: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.	43

- Figura 15:** Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 44
- Figura 16:** Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 45
- Figura 17:** Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 46
- Figura 18:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 48
- Figura 19:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 49
- Figura 20:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 50
- Figura 21:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 51
- Figura 22:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 53
- Figura 23:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. _____ 54
- Figura 24:** Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____ 56
- Figura 25:** Curvas resultantes entre PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____ 57

Figura 26: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____	59
Figura 27: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____	60
Figura 28: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____	62
Figura 29: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. _____	63
Figura 30: Diagrama de caja para la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual. _____	74
Figura 31: Histograma de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y el escenario actual _____	75

RESUMEN

Con el pasar del tiempo el desarrollo de las comunicaciones M2M ha ido avanzando a gran escala, permitiendo que diferentes dispositivos se comuniquen entre sí. Una característica importante de las comunicaciones móviles de cuarta generación es la posibilidad de realizar una comunicación masiva entre usuarios (UE) y la estación base utilizando el canal de acceso aleatorio (PRACH) lo que provoca que al intentar la comunicación entre los dispositivos y la estación base estos colisionen provocando un retardo en la comunicación. El proceso rampa de potencia es un método que es utilizado para potenciar la rampa generada cuando un usuario colisiona, provocando que se produzca una mayor probabilidad de acceso satisfactorio.

El presente trabajo de investigación se enfoca en la evaluación del proceso rampa de potencia utilizando diferentes valores de potencia inicial, tomando como valor estándar un delta de potencia de 0 dB, cada resultado es evaluado para diferentes valores de tráfico masivo. Para el desarrollo de este trabajo se realizó una simulación del canal de acceso aleatorio basado en contención utilizando el software de simulación MATLAB en el cual se tomaron a consideración los parámetros necesarios para las comunicaciones móviles de cuarta generación (4G). Considerando los resultados obtenidos se determinó el valor del paso de rampa de potencia más efectivo para incrementar la probabilidad de acceso satisfactorio.

Palabras claves: Canal de acceso aleatorio, rampa de potencia, comunicaciones M2M, comunicaciones móviles, comunicaciones de cuarta generación.

ABSTRACT

Over time, the development of M2M communications has progressed on a large scale, allowing different devices to communicate with each other. An important feature of fourth generation mobile communications is the possibility of mass communication between users (UE) and the base station using the random-access channel (PRACH), which means that when attempting communication between devices and the base station, these devices collide, causing a delay in communication. The power ramp process is a method that is used to boost the ramp generated when a user collides, causing a higher probability of successful access.

This research work focuses on the evaluation of the power ramp process using different values of initial power, taking as a standard value a power delta of 0 dB, each result is evaluated for different values of mass traffic. For the development of this work, a simulation of the random-access channel based on contention was carried out using MATLAB simulation software in which the necessary parameters for fourth generation (4G) mobile communications were taken into consideration. Considering the results obtained, the most effective power ramp step value to increase the probability of successful access was determined.

Keywords: Random access channel, power ramp, M2M communications, mobile communications, fourth generation communications.



virman suscitoficasseta por:
JENNY ALEXANDRA
FREIRE RIVERA

Reviewed by:
Lic. Jenny Freire Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0604235036

CAPÍTULO I

1.1.INTRODUCCIÓN

En los últimos años la tecnología de telefonía móvil ha ido avanzando a gran escala, permitiendo que se realicen transmisiones de datos a grandes velocidades, utilizando pocos recursos de la red [1]. El proceso por el cual se realiza la comunicación entre los dispositivos ha provocado que en el pasar del tiempo se busque mayor confiabilidad, calidad de servicio (QoS) [2] y mejora de los servicios brindados [1].

El proceso de comunicaciones máquina a máquina (M2M) [3] es aquel que trabaja en conjunto con cualquier tecnología que permita que los dispositivos conectados en una misma red puedan comunicarse entre ellos, sin la necesidad de la interacción humana, además posee un área de cobertura extensa para realizar la transmisión de datos; por otra parte el proceso rampa de potencia (PRP) provoca que un dispositivo que haya realizado varias retransmisiones tenga mayores probabilidades de éxito, provocando así que disminuyan las probabilidades de que la comunicación fallé [4].

El internet de las cosas (IoT) es el pilar principal para la transformación y la mejora de las redes móviles, donde el uso de IoT dependerá de las aplicaciones en las que se lo desee emplear, por otra parte las comunicaciones masivas IoT son impulsadas por la escala en lugar de la velocidad, logrando así que esta tecnología permita la transmisión, pero con el mínimo consumo de recursos de los dispositivos [5].

Se estima un gran incremento en la tecnología de las comunicaciones automatizadas entre diferentes dispositivos, por lo que, el uso del IoT masivo presenta grandes ventajas en las comunicaciones debido a que es escalable, seguro, su costo es bajo y está enfocado a dispositivos o aplicaciones de baja latencia, lo que genera aplicaciones como por ejemplo: automóviles conectados, casas inteligentes, ciudades inteligentes entre otros [6].

La carga de tráfico telefónico hace referencia al tiempo en el que un usuario está tratando de comunicarse con otro, además esta carga de tráfico es generada por el usuario [7], por otro lado las comunicaciones móviles de cuarta generación (4G) [8] son capaces de utilizar los recursos que ofrece la red, para brindar servicios de cualquier clase y en cualquier momento, buscando ocupar el mínimo coste. Un sistema 4G está generado a base de una colección de protocolos y tecnologías que sirven para brindar el mayor rendimiento y procesamiento de la red, además de garantizar la QoS y permitir que el

usuario pueda ejecutar cualquier servicio de comunicación [9], por lo que se busca incorporar esta tecnología para el uso de aplicaciones mIoT tratando de que la carga de tráfico que se genere sea mínima y no afecte a la comunicación entre los dispositivos.

Esta investigación está enfocada en la evaluación del PRP en aplicaciones mIoT, analizando la carga de tráfico que se necesita para la comunicación, asimismo este servicio presenta requerimientos importantes como la probabilidad de acceso satisfactorio, retardo y número máximo de preámbulos [3], por lo que con la implementación del PRP se pretende disminuir el número de colisiones para la comunicación entre los dispositivos.

1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El término preámbulo hace referencia al mensaje inicial que un usuario envía para establecer la conexión con la red [3]. La transmisión de este mensaje puede colisionar, debido a que diferentes dispositivos pueden intentar comunicarse en un mismo periodo, provocando la pérdida de la información enviada por alguno de los dispositivos. El dispositivo que ha intentado la comunicación y ha colisionado tiene que nuevamente repetir el proceso de acceso aleatorio para comunicarse, provocando así que la QoS esperada por la red no sea adecuada. Por otro lado, cuando un dispositivo ha fallado en su transmisión, debe emplear el PRP, que afecta negativamente en el consumo energético de los dispositivos [3] y más en IoT que son dispositivos con capacidad de energía limitada.

Las aplicaciones orientadas a mIoT necesitan grandes recursos de red, debido a que están diseñadas para trabajar con muchos dispositivos simultáneamente. Esto provoca que se generen colisiones entre los preámbulos si varios usuarios tratan de realizar la comunicación en el mismo momento, por lo que el PRP permite disminuir la probabilidad de colisión entre los preámbulos. El objetivo es analizar el PRP para encontrar la configuración adecuada de los parámetros que lo componen con el fin de incrementar el rendimiento de la red. Utilizaremos como métrica de análisis la probabilidad de acceso satisfactorio y el número medio de transmisión de preámbulos [3].

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar y evaluar el proceso rampa de potencia en sistemas inalámbricos de cuarta generación (4G) con comunicación masiva IoT, para aumentar la probabilidad de acceso satisfactorio.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un modelo de simulación del proceso rampa de potencia orientado a comunicaciones masivas IoT y definir la probabilidad de acceso satisfactorio como métrica de análisis.
- Evaluar el proceso rampa de potencia en función de la carga de tráfico generado por comunicaciones masivas IoT y número medio de transmisión de preámbulos.
- Estudiar el comportamiento del proceso rampa de potencia orientado a comunicaciones inalámbricas de cuarta generación en comparación con el escenario definido en el estándar de comunicaciones para aplicaciones masivas IoT.
- Evaluar el número medio de transmisión de preámbulos orientado a comunicaciones masivas IoT en el escenario modelo de comunicaciones móviles de cuarta generación.

CAPÍTULO II

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. TELEFONÍA MÓVIL

La telefonía móvil es un medio por el cual se pueden transmitir datos de información, sonido, video, entre otros, la telefonía móvil utiliza como protocolo de transmisión de datos el WAP (Wireless Application Protocol), dicho protocolo permite al usuario diferentes características, como son: la posibilidad de navegar por internet, transmitir datos mediante IP [17].

En la actualidad el número de personas que usan teléfonos móviles es cada vez más mayor, por lo que es necesario que se empleen nuevas mejoras en los servicios de telefonía móvil, debido al incremento en la carga de tráfico y para cumplir con las diferentes demandas que tiene el uso de la telefonía celular [16].

Por otro lado, los sistemas de telefonía móvil celular se caracterizan por que el área de recubrimiento está dividida en celdas, las cuales permiten que el usuario permanezca conectado en cualquier momento, debido a que dependen de las estaciones que se encuentren dentro del área en la cual se encuentran los usuarios, por lo que si un usuario cambia de ubicación se va a enlazar con otra estación base permitiendo que de esa manera el usuario permanezca conectado el mayor tiempo posible [16].

La telefonía móvil ha ido avanzando por generaciones como son:

2.1.1.1.COMUNICACIONES MÓVILES DE PRIMERA GENERACIÓN (1G)

Las comunicaciones móviles de primera generación dieron su aparición en 1979, las cuales eran análogas y tenían como característica principal el poder transmitir solo voz, pero presentaba varios inconvenientes como son: los enlaces generados eran de muy baja calidad debido a que solo se transmitían a una velocidad de 2400 bauds, además, el enlace no presentaba ningún nivel de seguridad por lo que los datos transmitidos podían perderse o cualquier otro usuario podía acceder a ellos [16].

2.1.1.2.COMUNICACIONES MÓVILES DE SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

Este tipo de comunicaciones móviles dio su origen en 1990, su principal diferencia con respecto a las comunicaciones móviles de primera generación es que en este caso ya se

caracteriza por ser digital, misma que permite la utilización de protocolos de comunicación más actuales como el GSM (Global System for Mobile Communications) [16].

Por otro lado, los sistemas de comunicación 2G al utilizar protocolos de comunicación más sofisticados permite que se pueda realizar la comunicación a mayores velocidades por lo que el servicio de transmisión de voz será de mayor calidad, pero la misma presenta una desventaja la cual es que el envío de datos va a ser limitado, debido a que solo se puede transmitir información a 9.6 kbps, además, otra ventaja con respecto a las comunicaciones móviles de primera generación es que en este caso ya se cuenta con un nivel de seguridad, lo que permite que los datos de voz o información se encripten y solo puedan ser leídos y escuchados por el remitente oficial [16].

2.1.1.3.LA GENERACIÓN DE COMUNICACIONES MÓVILES 2.5G.

Esta generación de comunicaciones tuvo su lanzamiento en el año 2000 y presenta características importantes tales como el uso de la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), entre otros, mismas tecnologías que resultan más económicas que las que presentan las redes de comunicaciones de tercera generación [16].

2.1.1.4.COMUNICACIONES MÓVILES DE TERCERA GENERACIÓN (3G)

Las comunicaciones móviles de tercera generación dieron su inicio en el año 2001, a diferencia de las presentadas anteriormente cuentan con varias mejoras en la transmisión de datos, debido a que los sistemas de tercera generación soportan una mayor cantidad de transmisión de los datos, ofreciendo de esa manera que la transmisión de información y voz sea de mayor calidad y sin limitaciones, así como también la posibilidad de conectarse a internet de manera inalámbrica, la velocidad que alcanzan las comunicaciones de tercera generación son de hasta 384 Kbps, lo que permite al usuario una movilidad de hasta 120 km por hora [16].

2.1.1.5.REDES INALÁMBRICAS DE CUARTA GENERACIÓN (4G)

En la actualidad las redes inalámbricas de cuarta generación (4G) han ido evolucionando a gran escala, logrando así convertirse en un estándar utilizado por la mayoría de los operadores móviles, estas redes móviles están basadas completamente en el protocolo IP, ofrece más rapidez para conectarse a internet, posee una velocidad de carga y descarga

de datos de entre 60 y 100 mbps en áreas de alta movilidad y velocidades de 1 gigabit en áreas de poca movilidad. Por otra parte las redes inalámbricas 4G son compatibles con cualquier equipo tecnológico que haya trabajado con redes inalámbricas de segunda generación o superior [10].

2.1.1.6.COMUNICACIONES MÓVILES DE QUINTA GENERACIÓN (5G)

Las comunicaciones móviles de quinta generación dieron su inicio en el año 2015 pero no fue hasta el año 2020 que fueron implementadas en algunos países del mundo, la capa física de la tecnología inalámbrica 5G indica que es una tecnología de tipo OWA (Open Wireless Architecture), permite trabajar a una velocidad de 1 a 10 Gbps, con una frecuencia de operación que va desde los 3 hasta los 300 Ghz, las principales características que presenta esta tecnología son: evaluar el rendimiento de un sistema en tiempo real, presenta baja latencia y retardo por lo que ese obtiene una respuesta rápida. Este tipo de tecnología ofrece un servicio denominado infraestructura virtualizada, la cual permite que se tenga un sistema de costes escalable y bajo [17].

Por otro lado el internet de las cosas (IoT) y las comunicaciones maquina a máquina (M2M) tienen como objetivo tratar de comunicar la mayor cantidad de dispositivos posibles, por lo que se recomienda el uso de la tecnología 5G debido a que es la que ofrece mayores prestaciones para este tipo de uso [17].

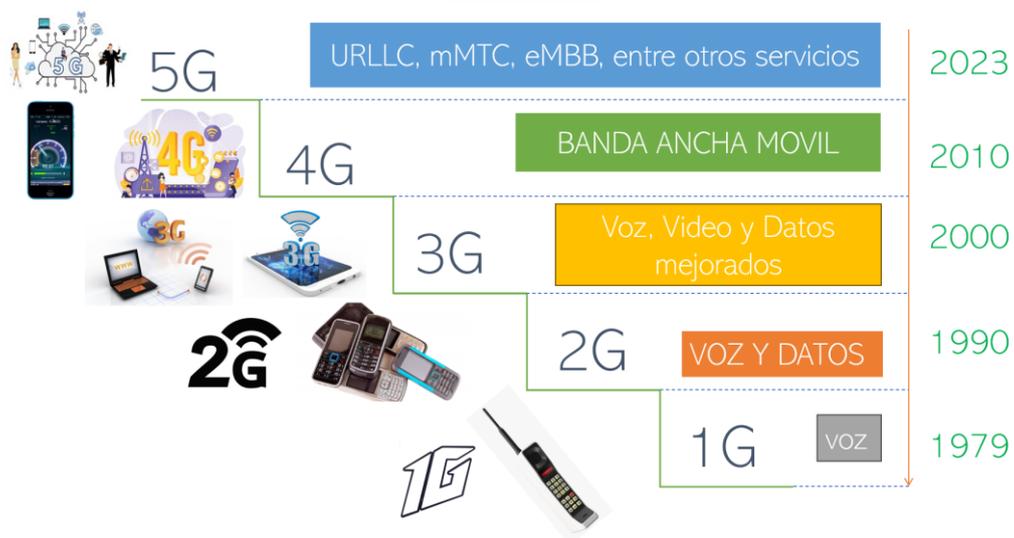


Figura 1: Muestra de manera gráfica los servicios que ofrecen las diferentes generaciones de comunicaciones.

Fuente: Autor

GENERACIÓN	AÑO DE LANZAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Primera Generación	1979	Los sistemas eran análogos y solo se podía transmitir voz.
Segunda Generación	1990	Los sistemas pasaron de análogos a digitales y permitían transmitir voz con una mayor calidad y transmitir información pero de manera limitada.
Generación 2.5G	2000	Permitía el uso de la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), entre otros.
Tercera Generación	2001	Permitía la transmisión de voz y datos con una mayor calidad, además permitía navegar por internet de manera inalámbrica y revolucionó el mundo de las aplicaciones móviles.
Cuarta Generación	2010	Los datos se transmiten a grandes velocidades, ofrece servicios como almacenamiento de datos en la nube, televisión 3D, servicios de streaming, acceso a información dinámica, entre otros.
Quinta Generación	2020	Permite que los usuarios estén conectados en cualquier lugar y momento, se puede utilizar para obtener datos meteorológicos

		en tiempo real, aplicaciones como las que permiten las comunicaciones 4G pero a mayor velocidad y calidad.
--	--	--

Tabla 1: Muestra las características que presentan las diferentes generaciones de comunicaciones móviles.

Fuente: Autor

2.2.CANAL DE ACCESO ALEATORIO

El canal de acceso aleatorio (RACH) [11] es el encargado de establecer la conexión entre el dispositivo móvil (UE) con la estación base (eNB) sin la necesidad de realizar una programación previa, mismo que es utilizado para la transmisión de mensajes cortos así como también el envío de solicitudes para acceder al sistema [11].

2.3.ACCESO ALEATORIO BASADO EN CONTENCIÓN

Este proceso de acceso aleatorio es utilizado cuando dos o más estaciones móviles intenten la comunicación, provocando así una contención entre los preámbulos. Por otra parte este proceso de acceso aleatorio puede aplicarse a diferentes eventos los cuales son: [12]

- Lograr de manera exitosa el acceso inicial desde un estado desconectado.
- Proceso de acceso aleatorio que requiere entrega.
- Precautelar que el enlace descendente y ascendente siga en funcionamiento después que se haya perdido la sincronización.
- Lograr que los datos de enlace ascendente lleguen a su destino utilizando los canales que se encuentren disponibles.

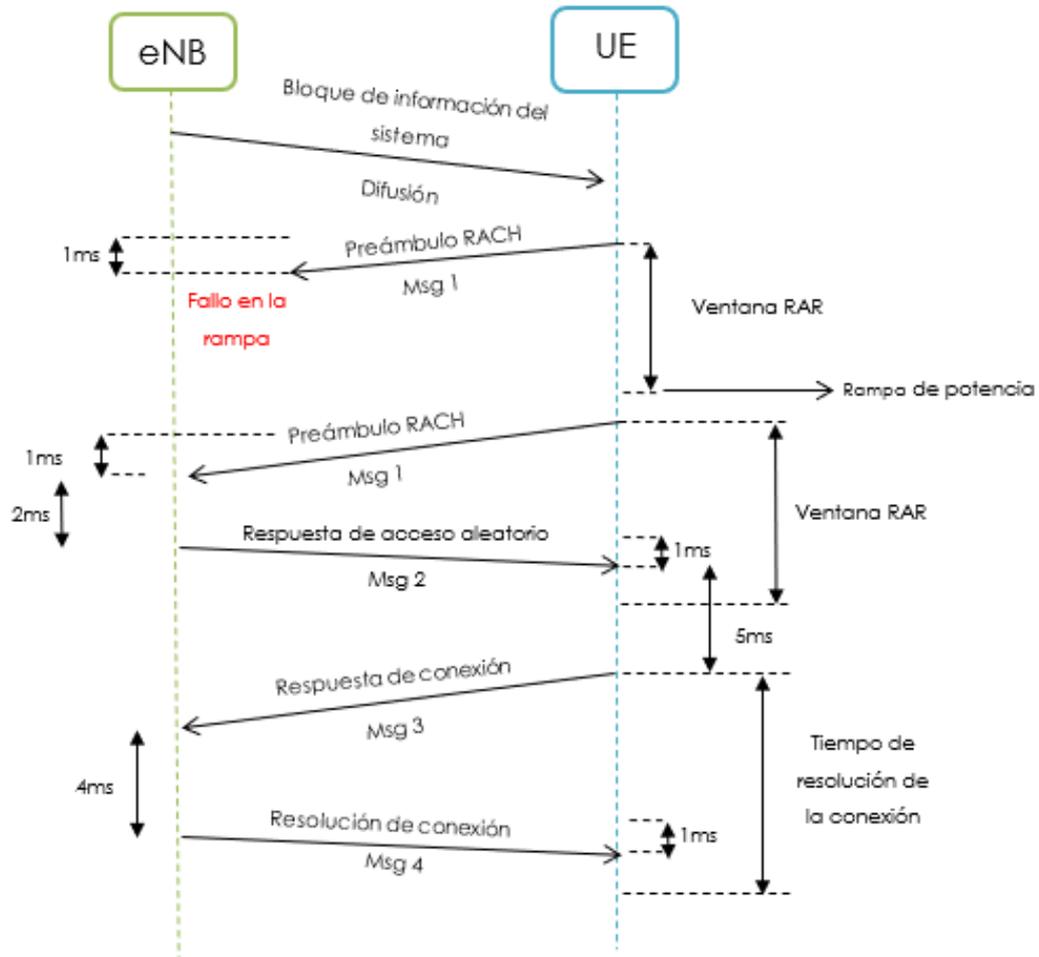


Figura 2: Procedimiento de acceso aleatorio basado en contención.

Fuente: Autor

2.3.1. PREÁMBULO DE ACCESO ALEATORIO

Para que se envíe un preámbulo de acceso aleatorio la estación base se encarga de seleccionar de manera aleatoria una secuencia de preámbulo desde el conjunto de secuencias que se encuentren disponibles en la celda [12] y utiliza dicha secuencia para realizar la transmisión. Además el UE es el encargado de determinar la potencia con la que se va a transmitir el preámbulo, para lo cual realiza una estimación de la pérdida por trayectoria producida por el enlace descendente, por otra parte el UE también se encarga de supervisar el número de intentos “m” de transmisión del preámbulo y como punto final el preámbulo es enviado con el formato que se seleccione [11].

2.3.2. RESPUESTA DE ACCESO ALEATORIO

En este punto la estación base se encarga de detectar el preámbulo que se va a transmitir así como también el tiempo de transmisión del enlace de subida de la eNB, por lo que se encarga de enviar una respuesta de acceso aleatorio, generando que se produzca una transmisión de enlace ascendente. Ahora bien si dentro de la ventana de tiempo configurada no se obtienen ninguna respuesta, entonces, el UE se encarga de aumentar el número de intentos de transmisión del preámbulo “m” y por ello vuelve al paso 1, pero solo si no se ha alcanzado el número máximo de intentos [11].

2.3.3. RESPUESTA DE CONEXIÓN

En este punto no se permite la identificación del UE por lo que se puede provocar que varios UE intenten la comunicación con la misma secuencia de preámbulo utilizando el mismo canal de acceso aleatorio, esto debido a que el preámbulo es seleccionado de manera aleatoria. Además los UE comparten su identidad con la eNB con la primera transmisión ascendente [11].

2.3.4. RESOLUCIÓN DE CONEXIÓN

Una vez que varios UE han enviado un preámbulo la eNB se encarga de seleccionar el preámbulo de un UE y lo responde, una vez que el UE recibe la respuesta de la eNB entonces llega a la conclusión que el acceso aleatorio resulto exitoso y de esta manera el UE procede a realizar la sincronización con la eNB [11].

2.3.5. ASIGNACIÓN DE RESPUESTA DE ACCESO ALEATORIO (RAR)

La ventana RAR es la encargada de brindar al UE la información de recursos de tiempo y frecuencia [13].

2.4.PROCESO RAMPA DE POTENCIA

En las comunicaciones inalámbricas se trabaja con el canal de acceso aleatorio (RACH), mismo que es el encargado de realizar la comunicación entre el usuario y la estación base, para ello la estación base emite un bloque de información del sistema hacia el usuario y el usuario es el encargado de responder dicho mensaje a la estación base para de esa manera completar exitosamente la comunicación, pero la cantidad de usuarios que intenten la comunicación en ese mismo instante puede ser grande por lo que puede producirse una colisión entre los preámbulos emitidos por los usuarios provocando así

que el acceso satisfactorio sea deficiente, por lo que si se produce una colisión entonces el usuario nuevamente debe intentar la comunicación esperando así que la comunicación se realice con éxito [3].

Por otra parte el PRP es el encargado de aumentar la potencia de retransmisión de los preámbulos que han colisionado, logrando así que el tiempo de espera del usuario será reducido y que la probabilidad de acceso satisfactorio aumente, brindando así una mayor calidad de servicio al usuario [3].

En la siguiente figura se muestra cómo se produce la colisión entre los preámbulos, lo que provoca que se genere un falló en la rampa, lo cual puede ser solucionado con la utilización del PRP.

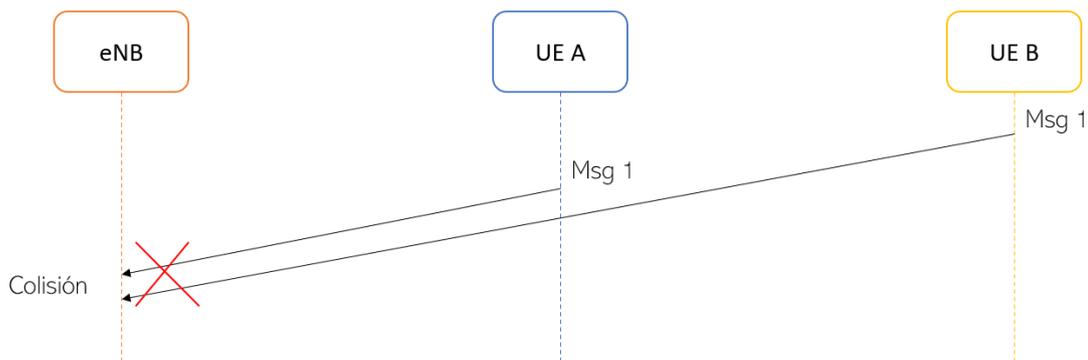


Figura 3: Colisión entre preámbulos dentro del canal de acceso aleatorio.

Fuente: Autor

2.5. PARÁMETROS DE RENDIMIENTO

2.5.1. NÚMERO MEDIO DE TRANSMISIONES DE PREÁMBULOS

El número medio de transmisión de preámbulos viene definido por la variable “K” y representa la cantidad de transmisiones que un UE hace uso de un preámbulo, hasta que la comunicación se realice de manera exitosa después de su primer intento fallido [14].

2.5.2. PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO

La probabilidad de acceso satisfactorio viene definida por la variable “Ps” y representa la relación que existe entre los dispositivos que logran comunicarse de manera exitosa con la eNB basado en contención [14].

2.5.3. TIEMPO DE RETARDO EN EL ACCESO

El tiempo de retardo en el acceso viene definido por la variable “D” y representa el tiempo que ha transcurrido entre el primer intento de comunicación y la finalización de manera satisfactoria de la suma de todos los retardos que se han generado en sus distintas etapas [14].

2.6.COMUNICACIONES MASIVAS DE TIPO MÁQUINA

En la actualidad se busca establecer comunicación entre grandes cantidades de dispositivos, lo cual se define como comunicaciones masivas de tipo maquina (mMTC) [13], misma que tiene como objetivo establecer miles de conexiones de dispositivos de tipo maquina utilizados para el internet de las cosas, debido a que este tipo de comunicación incluye una latencia de 1 ms, posee una gran disponibilidad, seguridad y confiabilidad, además permite establecer la comunicación con el menor uso de datos durante periodos de duración largos. Por otra parte las comunicaciones masivas dan paso a nuevos temas de investigación relacionado con la industria, medio ambiente y el internet de las cosas [15]. Además las comunicaciones masivas de tipo maquina son muy importantes para realizar diferentes aplicaciones de tipo inteligente, como innovar en el campo de la seguridad pública, dentro del internet de las cosas IoT, dentro del campo de la medicina, entre otras aplicaciones.

Por otro lado este tipo de comunicaciones a diferencia de las comunicaciones de tipo humano (HTC) presentan diferentes características únicas para realizar la comunicación, como son: el tráfico de enlace ascendente mismo que está dominado por paquetes cortos y divididos en preámbulos y datos, también ofrece la capacidad de un acceso no coordinado mismo que toma como referencia un tipo de transmisión de datos sin concesión.

2.7.INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

El internet de las cosas (IoT) dio su inicio en 1999 cuando se intentaba diseñar un sistema en el cual mediante la aplicación de sensores se pueda lograr que un objeto se pueda conectar a internet, por otro lado, el IoT hace referencia a ambientes en los cuales se tenga dispositivos como computadoras, sensores, aparatos de uso diario, entre otros con una conectividad a la red y que tengan la capacidad de interactuar en conjunto con el usuario. En la actualidad se busca que cualquier aparato electrónico o de uso diario trabaje en

conjunto con el usuario y que pueda ir actualizando sus funciones hasta que se pueda desempeñar de forma automática sin la necesidad de la interacción humana [19].

El uso del IoT permite realizar diversas funciones muy importantes como el almacenamiento de información en la nube, ofreciendo así una mayor seguridad en la información debido a que el nivel de encriptación de la información es muy alto, es necesario mencionar que este nivel de seguridad es configurable por el usuario permitiendo así brindar el acceso solo a usuarios que tengan permisos [19].

El IoT está avanzando de manera exponencial en el mundo por lo que está afectando en diferentes ámbitos de nuestras vidas como en la economía, salud, entre otros presentados a continuación: [19]

- Marketing
- Finanzas
- Energía
- Agricultura
- Fuerzas de seguridad
- Educación
- Deportes
- En las industrias y manufacturas
- En las cadenas de suministro
- Edificios inteligentes

A lo largo de los años el IoT ha sido un pilar fundamental dentro de la transformación digital y seguirá influyendo en los próximos años.

El IoT afecta de manera considerable al mundo industrial debido a que es utilizado dentro los entornos productivos para la automatización de las maquinas encargadas de la cadena de producción, entre otros departamentos. Esto facilita el trabajo del usuario ya que los datos que se obtienen se almacenan en la nube y pueden ser recibidos en el centro de control por los usuarios para de esta forma analizarlos directamente [19].

Por otro lado, también se presentan nuevos términos como son: “Smart Cities” y “Smart Buildings” mismos que son utilizados para tener un mayor control en el tráfico, control de climatización, sensores y para llevar un control dentro del transporte público [20].

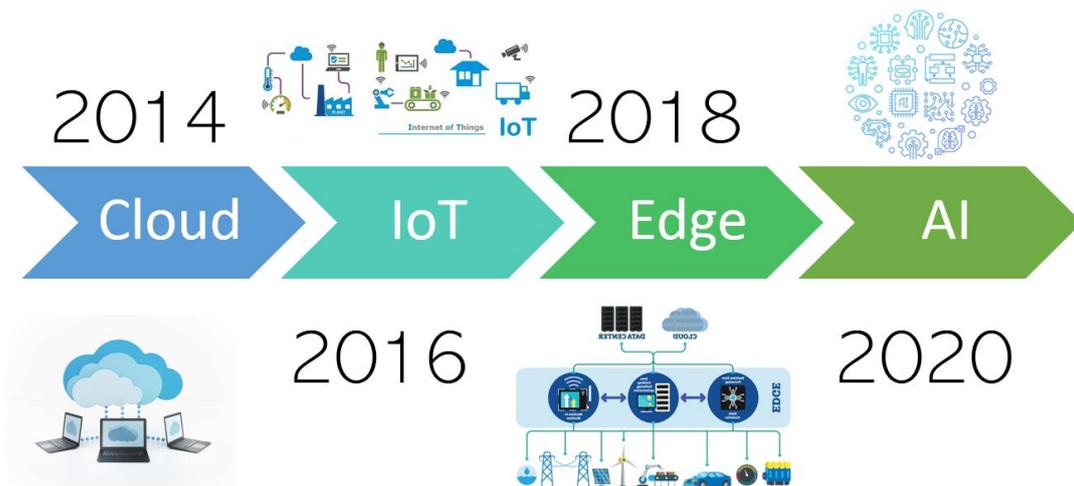


Figura 4: Evolución del IoT

Fuente: Autor

Se espera que en el futuro todos los dispositivos trabajen de manera inteligente, lo que provocara que puedan interactuar directamente con el usuario o sin él.

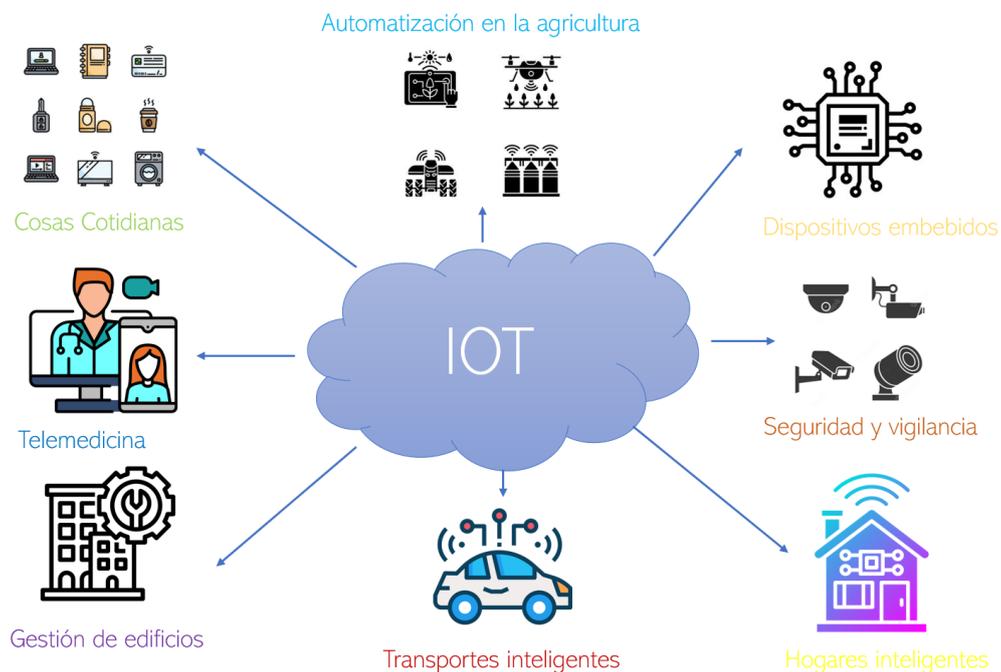


Figura 5: Aplicaciones que ofrece el internet de las cosas

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Este tipo de investigación es de carácter cuantitativo debido a que se busca recoger datos por medio de un modelo de simulación y realizar un análisis de la probabilidad de acceso satisfactorio en comunicaciones masivas IoT haciendo uso del PRP, para de esta manea incrementar la probabilidad de acceso satisfactorio.

3.1.2. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Este estudio se basa en la investigación exploratoria, además en este proyecto se recopila información de estudios científicos sobre el análisis de las comunicaciones masivas IoT y la evaluación del PRP. Por otra parte se emplearán métricas de análisis para comprobar el incremento de acceso satisfactorio y de esta manera brindar una mejor calidad de servicio a los usuarios.

3.2. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. MÉTODO ANALÍTICO

En este trabajo de investigación se va a emplear el método de investigación analítico debido a que permite realizar investigaciones y estudios de carácter descriptivo e innovación, esto ya que cuenta con características que permiten descubrir información muy relevante así como también permite realizar estudios experimentales e ir resolviendo los posibles errores.

3.2.2. MODELO DE SIMULACIÓN

En el presente estudio de investigación el modelo de simulación tiene como misión aplicar la ecuación que hace referencia al proceso a estudiarse, así como también las variables que interactúan en dicho proceso. Se concretará dentro de un modelo de simulación el PRP para de esta manera incrementar la probabilidad de acceso satisfactorio de los usuarios con comunicaciones masivas IoT.

3.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. OBSERVACIÓN

La técnica de recolección de datos óptima para la realización de la presente investigación es la observación ya que dicha técnica metodológica permite evaluar los parámetros necesarios de manera experimental y de esta forma observar el fenómeno que se produce al momento de manipular los diferentes parámetros.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Según el modelo de tráfico del canal de acceso satisfactorio el número de UE que intentan la comunicación va desde 1 a 10000 mismos que se encuentran distribuidos en el tiempo con parámetros para los tiempos de llegada, por lo cual la población para este proyecto de investigación está definida como las mediciones de probabilidad de acceso satisfactorio, definida como el número de usuarios que accedieron satisfactoriamente a la red de comunicación, con respecto al número de usuarios que ingresaron al sistema (total de usuarios que intentaron acceder utilizando el canal de acceso aleatorio)

3.4.2. MUESTRA

La muestra es aleatoria y consiste en todos los dispositivos que consiguieron acceder satisfactoriamente a la red, de los cuales se obtiene mediciones sobre los parámetros necesarios para la evaluación del rendimiento de la red. Además se estudiará la probabilidad de acceso satisfactorio y el número medio de transmisión de preámbulos.

Para encontrar el valor de la potencia del preámbulo se hace uso de la ecuación 1:

$$\text{Potencia_Del_Preámbulo} = \text{Potencia_de_recepción_inicial_del_preámbulo} + \text{Delta_del_preámbulo} + (\text{Contador_De_transmision_Del_Preámbulo} - 1) \cdot \text{Paso_de_Rampa_De_Potencia} \quad (1)$$

Donde:

El valor de la variable “**potencia_de_recepción_inicial_del_preámbulo**” puede ser: {-120, -118, -116, -114, -112, -110, -108, -106, -104, -102, -100, -98, -96, -94, -92, -90} [dBm], los cuales representan el rango de potencia que se necesita para la comunicación en 4G.

Delta_del_preámbulo: Depende del formato de preámbulo utilizado según la tabla siguiente:

Formato del preámbulo	Valor de Delta_del_preámbulo
0	0 dB
1	0 dB
2	-3 dB
3	-3 dB
4	8 dB

Tabla 2: Formato de preámbulo

Fuente: Autor

En la tabla 2 se muestran los valores que puede tomar la variable delta del preámbulo, los cuales representan un cambio incremental en la potencia que va a tener la señal cuando se realice la transmisión, lo que permite que el receptor se ajuste adecuadamente para poder recibir la información correctamente. En este proyecto de investigación se tomará el formato de preámbulo 1 que tiene un valor delta de 0 dB. Debido a que en estas condiciones se evaluara de mejor manera si la probabilidad de acceso satisfactorio tiene algún cambio al implementarse el PRP.

Contador_De_transmision_Del_Preámbulo: viene a ser el número de transmisiones de preámbulo por parte del UE.

Los valores que se le pueden asignar a la variable “**Paso_Rampa_De_Potencia**” pueden ser: {0, 2, 4, 6} [dB], esta variable representa a un cambio controlado en la potencia durante un determinado periodo de tiempo, es el cambio gradual de la potencia, desde un nivel bajo a un nivel alto.

Tras un intento fallido entonces:

Contador_De_transmision_Del_Preámbulo:

Contador_De_transmision_Del_Preámbulo + 1

Tras un intento fallido el usuario deberá nuevamente intentar la comunicación por lo que el contador de preámbulos aumentará 1 en cada retrasmisión.

El usuario tiene que aumentar la potencia del preámbulo para que se realice la retransmisión.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables	Concepto	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Independiente Carga de tráfico	Cantidad de UE que van a intentar la comunicación por el mismo canal de acceso aleatorio a la vez.	Número de UE	Análisis mediante un modelo de simulación que permita visualizar la carga de tráfico, el número máximo de transmisiones de los preámbulos para determinar la probabilidad de acceso satisfactorio.
Dependiente Rendimiento del sistema	Cantidad de UE que han logrado la comunicación de manera exitosa, con tiempos de retardo y el número de transmisiones realizadas.	<ul style="list-style-type: none"> - K: Número promedio de transmisiones de preámbulos. - Ps: Probabilidad de acceso satisfactorio. 	

Tabla 3: Operacionalización de las variables

Fuente: Autor

CAPITULO IV

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ESCENARIO BASE

La figura 6 muestra la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al número de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), con un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos igual a 10. En la cual se puede observar que mientras más usuarios intenten la comunicación tienen menos probabilidad de acceso satisfactorio, por lo que la curva empieza a decrecer a partir de los 10000 usuarios, donde gráficamente se puede estimar que con 5000 usuarios se tiene una probabilidad de acceso satisfactorio del 99%, con 10000 usuarios se tiene una probabilidad del 98%, con 15000 una probabilidad del 95%, con 20000 usuarios se tiene una probabilidad del 68%, con 25000 usuarios se tiene una probabilidad de acceso de 45% y con 30000 usuarios se tiene una probabilidad de acceso satisfactorio del 30%. Cabe mencionar que a partir de los 20000 usuarios la probabilidad de acceso satisfactorio disminuye considerablemente.

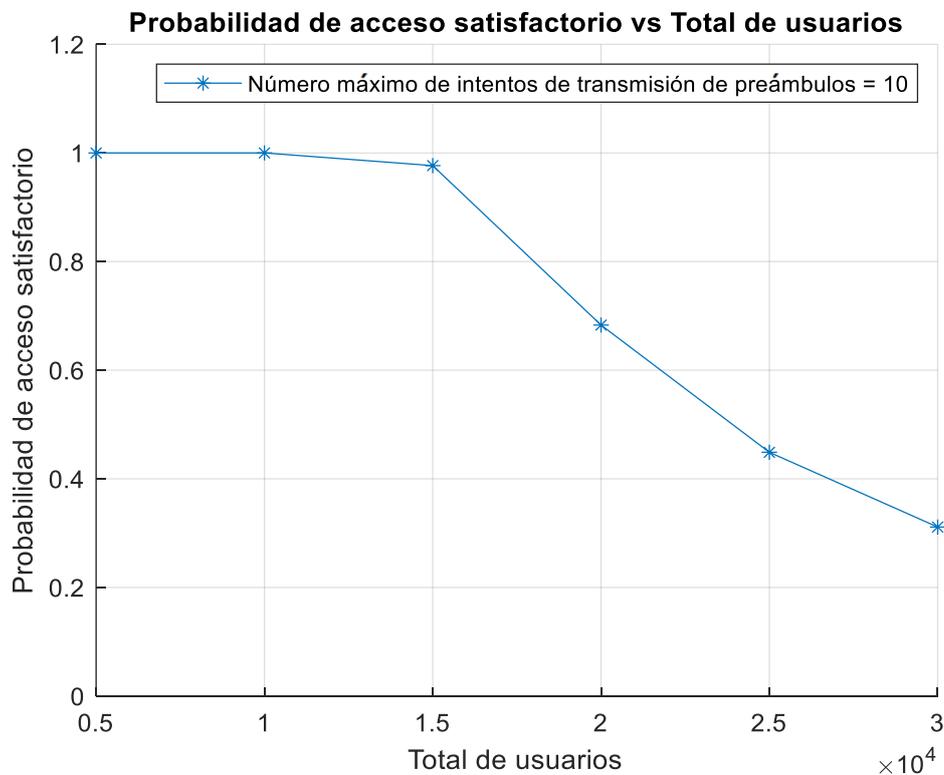


Figura 6: Curva resultante entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE)

La figura 7 muestra el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), con un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos igual a 10. En la cual se puede observar que el número promedio de transmisión de preámbulos varía entre el 1.5 a 3.5 siendo el 3.5 el valor resultante con 30000 usuarios, por lo que se deduce que mientras más usuarios intenten la comunicación se van a provocar más colisiones provocando así más fallos en la rampa de potencia. Por otro lado se debe mencionar que mientras más intentos de transmisión de preámbulos se produzcan el usuario va a tener un retardo mayor para lograr la comunicación de manera satisfactoria.

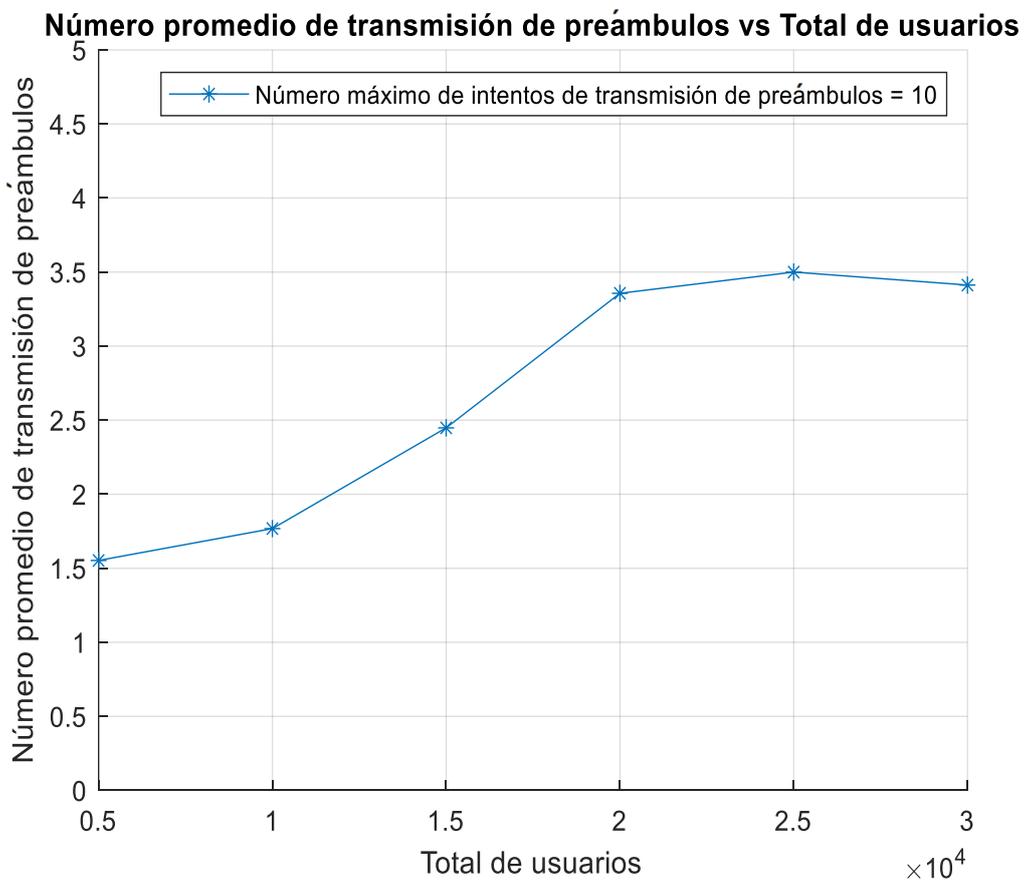


Figura 7: Curva resultante entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE).

4.1.2. ESCENARIO 2

La figura 8 muestra la probabilidad de acceso satisfactorio con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), en la cual se muestran las curvas resultantes con un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, mismas que son

evaluados con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En la cual se pueden observar tres curvas, mismas que hacen referencia a un diferente valor de paso de rampa de potencia, se puede observar que a menor valor de paso de rampa de potencia se tiene una mayor probabilidad de acceso satisfactorio, debido a que con un paso de rampa de potencia de 2 dB se tiene una probabilidad de acceso satisfactorio del 60%, con un paso de rampa de 4 dB se tiene una probabilidad del 50% y con un paso de rampa de 6 dB se tiene una probabilidad de acceso satisfactorio del 35%. Por lo que se puede notar una mayor probabilidad de acceso satisfactorio usando un paso de rampa de potencia de 2 dB, todos estos datos estimados con un número de usuarios igual a 30000.

Por otro lado se puede notar que la probabilidad de acceso satisfactorio mejora con respecto a la probabilidad mostrada en la figura 6, por lo que se puede estimar que el PRP permite un mayor acceso satisfactorio a los usuarios.

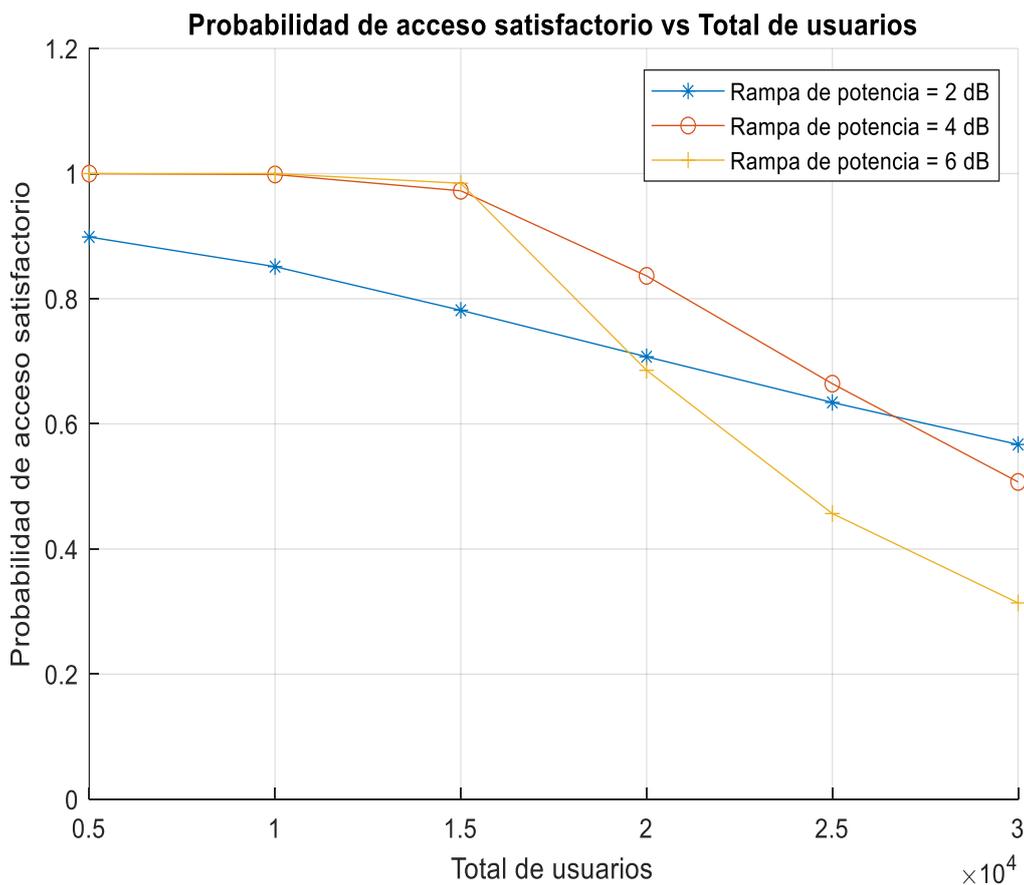


Figura 8: Curvas resultantes entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -90 dB.

La figura 9 muestra el número promedio de transmisión de preámbulos con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), en la cual se muestran las curvas resultantes con un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, mismas que son evaluados con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En la cual se pueden observar tres curvas, las cuales hacen referencia a tres diferentes valores de paso de rampa de potencia, en donde se nota que con un paso de rampa de 2 dB se tiene un menor número medio de intentos de transmisión y con un paso de rampa de 6 dB se tiene un número medio de intentos de transmisión mucho más grande, por lo que se puede deducir que con un valor de paso de rampa de potencia se va a tener una mayor probabilidad de acceso satisfactorio.

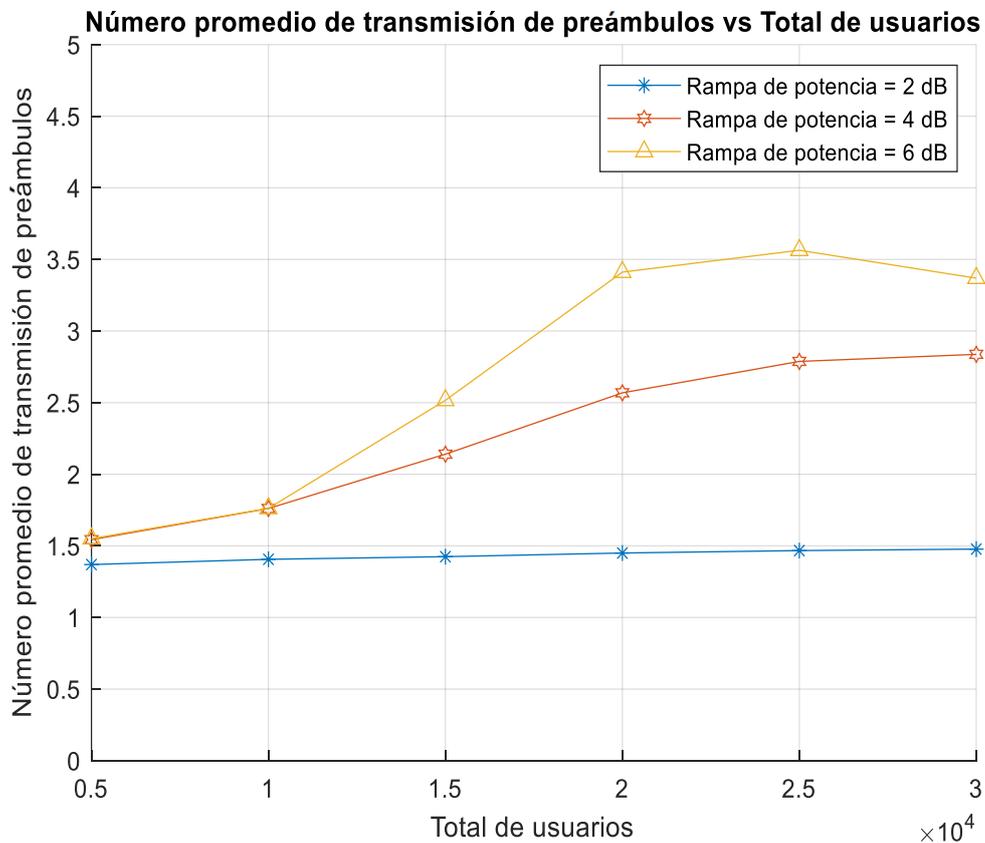


Figura 9: Curvas resultantes entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -90 dB.

La figura 10 muestra la probabilidad de acceso satisfactorio con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), en la cual se muestran las curvas resultantes con un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, mismas que son

evaluados con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. En la cual se pueden observar las diferentes curvas resultantes, mismas que hacen referencia a diferentes valores de paso de rampa de potencia, se puede destacar que a partir de los 10000 usuarios la probabilidad de acceso satisfactorio empieza a decrecer, por otro lado, se puede evidenciar que con un valor menor de paso de rampa de potencia se puede obtener una mayor probabilidad de acceso satisfactorio, como se puede evidenciar en la curva resultante con un valor de 2 dB. Se puede notar que al usar una potencia inicial de transmisión de preámbulo de -120 dB se tiene un mayor acceso satisfactorio que si se usa una potencia inicial de -90 dB como se muestra en la figura 8, estimando así una probabilidad de acceso satisfactorio del 61% con una potencia inicial de -120 dB.

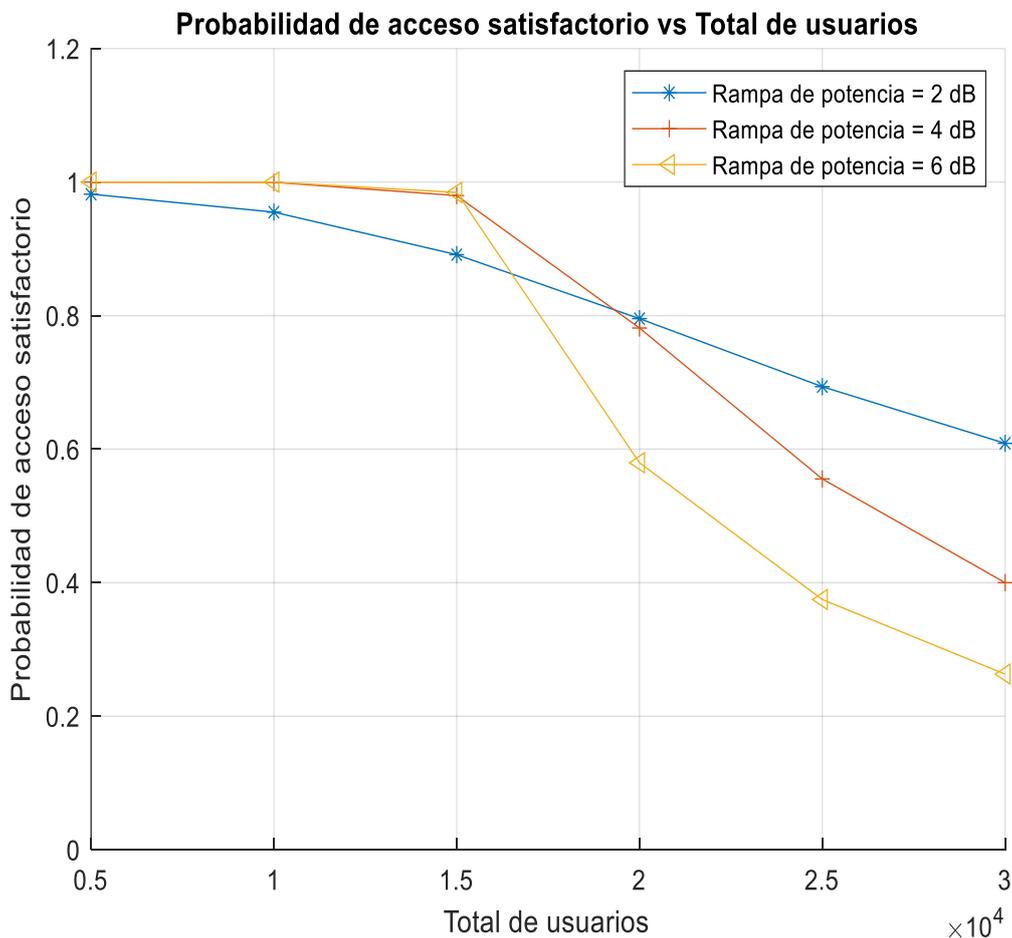


Figura 10: Curvas resultantes entre la probabilidad de acceso satisfactorio con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -120 dB.

La figura 11 muestra el número promedio de transmisión de preámbulos con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), en la cual se muestran las curvas resultantes con un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, mismas que son evaluados con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. En la cual se puede evidenciar que el número medio de transmisión de preámbulos varía desde el 1.5 hasta 3.6, cabe destacar que se puede notar un mayor número de intentos de transmisión de preámbulos utilizando un valor más alto de paso de rampa de potencia, por lo que se nota en la curva de color azul, la cual esta generada con un valor de paso de rampa de potencia de 2 dB que con este valor se necesitan menos intentos de transmisión de preámbulos para realizar la comunicación de manera satisfactoria como se menciona en la figura 9 pero con una potencia inicial de transmisión de preámbulos de -90 dB.

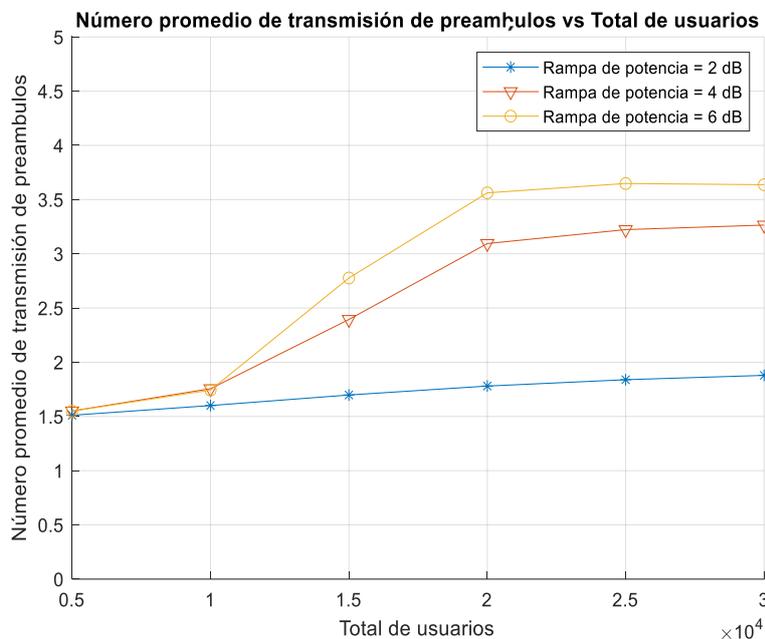


Figura 11: Curvas resultantes entre el número promedio de transmisión de preámbulos con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un paso de rampa de potencia de 2, 4 y 6 dB, con una potencia inicial del preámbulo de -120 dB.

4.1.3. ESCENARIO 3

En la figura 12 se muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una

potencia inicial de preámbulo de -90 dB y un paso de rampa de potencia de 2 dB. se puede notar que la curva resultante tiene un aumento en la potencia a partir de los 1000 usuarios, llegando a tener una potencia de -85 dB cuando el número de usuarios aumenta a 30000, por lo que se estima que con una carga de tráfico mayor, la potencia de recepción debe ser mayor.

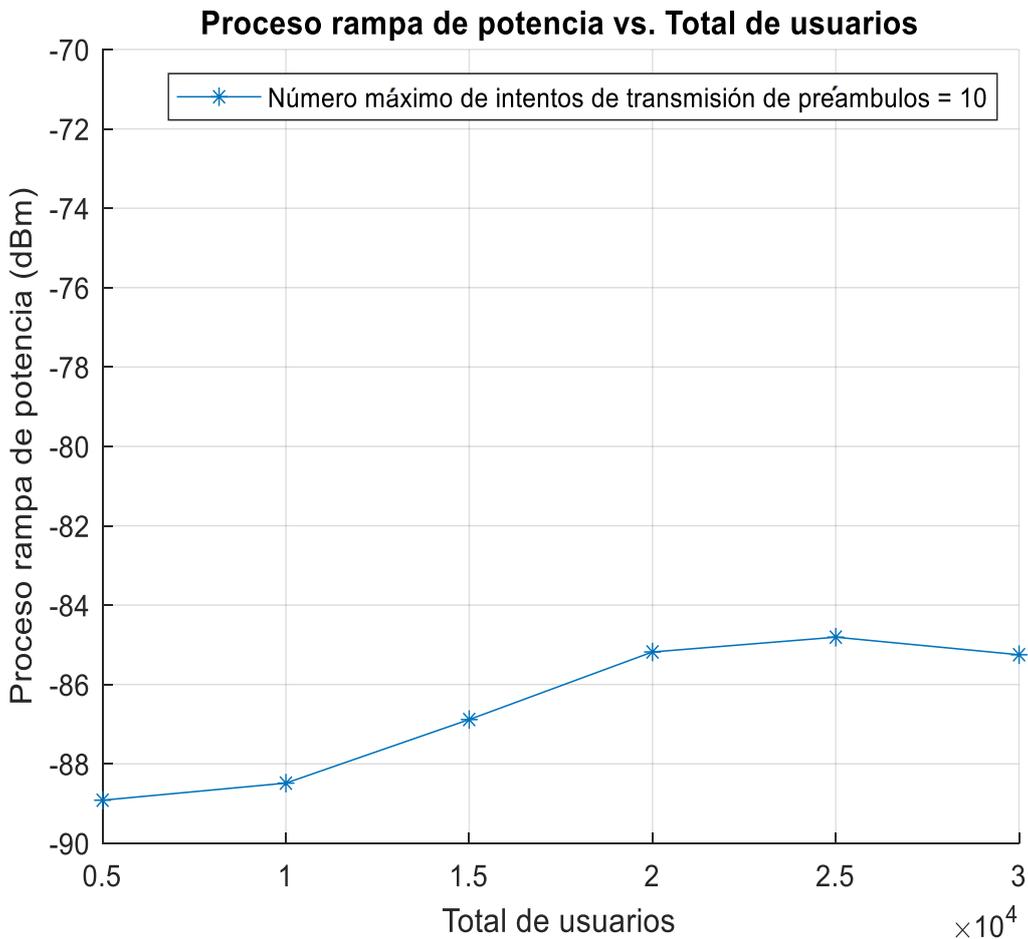


Figura 12: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 12 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB y un paso de rampa de potencia de 4 dB. Se puede notar que el paso de rampa de potencia provoca que aumente la potencia que necesita un grupo de usuarios para intentar la comunicación. En donde se estima que con un número de

usuarios de 5000 la potencia de recepción del preámbulo es de -89 dB, con un valor de usuarios de 10000 la potencia es de -89 dB, con un número de usuarios de 150000 se tiene una potencia de recepción de -87 dB, con 20000 usuarios se tiene una potencia de -85 dB.

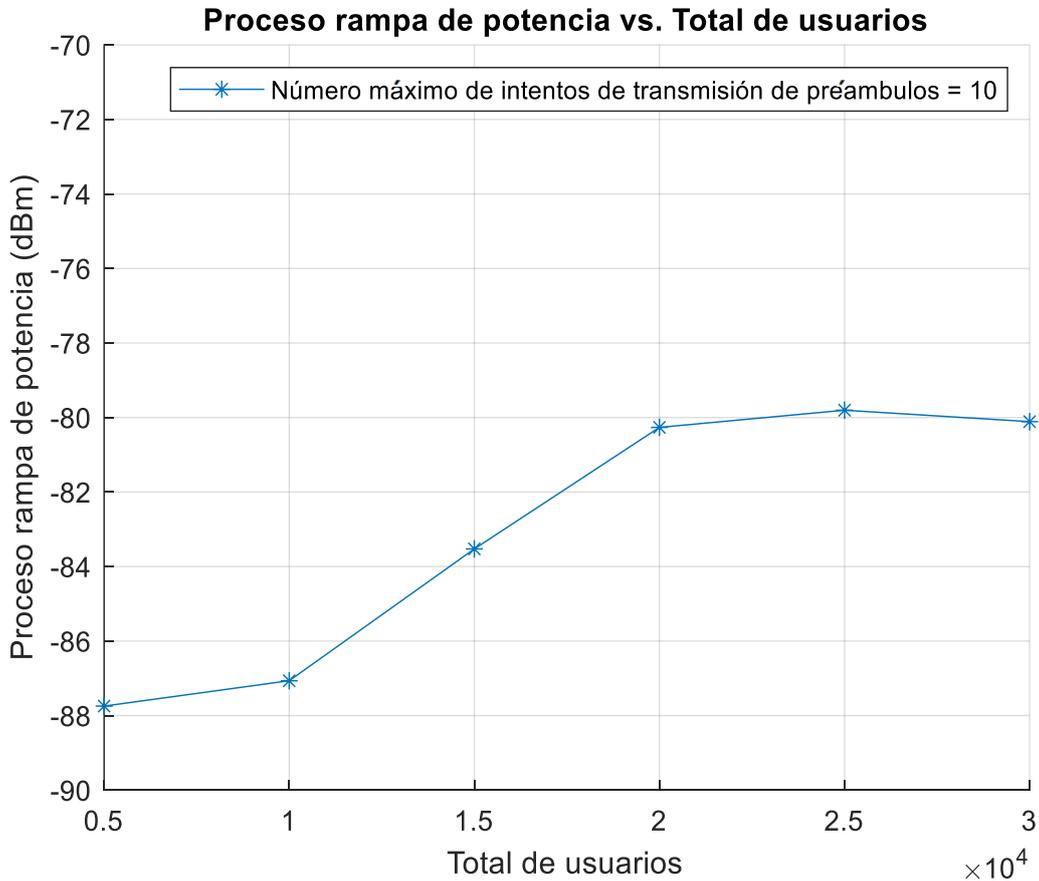


Figura 13: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 13 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB y un paso de rampa de potencia de 6 dB. Como se pudo evidenciar en la figura 12 que con un mayor valor de paso de rampa de potencia y con un número mayor de transmisión de preámbulos la potencia para un grupo de usuarios va a aumentar, que es lo mismo que sucede si se cambia el valor del paso de rampa de potencia

a 4 dB. Por otro lado, se puede observar que la potencia de recepción del preámbulo es mayor desde los 5000 usuarios.

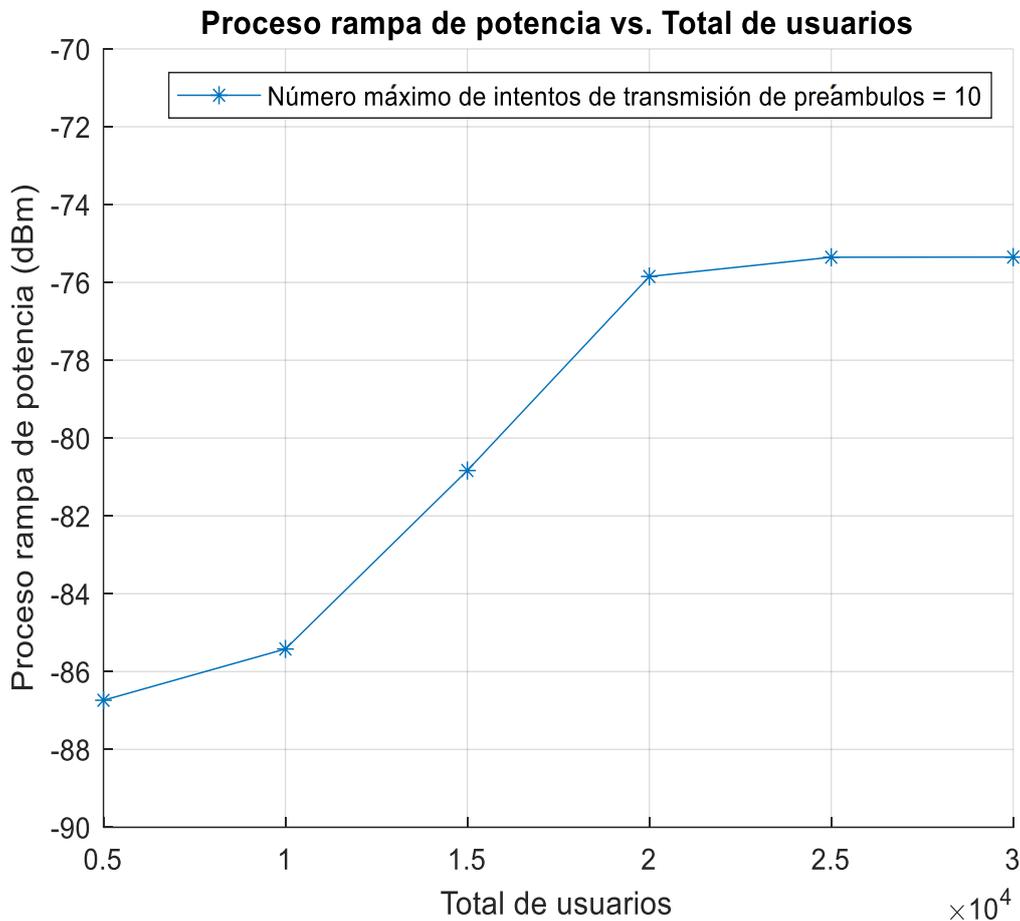


Figura 14: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 14 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB y un paso de rampa de potencia de 2 dB. Como en las figuras anteriores, se puede determinar que la potencia de recepción del preámbulo es mayor a partir de los 5000 usuarios y teniendo un cambio considerable en la curva a partir de los 20000 usuarios que intenten realizar la comunicación de manera satisfactoria.

En este caso como la potencia inicial de transmisión de preámbulo es de -120 dB, la potencia que van a necesitar los diferentes usuarios va a aumentar a un rango de los -115 dB, por lo que se define que a mayor cantidad de usuarios la potencia de recepción del preámbulo va a ser mayor.

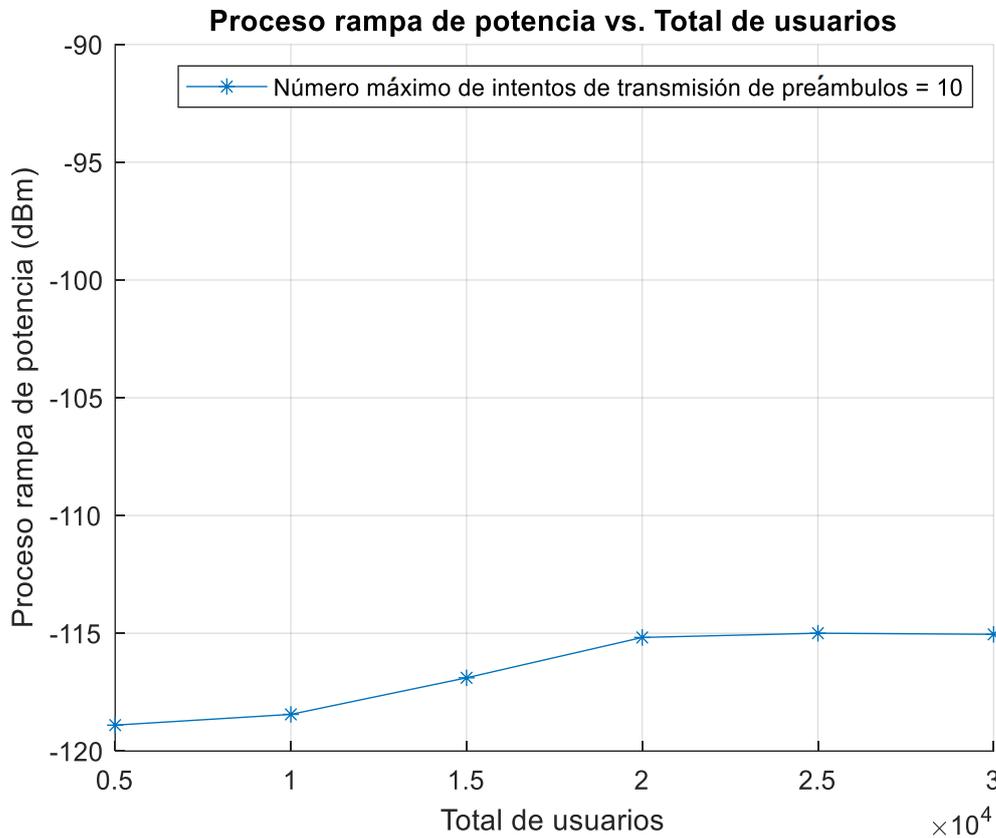


Figura 15: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 15 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB y un paso de rampa de potencia de 2 dB. Como la potencia inicial de transmisión del preámbulo es de -120 dB cuando se llega a 5000 usuarios esta potencia va a aumentar a -119 dB, cuando se tiene 10000 usuarios la potencia llega a los -118 dB, con un número de usuarios de 15000 la potencia de recepción del preámbulo va a aumentar hasta las -116 dB, con 20000 usuarios la potencia va a llegar a los -115 dB, con 25000 y 30000 usuarios la potencia de recepción del preámbulo se mantiene en el

rango de los -115 dB y mientras más potencia se necesite para el acceso satisfactorio, se van a necesitar un mayor valor de transmisión de preámbulos.

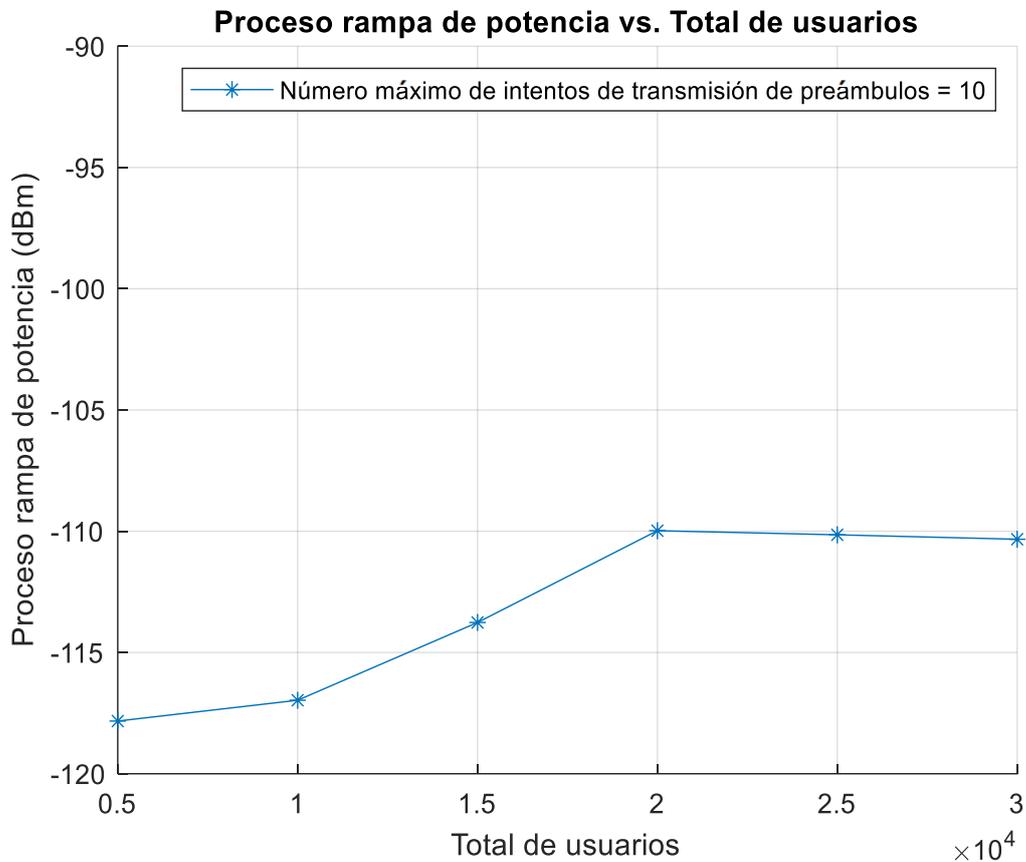


Figura 16: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 16 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB y un paso de rampa de potencia de 4 dB. En este caso como se tiene un valor mayor en el paso de rampa de potencia, la potencia de recepción que se necesita para receptor los preámbulos va a ser mayor, por lo que con 5000 usuarios se alcanza a una potencia de -117 dB, con 10000 usuarios se llega a una potencia de -116 dB, con 15000 usuarios se llega a una potencia de -114 dB, con 20000, 25000 y 30000 usuarios la potencia se mantiene en el rango de los -110 dB, gráficamente se puede notar

que con un valor de 4dB de paso de rampa de potencia, la potencia de recepción va a ser mayor.

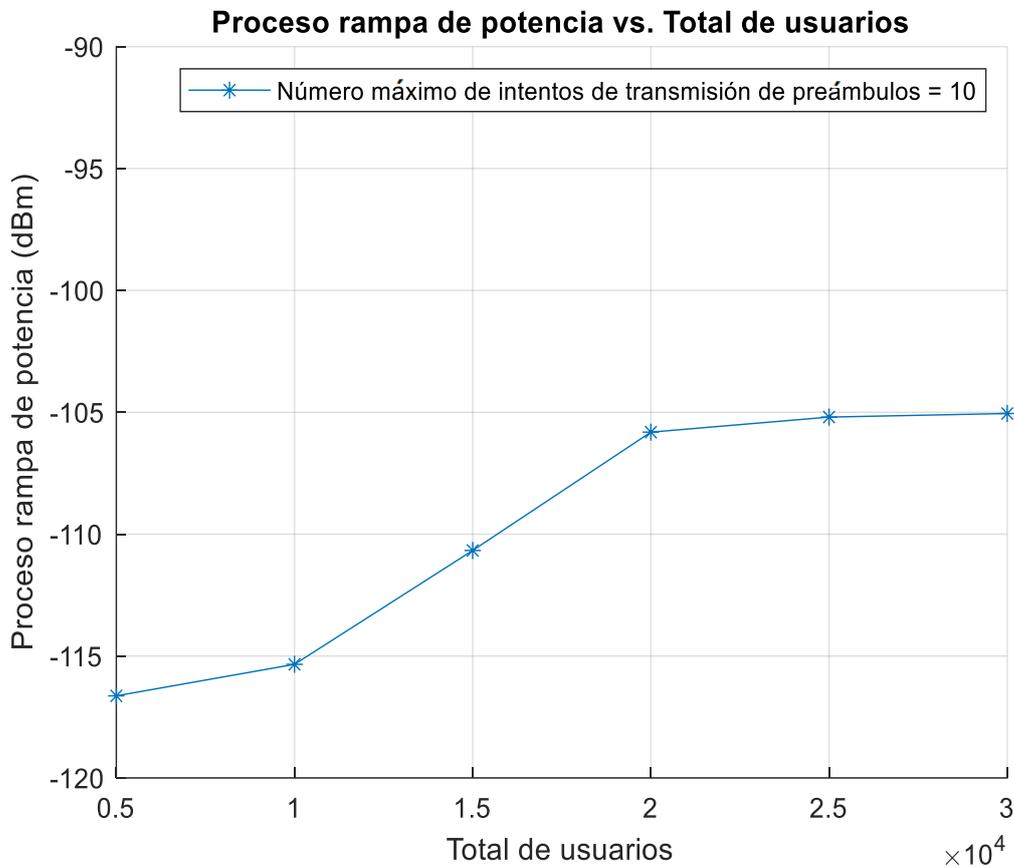


Figura 17: Curva resultante entre el PRP con respecto al total de usuarios, con un número máximo de transmisión de preámbulos de 10, evaluados para 30000 UE, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 17 muestra el PRP con relación al total de usuarios (que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000), mismos que están evaluados para un número máximo de intentos de transmisión de preámbulos de 10 así como también con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB y un paso de rampa de potencia de 6 dB. En este caso como se tiene un valor mayor en el paso de rampa de potencia, la potencia de recepción que se necesita para receptar los preámbulos va a ser mayor, por lo que con 5000 usuarios se alcanza a una potencia de -117 dB, con 10000 usuarios se llega a una potencia de -115 dB, con 15000 usuarios se llega a una potencia de -111 dB, con 20000, 25000 y 30000 usuarios la potencia se mantiene en el rango de los -105 dB, por lo que al igual que en la figura 15 y 16 se determina que mientras mayor sea el valor de paso de rampa de potencia, la potencia de recepción de los preámbulos tiene que ser mayor.

4.1.4. ESCENARIO 4

La figura 18 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 2 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. se puede notar que mientras más intentos de transmisión de preámbulos se realicen la potencia va a ir aumentando, como se puede observar la potencia que se obtiene al realizar 10 intentos de transmisión de preámbulos es de -115 dB.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -119 y 118 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -117 y -118 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -116 y -117 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los -116 y -116.5 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los -116.5 y -116.4 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -116.4 y -116.2 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -116.2 y -116 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -116y -115.5 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -115.5 y -115 dB.

Por otro lado cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -120 y -115 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

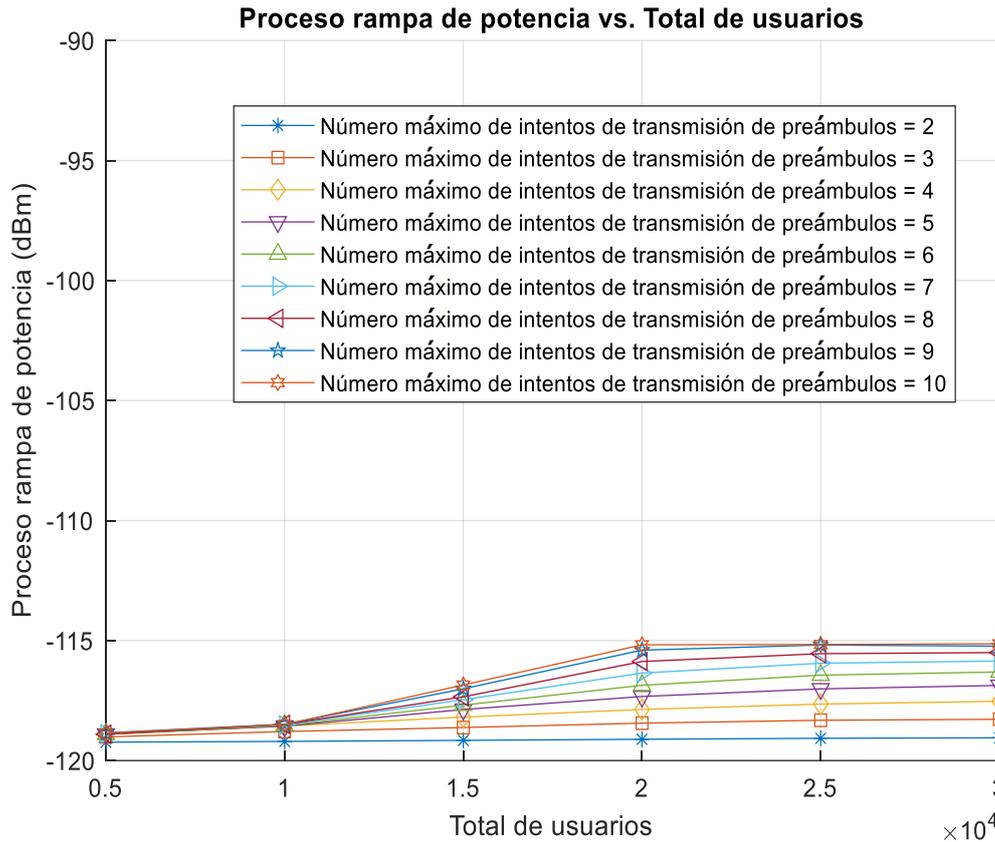


Figura 18: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 19 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 2 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. En donde se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -118 y -119.5 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -119.5 y -119 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre los -119 y -118 dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -118 y -117 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -117 y -116 dB y con una

carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -115 y -116 dB.

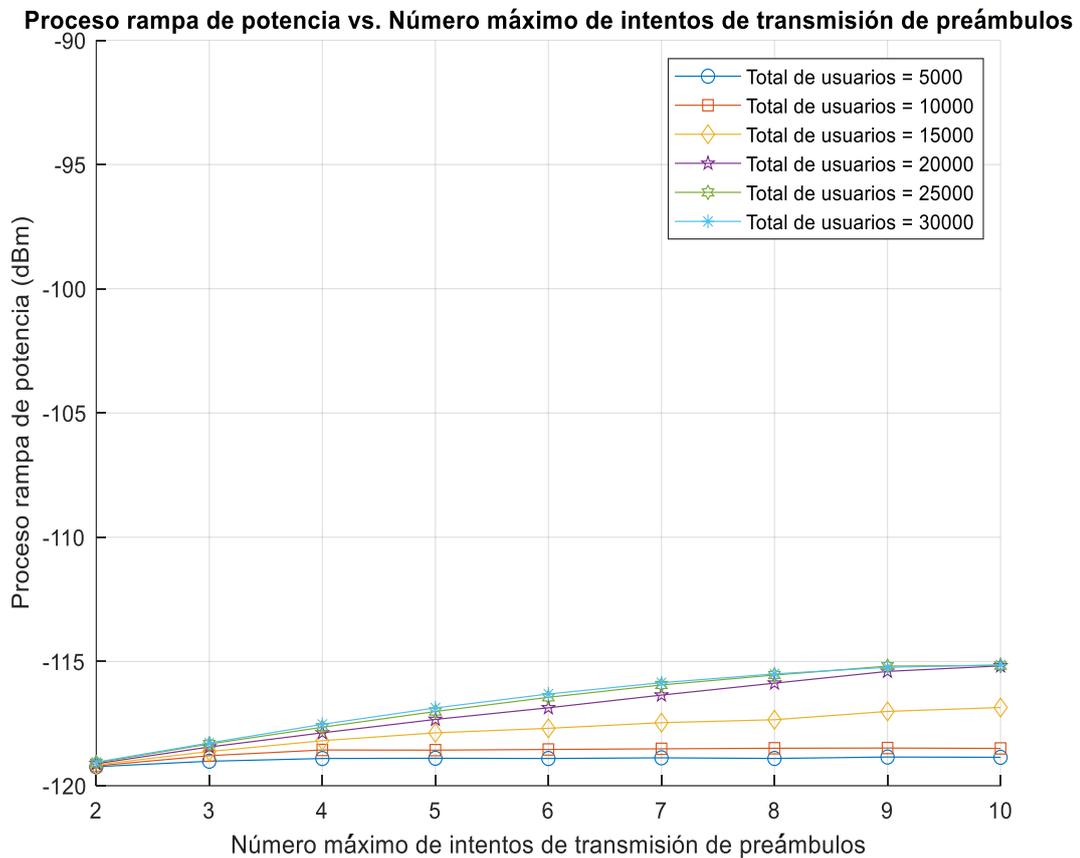


Figura 19: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 20 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 4 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -118 y 117 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -116 y -117 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos

igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -116 y -115 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los -115 y -114 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los -114 y -113 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -113 y -112.5 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -112.5 y -112 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -112.5 y -111 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -111 y -110 dB, cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -110 y -110 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

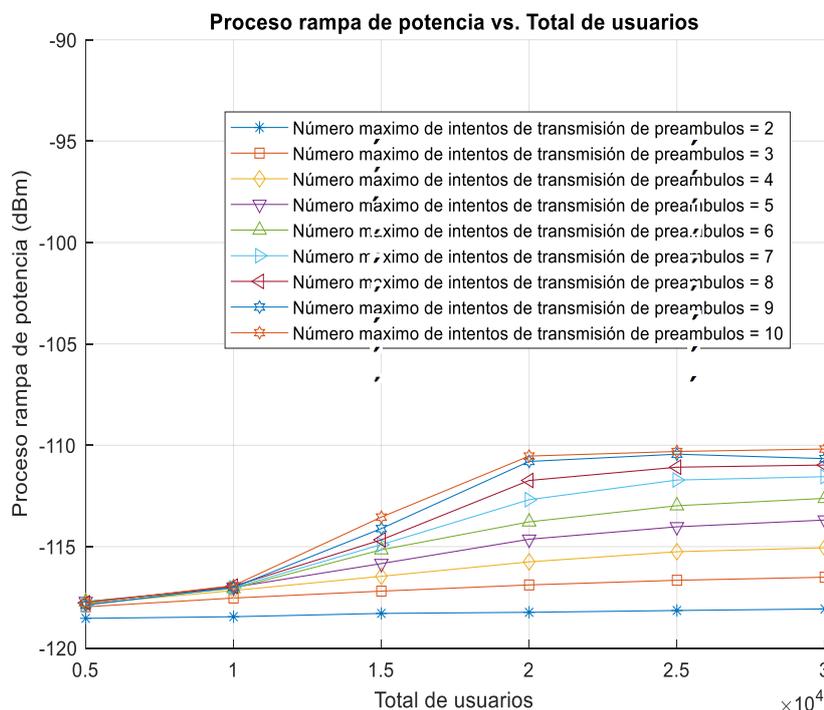


Figura 20: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 21 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 4 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. En donde se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -118 y -117 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -117 y -116 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre los -114dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -112 y -111.5 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -111.5 y -111 dB y con una carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -111 y -110.2 dB.

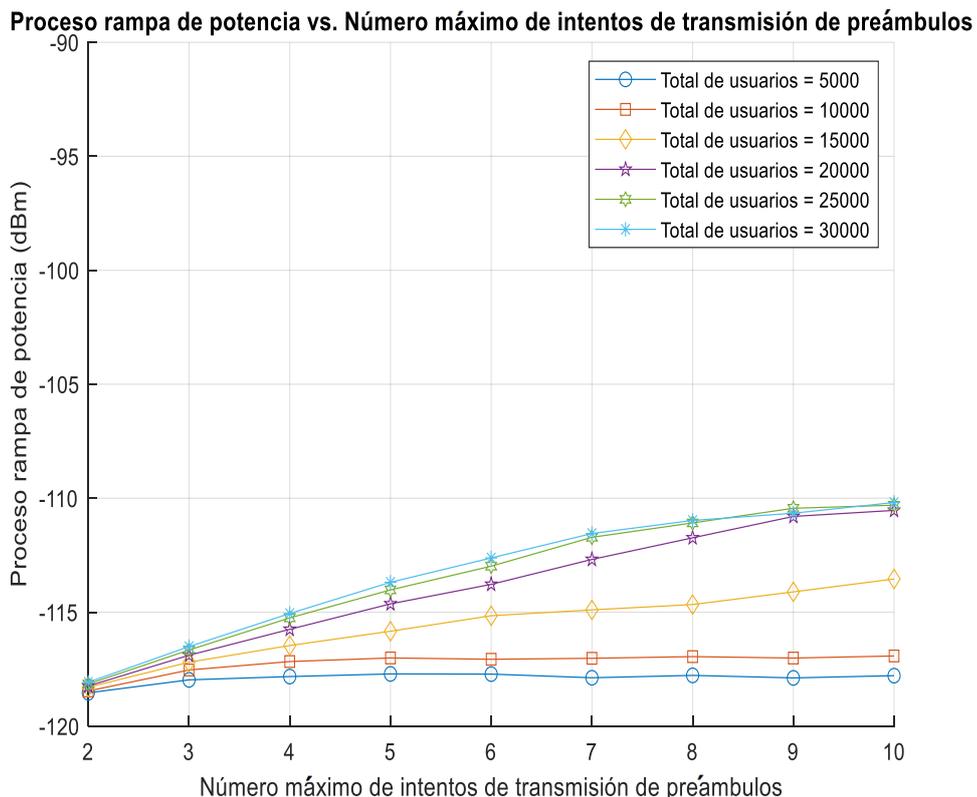


Figura 21: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 22 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 6 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. Se puede notar que mientras más intentos de transmisión de preámbulos se realicen la potencia va a ir aumentando, como se puede observar la potencia que se obtiene al realizar 10 intentos de transmisión de preámbulos es de -106 dB.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -118 y -117 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -115 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -113 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los -111 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los -109 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -108 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -107 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -106 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -105 dB.

Por otro lado cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -120 y -105 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

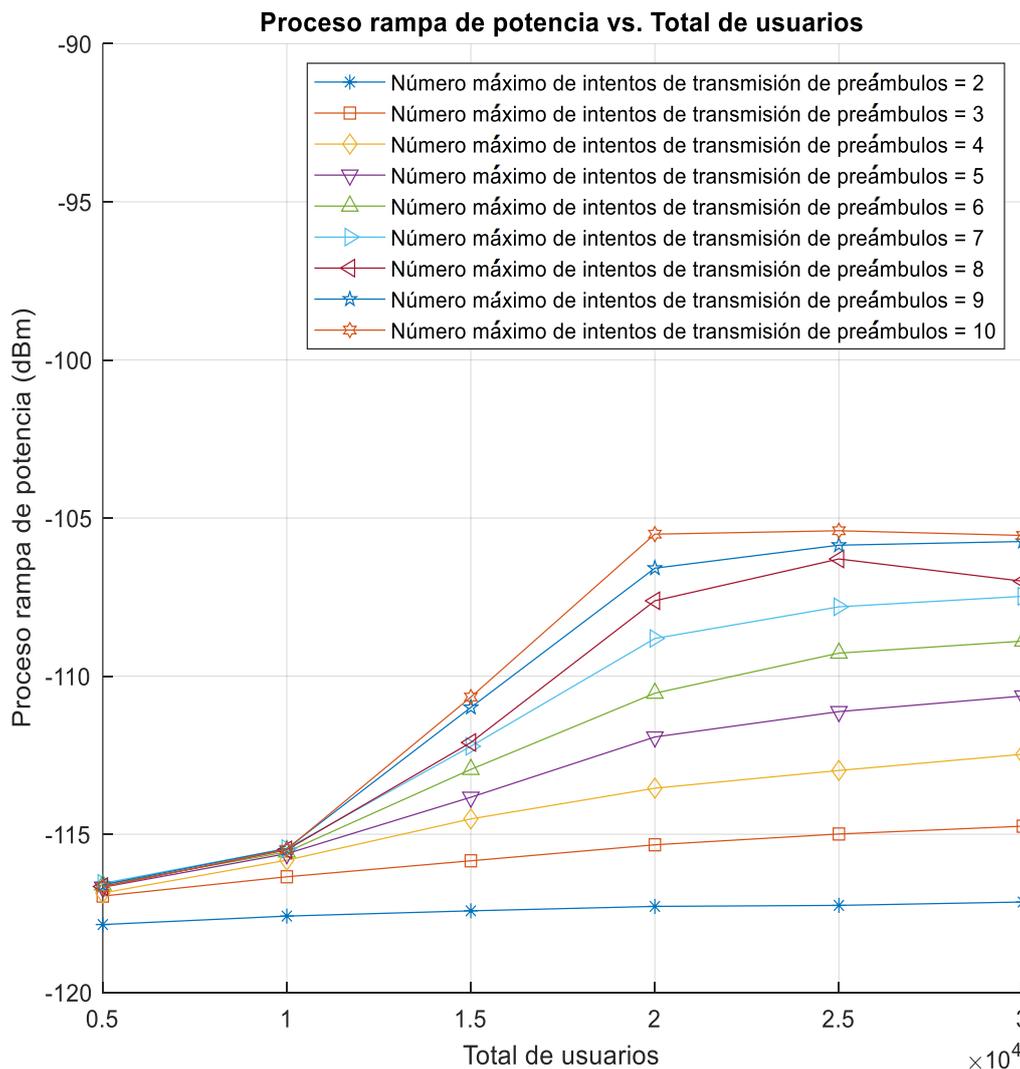


Figura 22: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 23 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 6 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -120 dB. En donde se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -118 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -116 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre

los -111 dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -106 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -105.5 dB y con una carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -105 dB.

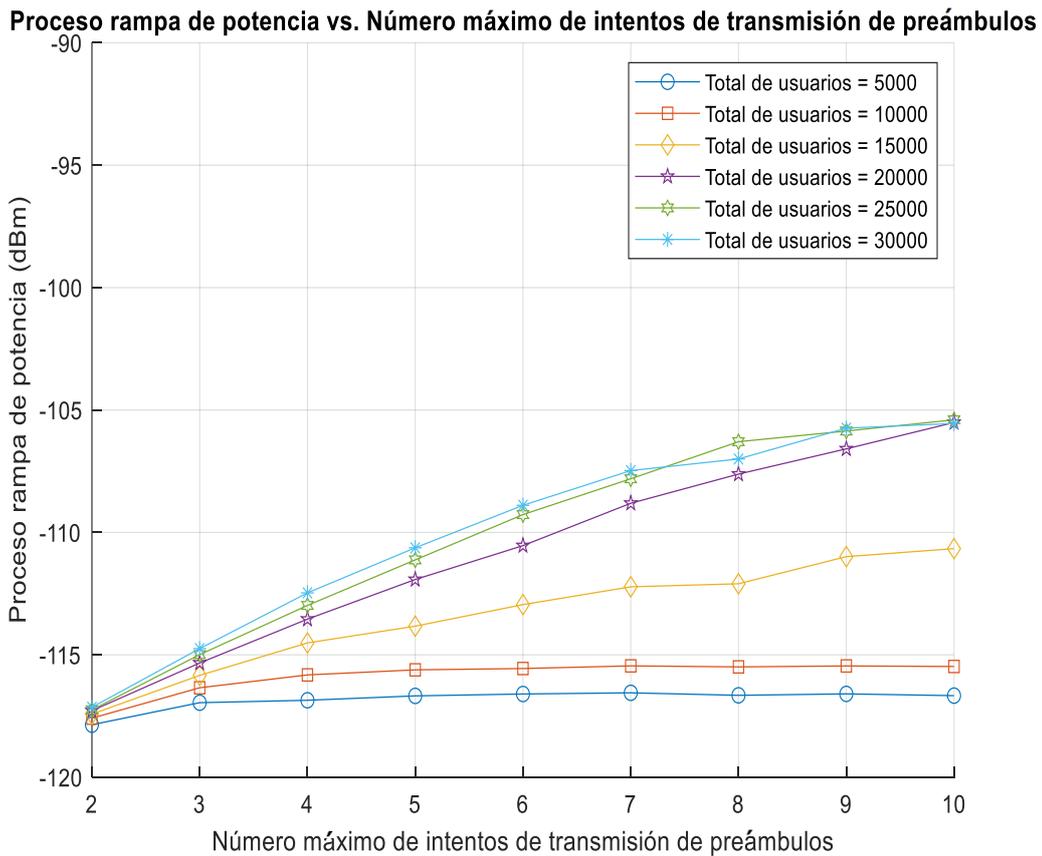


Figura 23: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -120 dB.

La figura 24 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 2 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. Se puede notar que mientras más intentos de transmisión de preámbulos se realicen la potencia va a ir aumentando, como se puede

observar la potencia que se obtiene al realizar 10 intentos de transmisión de preámbulos es de -85 dB.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -89.5 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -88 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -87 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los - 86.5 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los - 86.4 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -85.9 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -85.5 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -85 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -84.9 dB.

Por otro lado cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -90 y -84 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

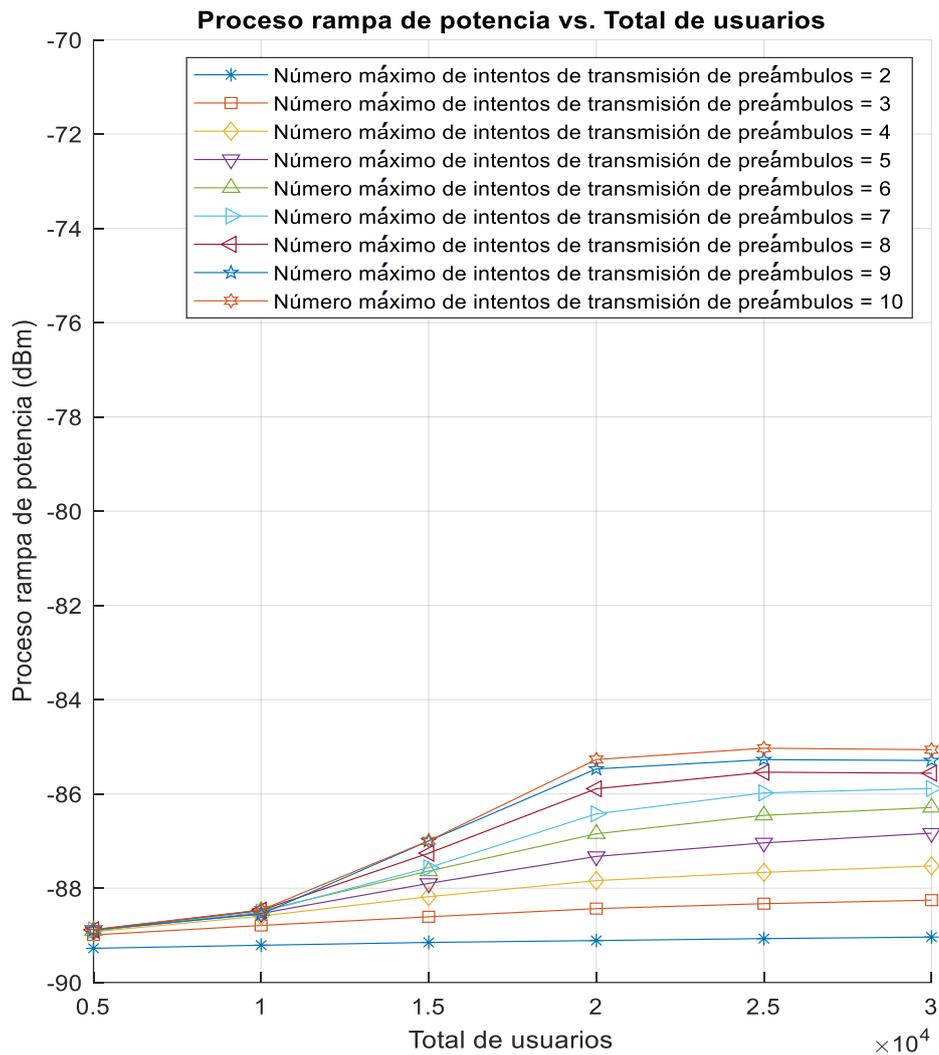


Figura 24: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 25 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 2 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En donde se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -89.5 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -89.1 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre

los -87 dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -85.5 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -85.4 dB y con una carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -85 dB.

Proceso rampa de potencia vs. Número máximo de intentos de transmisión de preámbulos

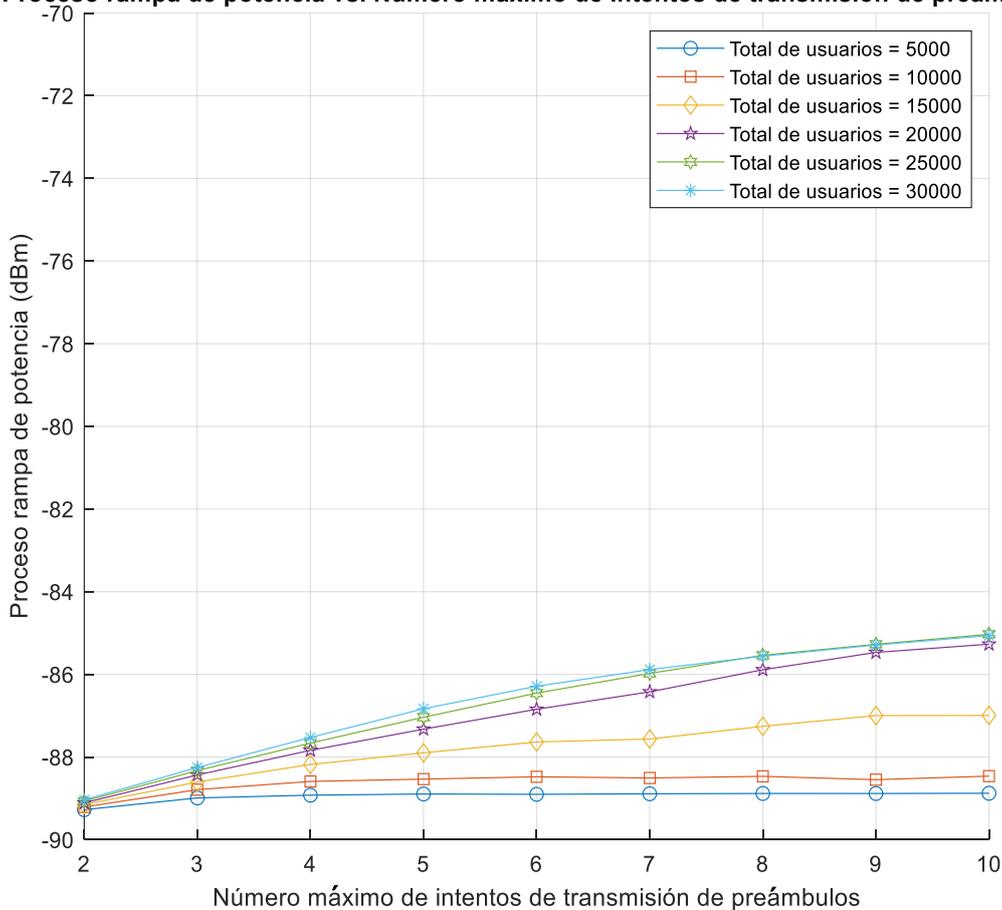


Figura 25: Curvas resultantes entre PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 2 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 26 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 4 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. Se puede notar que mientras más intentos de transmisión de preámbulos se realicen la potencia va a ir aumentando, como se puede

observar la potencia que se obtiene al realizar 10 intentos de transmisión de preámbulos es de -80 dB.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -88.1 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -86.3 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -85 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los - 83.9 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los - 83 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -81.9 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -81 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -80.9 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -80.4 dB.

Por otro lado cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -90 y -80 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

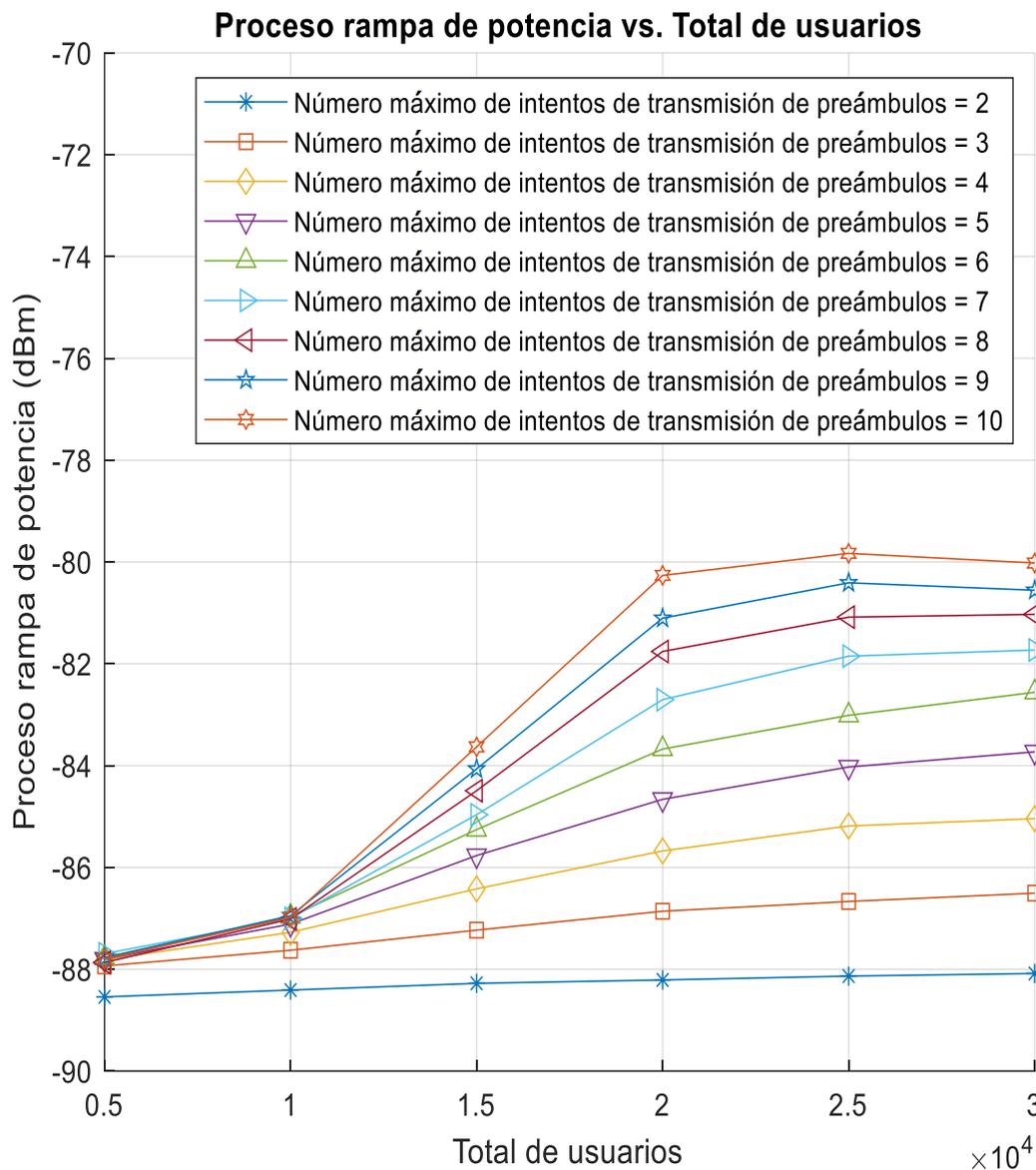


Figura 26: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 27 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 4 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En donde se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -

87.9 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -87 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre los -83.9 dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -80.5 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -80.3 dB y con una carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -80 dB.

Proceso rampa de potencia vs. Número máximo de intentos de transmisión de preámbulos

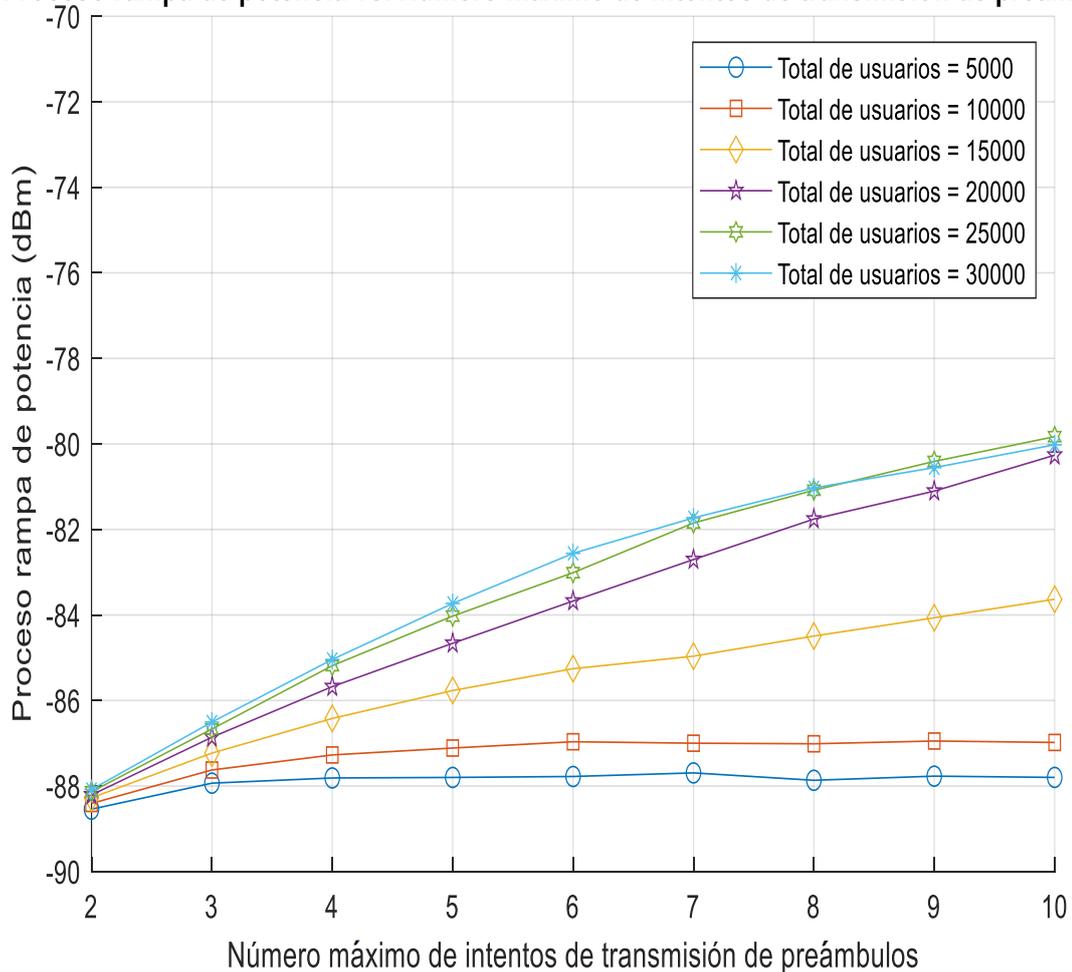


Figura 27: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 4 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 28 muestra el PRP con respecto al total de usuarios que son de 30000 y están tasados en intervalos de 5000, para un número máximo de transmisión de preámbulos de 10 que van evaluados desde 2 hasta 10. Con un paso de rampa de potencia de 6 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En la misma que se pueden notar varias curvas, las cuales hacen referencia a diferentes intentos de transmisión de preámbulos, por otro lado, se puede evidenciar que con un mayor número de intentos de transmisión la potencia del preámbulo empieza a aumentar.

Se puede estimar de manera gráfica la potencia de recepción de preámbulos, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 2 se tiene que la potencia de recepción va a permanecer en el rango de los -87 dB, con número máximo de intentos de transmisión igual a 3 la potencia va a permanecer en el rango de los -84.9 dB, mientras que cuando se tiene un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 4, la potencia de recepción de preámbulos va a rondar el rango de los -82.5 dB, por otro lado, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 5 la potencia de recepción va a rondar en el rango de los - 81 dB. Cuando el valor máximo de transmisión de preámbulos asciende a 6 la potencia de recepción de los mismos va a rondar entre los -79 dB, mientras que, si el número máximo de transmisión de preámbulos es igual a 7, la potencia de recepción de los preámbulos va a permanecer en el rango de los -77 dB, cuando el número máximo de transmisión de preámbulos es de 8 la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -75 dB, con un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 9 se tiene una potencia de recepción que ronda entre los -76 dB y cuando se evalúa para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -75 dB.

Por otro lado cabe mencionar que con cada uno de estos valores de transmisión de preámbulos la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -90 y -75 dB para un máximo número de usuarios igual a 30000.

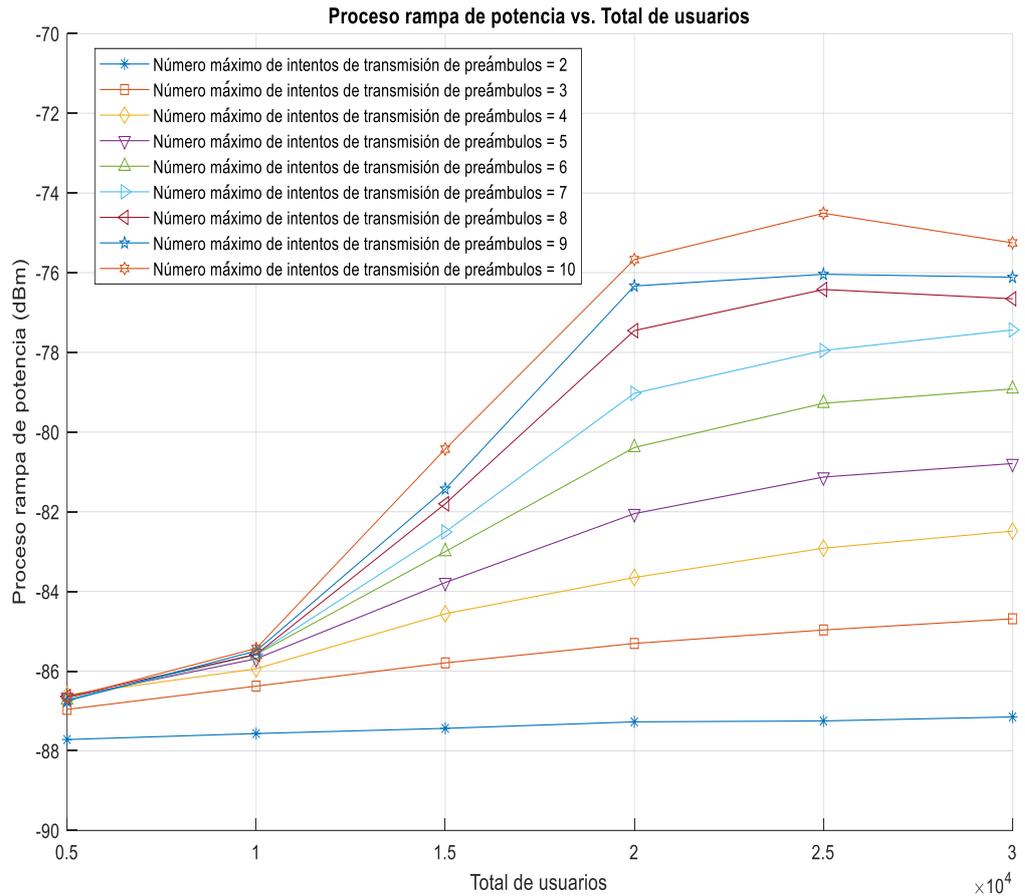


Figura 28: Curvas resultantes entre el PRP con respecto al total de usuarios (30000 UE), para un número máximo de transmisión de preámbulos igual a 10, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

La figura 29 muestra el PRP con respecto al número máximo de transmisión de preámbulos, para un número máximo de usuarios de 30000 que están tasados en intervalos de 5000, las curvas resultantes están evaluadas con un paso de rampa de potencia de 6 dB y con una potencia inicial de preámbulo de -90 dB. En la cual se puede notar una curva diferente para cada grupo de usuarios en la que se puede notar que existe un aumento en la potencia que necesitan los usuarios para transmitir, dando a notar que a mayor grupo de usuarios se tiene una mayor potencia de transmisión, pero para lograr dicho resultado se deben incrementar el número de transmisión de preámbulos. Además, se nota que con 5000 usuarios la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -87 dB, mientras que si se tiene una cantidad de usuarios igual a 10000 la

potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -85 dB, por otro lado, la potencia de recepción de los preámbulos con una carga de tráfico de 15000 usuarios va a rondar entre los -81 dB, si se tiene una carga de tráfico se 20000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos va a rondar entre los -75.9 dB, con un valor máximo de usuarios igual a 25000 la potencia para receptor cada uno de los preámbulos emitidos por los usuarios va a rondar entre los -75.8 dB y con una carga de tráfico máxima de 30000 usuarios, la potencia de recepción de los preámbulos estará rondando entre los -74.9 dB.

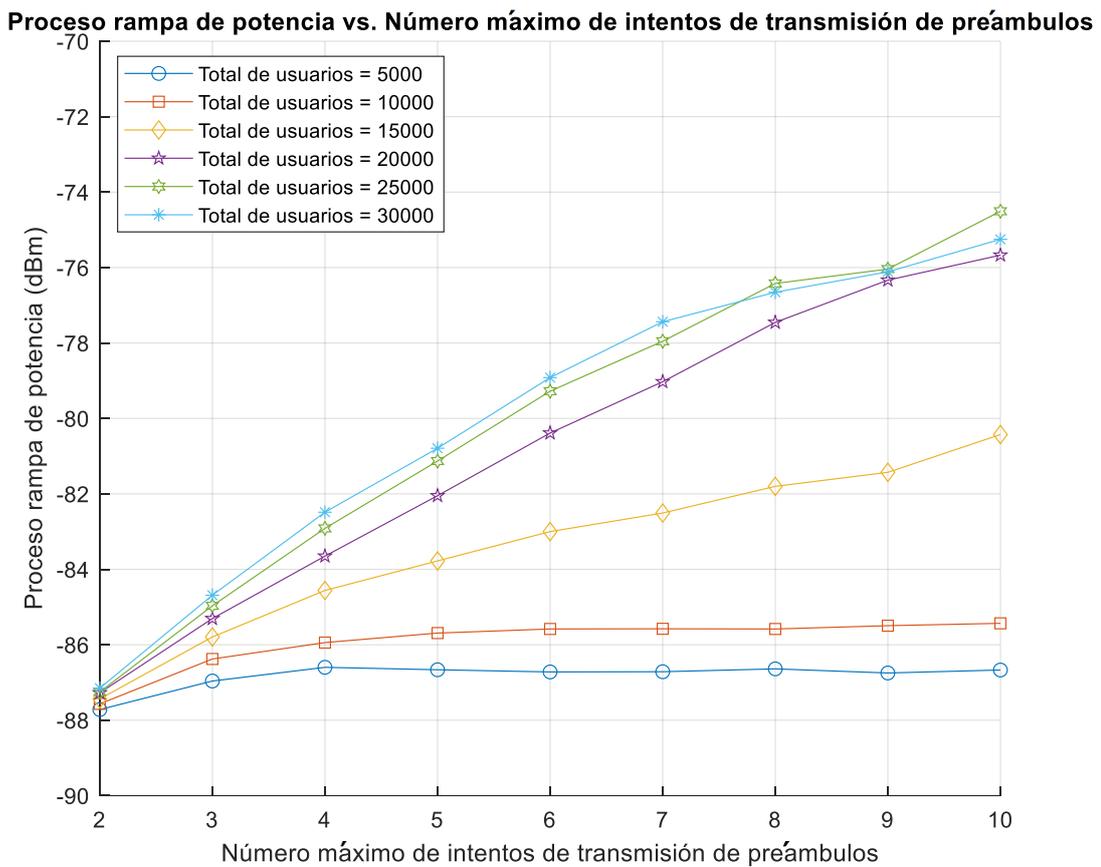


Figura 29: Curvas resultantes entre el PRP con respecto número máximo de intentos de transmisión de preámbulos, para un máximo de usuarios igual a 30000, con un paso de rampa de potencia de 6 dB y una potencia inicial de preámbulo de -90 dB.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este apartado se presenta un análisis estadístico en el cual se procede a evaluar los datos obtenidos en la variable rampa de potencia (Ps) realizando una comparación entre un modelo estándar de simulación del canal de acceso aleatorio con un modelo en el cual se aplique el PRP, para este análisis se utiliza el software estadístico R Commander, el cual permite ingresar los datos obtenidos y realizar cualquier tipo de análisis estadístico.

ESCENARIO		ESTANDAR	
PS	EKM	MX PREAMBLE	USUARIOS
0.844935	1.37251875	2	5000
1	1.52347084	3	5000
0.9682032	1.55940693	4	5000
0.9282032	1.5414	5	5000
0.9998009	1.5515103	6	5000
1	1.5536	7	5000
1	1.5454	8	5000
1	1.5586	9	5000
1	1.565	10	5000
0.8278348	1.40025953	2	10000
0.9376144	1.60933584	3	10000
0.9983234	1.69746029	4	10000
0.9268061	1.7442817	5	10000
0.9393016	1.75372761	6	10000
0.9457006	1.73992198	7	10000
0.93419	1.76387639	8	10000
0.9423003	1.75167517	9	10000
1	1.753	10	10000
0.6914539	1.42141638	2	15000
0.8832969	1.69654452	3	15000
0.929988	1.91167826	4	15000
0.9390464	2.03767814	5	15000
0.9450675	2.21050086	6	15000
0.9233236	2.25979452	7	15000

0.9640346	2.37020053	8	15000
0.9581523	2.47362323	9	15000
0.9676164	2.67425844	10	15000
0.7133793	1.44515315	2	20000
0.80001	1.78004875	3	20000
0.802331	2.06500851	4	20000
0.8245823	2.33197532	5	20000
0.8381442	2.57264753	6	20000
0.8232326	2.81245065	7	20000
0.8036776	3.07876563	8	20000
0.6971523	3.29841937	9	20000
0.6949393	3.38178336	10	20000
0.6243245	1.46989074	2	25000
0.6403516	1.8288489	3	25000
0.7213233	2.17552444	4	25000
0.7162721	2.49752939	5	25000
0.6420709	2.78178632	6	25000
0.602542	3.03194087	7	25000
0.5490586	3.23818729	8	25000
0.4932235	3.40783709	9	25000
0.4382734	3.5303414	10	25000
0.4643904	1.4770794	2	30000
0.5779137	1.86721878	3	30000
0.5977479	2.24507781	4	30000
0.5530988	2.56589283	5	30000
0.5047803	2.84991412	6	30000
0.4216575	3.07013438	7	30000
0.3968159	3.23144178	8	30000
0.3361411	3.39615925	9	30000
0.2783983	3.48528334	10	30000

Tabla 4: Datos obtenidos del modelo estándar de canal de acceso aleatorio, sin la aplicación del PRP.

En la tabla 4 se muestran los datos obtenidos al realizar la simulación del canal de acceso aleatorio en el software MATLAB, sin la aplicación del PRP, en la cual se presentan 5 variables, mismas que se detallan a continuación:

	ESCENARIO	ACTUAL		
PS	EKM	PRP	MX PREAMBLE	USUARIOS
0.9224652	1.34598698	-87.840472	2	5000
0.9910655	1.46619576	-86.9643735	3	5000
0.9990066	1.47881215	-86.5985958	4	5000
1	1.51433333	-86.6477295	5	5000
1	1.49266667	-86.6904	6	5000
1	1.49333333	-86.6784	7	5000
1	1.48366667	-86.628	8	5000
1	1.498	-86.796	9	5000
1	1.48933333	-86.6544	10	5000
0.8878348	1.52420535	-87.5757933	2	10000
0.9876144	1.94970986	-86.235751	3	10000
1	2.30115658	-85.8407366	4	10000
0.9999991	2.55554321	-85.5654008	5	10000
0.9999996	2.78672739	-85.4707119	6	10000
1	2.99955778	-85.4183673	7	10000
1	3.07954545	-85.2879864	8	10000
1	3.11635688	-85.5882	9	10000
1	3.32774093	-85.4502	10	10000
0.8379846	1.41944392	-87.4564216	2	15000
0.9248906	1.66436533	-85.7257704	3	15000
0.9606729	1.8074952	-84.7469588	4	15000
0.985339	1.90418881	-83.7615342	5	15000
0.9940097	1.94969819	-82.9484237	6	15000
1	2.02471424	-82.2796772	7	15000
0.9998807	2.03942293	-81.4998633	8	15000
0.9990785	2.02463813	-81.2356384	9	15000
1	2.03393874	-80.4572751	10	15000

0.7887782	1.4319669	-87.319031	2	20000
0.8507035	1.74659617	-85.2262664	3	20000
0.8883086	2.01442399	-83.6735507	4	20000
0.888408	2.22559259	-82.1334049	5	20000
0.8971273	2.481821	-80.4934691	6	20000
0.9097225	2.66337306	-79.1192815	7	20000
0.8891848	2.82310672	-77.4593947	8	20000
0.8943571	3.06659546	-76.5150169	9	20000
0.8686257	3.18757684	-75.7068565	10	20000
0.7957255	1.45914168	-87.2092667	2	25000
0.7338254	1.81756757	-84.9758432	3	25000
0.7764292	2.134119	-82.9639705	4	25000
0.7930291	2.42047817	-81.0723961	5	25000
0.78839	2.69738547	-79.3129889	6	25000
0.7898975	2.93972066	-77.7345829	7	25000
0.6418144	3.19948503	-76.8029079	8	25000
0.6013633	3.29178616	-76.177695	9	25000
0.538422	3.51937919	-75.575158	10	25000
0.6065361	1.47135703	-87.1519726	2	30000
0.6625151	1.85090558	-84.6773819	3	30000
0.6606099	2.2065833	-82.5289384	4	30000
0.6638746	2.53388563	-80.5702178	5	30000
0.6209918	2.80680557	-78.9252739	6	30000
0.5434557	3.07246574	-77.36949	7	30000
0.4892669	3.24832215	-76.5126702	8	30000
0.4695496	3.33244199	-75.7188535	9	30000
0.4360019	3.58026114	-74.9257252	10	30000

Tabla 5: Datos obtenidos del modelo de canal de acceso aleatorio en el cual ya se ha aplicado el PRP.

En la tabla 5 se muestran los datos obtenidos al realizar la simulación del canal de acceso aleatorio en el software MATLAB, aplicando el PRP, en la cual se puede notar que

aparece una nueva variable, misma que hace referencia al PRP y representa la potencia de recepción de los preámbulos una vez que se ha aplicado el proceso.

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES OBTENIDAS EN LA SIMULACIÓN	
PS	Probabilidad de acceso satisfactorio, hace referencia a la probabilidad que tienen los usuarios de realizar la comunicación de manera satisfactoria, de la cual el valor 1 significa que el usuario ha realizado la comunicación satisfactoriamente.
EKM	Número medio de transmisión de preámbulos, hace referencia al valor medio obtenido entre todos los preámbulos enviados por los usuarios para intentar la comunicación, hasta que accedan satisfactoriamente.
MX PREAMBLE	Número máximo de transmisión de preámbulos, es el valor máximo de preámbulos que se pueden enviar para que el usuario pueda realizar la comunicación de manera satisfactoria.
USUARIOS	Cantidad de usuarios que intentan la comunicación, en este caso se han evaluado un número máximo de usuarios de 30000, mismos que fueron evaluados en intervalos de 5000.
PRP	Proceso rampa de potencia, hace referencia a la potencia de recepción del preámbulo enviado por los usuarios una vez que ha sido potenciada la rampa generada cuando los preámbulos colisionan.

Tabla 6: Definición de las variables obtenidas tras realizar la simulación y que están mostradas en la tabla 4 y 5.

Para realizar la evaluación de los datos obtenidos se tomó una muestra de manera aleatoria, en este caso se han tomado los datos que corresponden al análisis realizado con un número de usuarios (U_e) igual a 15000, de los cuales se evalúa la variable Ps (Probabilidad de acceso satisfactorio) de un escenario estándar y un escenario en el cual se haya aplicado el PRP.

PS ESTANDAR	PS ACTUAL	USUARIOS
0,844935	0,9224652	5000
1	0,9910655	5000
0,9682032	0,9990066	5000
0,9282032	1	5000
0,9998009	1	5000
1	1	5000
1	1	5000
1	1	5000
1	1	5000
0,8278348	0,8878348	10000
0,9376144	0,9876144	10000
0,9983234	1	10000
0,9268061	0,9999991	10000
0,9393016	0,9999996	10000
0,9457006	1	10000
0,93419	1	10000
0,9423003	1	10000
1	1	10000
0,6914539	0,8379846	15000
0,8832969	0,9248906	15000
0,929988	0,9606729	15000
0,9390464	0,985339	15000
0,9450675	0,9940097	15000
0,9233236	1	15000
0,9640346	0,9998807	15000
0,9581523	0,9990785	15000
0,9676164	1	15000
0,7133793	0,7887782	20000
0,80001	0,8507035	20000
0,802331	0,8883086	20000

0,8245823	0,888408	20000
0,8381442	0,8971273	20000
0,8232326	0,9097225	20000
0,8036776	0,8891848	20000
0,6971523	0,8943571	20000
0,6949393	0,8686257	20000
0,6243245	0,7957255	25000
0,6403516	0,7338254	25000
0,7213233	0,7764292	25000
0,7162721	0,7930291	25000
0,6420709	0,78839	25000
0,582542	0,7898975	25000
0,5490586	0,6518144	25000
0,4932235	0,6013633	25000
0,4382734	0,538422	25000
0,4643904	0,6065361	30000
0,5779137	0,6625151	30000
0,5977479	0,6606099	30000
0,5530988	0,6638746	30000
0,5047803	0,6209918	30000
0,4216575	0,5434557	30000
0,3968159	0,4892669	30000
0,3361411	0,4695496	30000
0,2783983	0,4460019	30000

Tabla 7: Datos tomados de la tabla 4 y 5, mismos que servirán para realizar el análisis estadístico.

El procedimiento tomado para determinar si los datos que se obtuvieron tras realizar la evaluación del PRP se distribuyen normalmente o no es el siguiente:

Previo a realizarse un determinado método de análisis estadístico se debe realizar un test de normalidad, mismo que permite determinar si los datos obtenidos se distribuyen normalmente o de forma libre, para mediante este análisis determinar si se deben realizar pruebas paramétricas o no paramétricas, como se tiene una muestra mayor a los 50 datos

se utiliza el test de Kolmogorov-Smirnov mismo que nos permite determinar si los datos se distribuyen con normalidad o no.

4.2.1. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio.

4.2.1.1. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar (escenario sin la aplicación del PRP).

Pruebas de normalidad				
	G_PS	Kolmogorov-Smirnov		
		Estadístico	gl	Sig.
Probabilidad_Acceso	PS-ESTANDAR	,189	54	<.001

Tabla 8: Test de Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio obtenidos del modelo estándar.

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos tras realizar el análisis estadístico Kolmogorov-Smirnov para la muestra obtenida de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar. En la cual se puede notar mediante el p-valor obtenido, que los datos no se distribuyen con normalidad por ende se debe realizar un análisis no paramétrico.

- **Se establece la hipótesis nula y alternativa**

H0: La variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar es normal.

Ha: La variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar no es normal.

- **Se establece el nivel de significancia**

$$\alpha = 0.05$$

Tras realizar el análisis de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) con los datos obtenidos para la variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar, se tiene como resultado.

$$\text{Estadístico (D)} = 0.189$$

$$\text{p-valor} = 0.001$$

$$\text{Nivel de confianza} = 95\%$$

- **Tomar la decisión.**

Como se tiene un p-valor menor al nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo que se determina que los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del modelo estándar no se distribuyen normalmente con el 95% de confianza.

4.2.1.2. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual (escenario en el que se aplicó el PRP)

Pruebas de normalidad				
	G_PS	Kolmogorov-Smirnov		
		Estadístico	gl	Sig.
Probabilidad_Acceso				
	PS-ACTUAL	,194	54	<.001

Tabla 9: Test de Kolmogorov-Smirnov para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio obtenidos del modelo actual

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos tras realizar el análisis estadístico Kolmogorov-Smirnov para la muestra obtenida de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual. En la cual se puede notar mediante el p-valor obtenido, que los datos no se distribuyen con normalidad.

- **Se establece la hipótesis nula y alternativa**

H0: La variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual es normal.

Ha: La variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual no es normal.

- **Se establece el nivel de significancia**

$$\alpha = 0.05$$

Tras realizar el análisis de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) con los datos obtenidos para la variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual, se tiene como resultado.

$$\text{Estadístico (D)} = 0.194$$

$$\text{p-valor} = 0.001$$

Nivel de confianza = 95%

➤ **Tomar la decisión.**

Como se tiene un p-valor menor al nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo que se determina que los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del modelo actual no se distribuyen normalmente con el 95% de confianza.

Tras realizar el test de normalidad de los datos obtenidos del escenario estándar y del escenario actual se obtiene que se debe utilizar un análisis estadístico no paramétrico, por lo que en este caso se usa la prueba U de MANN-WHITNEY, la cual permite realizar la comparación entre dos medias muestrales y determinar si son iguales o no.

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	P-valor	Decisión
La distribución de Probabilidad-de-acceso es la misma entre categorías de ps-estandar-y-ps-actual.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0,043	Rechace la hipótesis nula.

4.2.2. TEST U DE MANN-WHITNEY PARA LA MUESTRA DE LA PROBABILIDAD DE ACCESO SATISFACTORIO DEL ESCENARIO ESTANDAR Y ACTUAL.

Tabla 10: Test U de MANN-WHITNEY para la muestra obtenida en la variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual.

La tabla 10 muestra los valores obtenidos al realizar un test de U de MANN-WHITNEY en el cual se comparan las muestras obtenidas de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual, donde se tiene como resultado un p-valor de 0.043

➤ **Se establece la hipótesis nula y alternativa**

H0: No existe un aumento en la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario en el que se implementó el PRP.

Ha: Existe un aumento en la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario en el que se implementó el PRP.

➤ **Se establece el nivel de significancia**

$$\alpha = 0.05$$

Tras realizar el análisis para muestras no paramétricas (Test de U de MANN-WHITNEY) con los datos obtenidos para la variable probabilidad de acceso satisfactorio del escenario actual y estándar, se tiene como resultado.

$$\mathbf{p\text{-valor} = 0.043}$$

Nivel de confianza = 95%

➤ **Tomar la decisión.**

Como se tiene un p-valor menor al nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo que se determina que existe un aumento de la probabilidad de acceso satisfactorio si se aplica el PRP.

Para analizar de manera gráfica los diferentes resultados obtenidos mediante el test de U de MANN-WHITNEY se realiza un diagrama de caja.

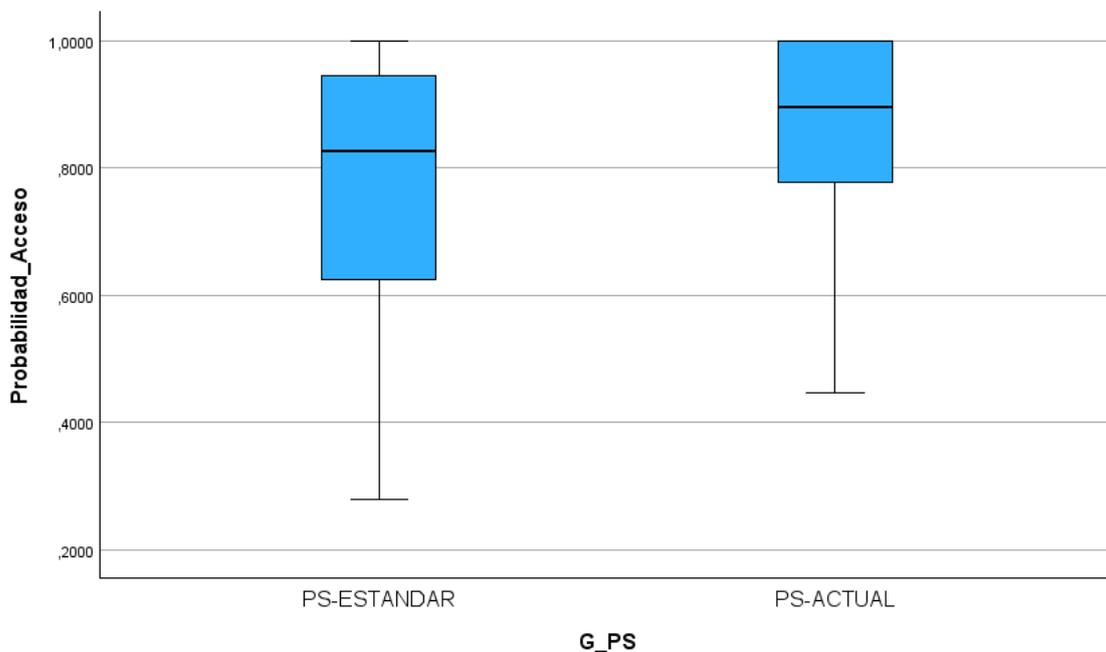


Figura 30: Diagrama de caja para la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual.

En la figura 30 se muestran los diagramas de caja generados para los datos de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y actual. Como la mediana del PS actual está más cercana a la parte superior con respecto a la mediana del PS Estándar, se determina que existe un aumento en la probabilidad de acceso satisfactorio si se aplica el PRP.

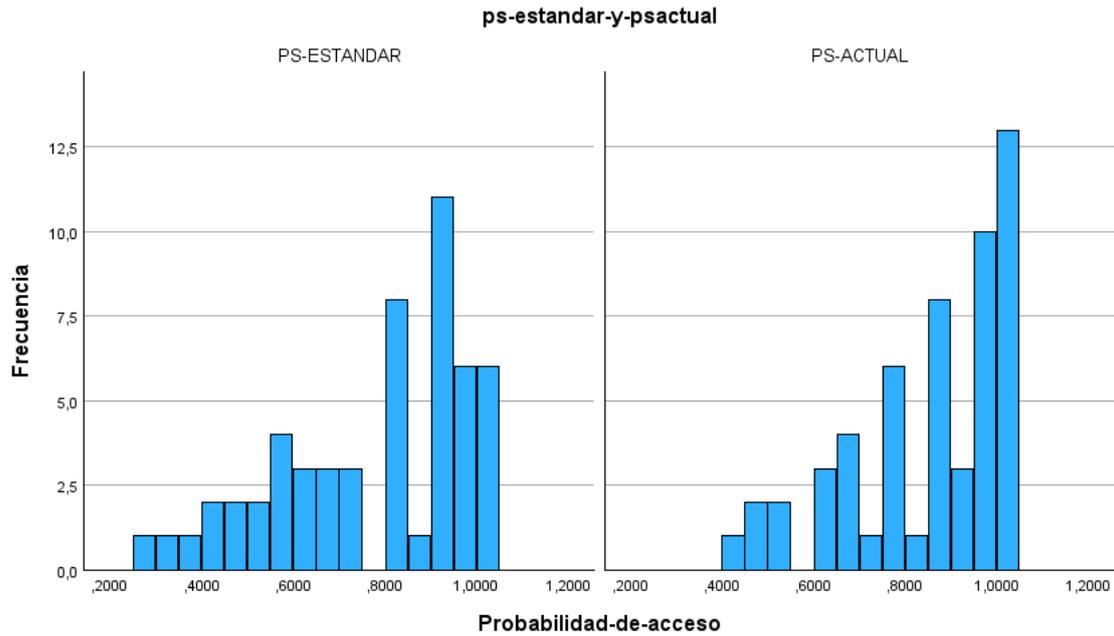


Figura 31: Histograma de la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y el escenario actual

En la figura 31 se muestra el histograma generado para verificar la probabilidad de acceso satisfactorio del escenario estándar y del escenario actual, en la cual se puede notar que existe una mayor probabilidad de acceso satisfactorio en el escenario actual con respecto al escenario estándar.

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1. CONCLUSIONES

- La probabilidad de acceso satisfactorio aumenta tras implementar el PRP debido a que se produce un incremento en la rampa generada tras la colisión de los preámbulos al intentar la comunicación.
- La potencia de transmisión va a aumentar dependiendo del número de intentos de transmisión de preámbulos, debido a que con un valor mayor de intentos de transmisión se tiene una mayor potencia, lo que se puede evidenciar en el escenario 2 mostrado en el capítulo 4 del documento.
- El aumento en la rampa es mayor cuando el número de usuarios es mayor a los 1000, esto debido a que se está trabajando con tráfico masivo provocando así que el número de colisiones entre preámbulos aumente y el retardo de retransmisión de estos sea mayor.
- Tras utilizar la ecuación 1 que permite obtener la potencia resultante se puede determinar que mientras se tenga un valor menor en la variable paso de rampa de potencia la probabilidad de acceso satisfactorio va a ser mayor y además se va a tener un valor menor de intentos de transmisión lo que provoca que el número medio de transmisión de preámbulos sea menor que si se utiliza un valor mayor en la variable paso de rampa de potencia.
- Mediante el uso del IoT masivo la potencia de transmisión de preámbulos va a ser mayor, esto debido a que la carga de tráfico es mayor.
- El PRP es de mucha utilidad en comunicaciones móviles de cuarta generación, debido a que permite trabajar con una mayor carga de tráfico, lo que es necesario en comunicaciones LTE para que los usuarios siempre permanezcan conectados y con una comunicación exitosa.

5.1.2. RECOMENDACIONES

- Efectuar el PRP cuando se trabaje con tráfico masivo esto debido a que mientras más usuarios intenten la comunicación va a existir un mayor número de colisiones de preámbulos, lo que se puede corregir aplicando el PRP.
- Utilizar una potencia inicial de -120 dB debido a que con cada intento de transmisión está va a ir aumentando, por lo que si se utiliza este valor de potencia la misma va a permanecer dentro del rango de valores que ofrece la ecuación implementada.
- Utilizar el software de simulación MATLAB para realizar este tipo de simulaciones debido a que el mismo nos ofrece una gran cantidad de funciones que resultan de gran utilidad al momento de intentar diseñar un modelo de canal de acceso aleatorio u otras simulaciones y el software estadístico SPSS o r-Studio, mismos que permiten realizar un análisis estadístico muy completo, por la cantidad de funciones que posee.
- Utilizar un valor de paso de rampa de potencia de 2 dB debido a que ofrece una mayor probabilidad de acceso satisfactorio en comparación al paso de rampa de potencia de 2 y 4 dB.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] S. Gámez, H. Perdomo, T. Hidalgo, G. Escalona, and R. Romero, “Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas,” *Ciencias Holguín*, vol. XI, no. 1, pp. 1–8, enero-marzo 2005.
- [2] Berry, L. Leonard, David R. Bennet, Carter W. Brown, “LA CALIDAD EN EL SERVICIO.”
- [3] L. Tello, L. Mayorga, I. Pla, V. Martinez, J. Vidal, J. Casares, V. Guijarro “Performance Analysis and Optimal Access Class Barring Parameter Configuration in LTE-A Networks with Massive M2M Traffic,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 4, pp. 3505–3520, Abril 2018.
- [4] J. Kim, J. Lee, “Exploiting the capture effect to enhance RACH performance in cellular-based M2M communications,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10, Octubre 2017.
- [5] G. Hattab, D. Cabric, “Energy-Efficient Massive IoT Shared Spectrum Access over UAV-Enabled Cellular Networks,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 68, no. 9, pp. 5633–5648, Septiembre. 2020.
- [6] H. R. T. C. L. L. Hamdan Hejazi, “*Survey of Platforms for Massive IoT*”. IEEE, no. 8, 2018.
- [7] H. Carrión, Robalino, *Ingeniería de Tráfico de Telecomunicaciones*, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ingeniería en Electrónica y Redes de Información, 2012.
- [8] F. PÉREZ, “REDES MÓVILES TERRESTRES:4G.”, *Academia*, no. 12, 2010.
- [9] R. D. Tapia, “Diseño de capacidad y cobertura en tecnología 4g LTE banda de 700 mega-hertz, en el nodo del cerro Maldonado para una empresa de telefonía móvil celular.”, Trabajo de grado, Carrera De Ingeniería En Electrónica y Redes De Comunicación, Universidad Técnica Del Norte, Ibarra 2020.
- [10] E. M. Inga, “La telefonía móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution.”, *Ingenius*, no. 10.
- [11] J. C. Silva Loza, “Desarrollo de guías de laboratorio para la evaluación de la capa física de la tecnología LTE (RELEASE 8) mediante el uso del analizador vectorial de señales y el generador vectorial de señales”, Proyecto de grado, Facultad De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador 2017.

- [12] V. D. Amaya Morales, T. I. García Gallegos, S. Vargas Luna, “ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS CELULARES DE CUARTA GENERACIÓN, CONSIDERANDO SEÑALIZACIÓN Y ESQUEMAS DE CORRECCIÓN DE COLISIONES”, Proyecto de grado, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, México 2015.
- [13] D. A. Santander Gonzáles, “EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO DEL TIEMPO DE BACKOFFEN LA RED DE ACCESO RADIO DE IOT CELULAR CON TRÁFICO MASIVO”, Trabajo de Titulación, Carrera De Electrónica Y Telecomunicaciones, UNACH, Riobamba, Ecuador 2020.
- [14] S. I. Castro López, “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MECANISMO DE CONTROL DE CONGESTIÓN EN LA TECNOLOGÍA NB-IoT PARA DESPLIEGUES DE COMUNICACIÓN MASIVA DE INTERNET DE LAS COSAS”, Trabajo de Titulación, Carrera De Electrónica Y Telecomunicaciones, UNACH, Riobamba, Ecuador 2021.
- [15] GSMA, “Espectro 5G” Posición de política pública de la GSMA, Julio 2019.
- [16] O. Rodríguez Gámez; R. Hernández Perdomo; L. Torno Hidalgo; L. García Escalona; R. Rodríguez Romero, “Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas”, *Ciencias Holguín*, 9. pp, enero-Marzo, 2005.
- [17] A. Cervera. (2023). Introducción Sobre las Generaciones Anteriores de Redes Móviles (1ra ed.) [Online]. Available: <https://mobiletrans.wondershare.com/es/5g/g-generations.html>
- [18] L. Tello Oquendo, “5G Cellular system: A brief review of architecture, use cases, and enabling technologies”, Espol, Facultad de ingeniería en Electricidad y computación, Julio 2020.
- [19] P. Hallado Medina, “Internet de las cosas. Aplicaciones y Seguridad” MISTIC , Universitat Oberta de Catalunya, diciembre 2019.
- [20] F.J. Flores Zermeño, E.G. Cossio Franco. “Aplicaciones, Enfoques y Tendencias de Internet de las Cosas (IoT): Revisión Sistema de la Literatura”. in Congreso Internacional de Investigación Academia Journals. 2021, pp.3-10.
- [21] A.E. Madrid, S.M. Valenzuela Ruiz, C. Batanero, A. Garzón Guerrero, “Interpretación del diagrama de caja por estudiantes universitarios de ciencias de la actividad física y deporte”, Artículo de investigación, Educación matemática, vol. 34, pp 275-300, 2022.

[22] P. Arteaga, “Análisis de gráficos estadísticos elaborados en un proyecto de análisis de datos”, M.S. tesis, Universidad de Granada,2009.