

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA



**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO A NIVEL DE ENLACE
EN LOS CANALES WIFI DE SIGUIENTE GENERACIÓN
Y GIGABIT ETHERNET, PARA JUMBOGRAMAS IPV6**

IVONNE STEPHANNE RODRÍGUEZ BEJARANO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SEGURIDAD Y
SISTEMAS DE COMUNICACIONES, GISSIC**

BOGOTÁ D.C.

SEPTIEMBRE 2012

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO A NIVEL DE ENLACE
EN LOS CANALES WIFI DE SIGUIENTE GENERACIÓN
Y GIGABIT ETHERNET, PARA JUMBOGRAMAS IPV6**

**AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN:
IVONNE STEPHANNE RODRÍGUEZ BEJARANO
Código: 1400608**

**DIRECTOR GRUPO DE INVESTIGACIÓN GISSIC:
EDWARD PAUL GUILLEN PINTO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SEGURIDAD Y
SISTEMAS DE COMUNICACIONES, GISSIC
BOGOTÁ D.C.
SEPTIEMBRE 2012**

Tabla de Contenidos

Lista de figuras	5
Lista de tablas	7
1. Planteamiento del problema	8
2. Marco Teórico	10
2.1. Wifi 802.11n	10
2.1.1. Análisis del rendimiento sobre 802.11n	10
2.1.2. Parámetros Físicos	11
2.1.3. Probabilidad de error en la trama 802.11n	12
2.1.4. Especificaciones MAC 802.11n	16
2.2. Gigabit Ethernet	19
2.2.1. Características Generales	19
2.2.2. Análisis del rendimiento con TCP	20
2.2.3. Procedimiento balanceado HDLC	22
2.2.4. Especificaciones Campo de control para GE	27
2.3. Jumbogramas IPV6	29
2.3.1. Comparación IPV4 - IPV6	29
2.3.2. Jumbogramas	30
3. Objetivos	32
3.1. Objetivo General	32
3.2. Objetivos Específicos	32

4. Procedimiento	33
4.1. Análisis Matemático y Resultados sobre Wifi 802.11n	33
4.1.1. Valor fijo de Distancia	34
4.1.2. Valor fijo de Capacidad	35
4.1.3. Valor fijo de BER	38
4.1.4. Aplicación con Jumbogramas	39
4.2. Análisis Matemático y Resultados sobre Gigabit Ethernet . .	40
4.2.1. Capacidad Fija	41
4.2.2. Distancia Fija	45
4.2.3. Variación del BER	46
4.2.4. Aplicación de Jumbogramas en Gigabit ethernet . . .	50
5. Conclusiones y trabajo futuro	51

Índice de figuras

1.	Variables implícitas en el diagrama de tiempo, transmisión de tipo semiduplex	13
2.	Diagrama de tiempo	14
3.	Transmisión exitosa sin error	15
4.	Transmisión cuando existe error	15
5.	Formato Trama MAC IEEE 802.11n	17
6.	Campo Frame Control, Primer Campo de la trama MAC 802.11n	17
7.	Análisis de control de congestión TCP, [1]	21
8.	Análisis del control de congestión en TCP, valor variable sstresh	22
9.	Análisis versión HDLC [2]	23
10.	Campos de la Trama I , incluye campo información	23
11.	Campos de la Trama T_S , solo campos de control sin campoinformación	23
12.	Procedimiento de recuperación de errores	24
13.	Análisis del rendimiento en HDLC	24
14.	Cabecera Ethernet 802.3	27
15.	Cabecera IPV6	28
16.	Segmento TCP, 160 bits	28
17.	Cabecera IPV4: RFC-791 [3]	29
18.	Cabecera IPV6: RFC-2460 [4]	29
19.	Cabecera de extensión de IPv6	30
20.	Formato de la opción Jumbo Payload	31

21.	Cabecera Jumbograma	31
22.	Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 1, diferentes valores de BER para una capacidad de 150 Mbps y una distancia de 1 Km	35
23.	Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 2, diferentes valores de BER para una capacidad de 300 Mbps y una distancia de 25 Km	36
24.	Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 3, diferentes valores de BER para una capacidad de 300 Mbps y una distancia de 50 Km	37
25.	Normalized Throughput Vs Data Size. Valor fijo para BER para una capacidad de 300 Mbps y distancia de 5 Km, 25 Km, 50 Km y 100 Km	38
26.	Normalized Throughput Vs Data Size. Capacidad de 300Mbps con una distancia de 5 Km, valor minimo para usar Jumbogramas	40
27.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128	41
28.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 500m y M es 128	42
29.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 1000 m y M es 128	42
30.	Normalized Throughput vs. Data Size. Diferentes valores en la distancia cuando la capacidad es 1Gbps, el BER es $1x10^{-10}$ y M es 128	44
31.	Normalized Throughput vs. Data Size. Diferentes valores de BER distancia y capacidad son valores fijos y M es 128	44

32.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de capacidad cuando la distancia es 100m, BER 1×10^{-10} y M es 128	45
33.	Normalized Throughput vs. Data Size. La capacidad es un valor fijo 1Gbps para diferentes valores de BER	46
34.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 8	47
35.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128	48
36.	Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER en detalle cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128	49
37.	Normalized Throughput vs. Data Size, Valores maximos alcanzados para diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 8	49

Índice de cuadros

1.	Combinaciones validas para el Type y Subtype, del campo Frame Control	18
2.	Escenarios cuando la distancia es un valor fijo y la capacidad varia	34
3.	Valor de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando la capacidad varia y la distancia permanece fija	35
4.	Escenarios cuando la capacidad tiene un valor fijo y la distancia varia	36
5.	Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando la capacidad es fija y la distancia varia en 25Km y 50Km	37
6.	Escenario cuando el valor de la capacidad y del BER es fijo, y la distancia varia	38
7.	Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando el BER y la capacidad son valores fijos y la distancia varia	39
8.	Diferentes valores de BER con el maximo valor alcanzado medido en Bytes, MTU. Escala de variación de 0.1	39
9.	Escenarios cuando la distancia varia, la capacidad permanece en 1Gbps, M es 128 para diferentes valores de BER	41
10.	Valores de Z, Data Size en Bytes. Cuando la distancia varia, el BER ($1x10^{-10}$) y la capacidad (1Gbps) son valores fijos	43
11.	Escenario cuando la distancia varia, la capacidad permanece en 1Gbps, M es 128 para un valor de BER $1x10^{-10}$	43
12.	Escenarios cuando la capacidad varia, la distancia permanece en 100, M es 128 para un valor de BER $1x10^{-10}$	45
13.	Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando el BER es $1x10^{-10}$ y la distancia es fija, mientras la capacidad varia	46

14. Escenarios cuando M varia, la capacidad permanece en 1Gbps, la distancia en 100m, para diferentes valores de BER 47
15. Valores de BER, Z, Data Size en Bytes. Cuando el BER varia, mientras la capacidad y la distancia permanecen fijas 48
16. Diferentes valores de BER con el maximo valor alcanzado medido en Bytes, MTU. Escala de variación de 0.1 50

1. Planteamiento del problema

A finales de la década de los setenta se realizaron estudios acerca del tamaño de las tramas de datos enviada sobre la red, estructurando un valor en ese momento de 1500 bytes para redes Ethernet, con el fin de evitar en lo posible la fragmentación. Este tamaño fue definido como la máxima unidad de transferencia, Maximum Transmission Unit (MTU), que es el paquete más grande de IP que es capaz de viajar a través del emisor al receptor, sin fragmentación. De acuerdo a esta definición se debe tener en cuenta que la longitud del paquete es una consideración muy importante para los administradores de red ya que en lo posible la finalidad es reducir al mínimo la posibilidad de fragmentación.

Es notable que la velocidad en las redes de datos se ve afectada significativamente cuando la red soporta aplicaciones que implican la transmisión de datos en tiempo real, como Música por Demanda (MOD), Video por Demanda (VOD), servicios de voz sobre IP (VoIP), videoconferencia, entre otros [5], [6]. Esta degradación se da justamente por la cantidad de información que se maneja en este tipo de aplicaciones y por el proceso de fragmentación de datos que requieren. Debido a esta degradación de la velocidad sobre la red, en los últimos años se ha mejorado considerablemente el rendimiento en la transmisión de datos sobre los enlaces físicos con el fin de mejorar las condiciones de calidad de servicio, Quality of service (QoS), sobre estas aplicaciones, debido principalmente a que las nuevas capacidades que se requieren en la nueva estructura de datos, hace que sea necesario analizar algún tipo de mejoras en el rendimiento. Es importante notar que hasta el momento de acuerdo a la investigación realizada se han visto que los estudios sobre la implementación de alguna técnica que permita aumentar el tamaño de la unidad de transferencia máxima han sido escasos.

Este proyecto implica el estudio de la posibilidad de incrementar la MTU en redes con enlaces de tipo; WIFI 802.11n y Gigabit Ethernet sin realizar modificaciones a nivel de software dentro de los dispositivos que conforman la red, sino realizando un análisis de parámetros físicos como; la tasa de error de bit, Bit Error Rate (BER), Rendimiento normalizado (Normalized Throughput), y así estudiar la posibilidad de cómo mejorar el rendimiento de una red a partir del incremento de la MTU. Adicionalmente, es impor-

tante destacar que hoy en día con la inclusión de IPV6 a las redes de datos, y teniendo en cuenta sus nuevas características dentro de su trama de datos como, la introducción de cabeceras adicionales, la posibilidad de modificar su tamaño y generar datagramas más grandes denominados, Jumbogramas. Abre paso a pensar que IPV6 puede generar espacios de investigación sobre la MTU en redes de datos y así mismo permite inferir el siguiente cuestionamiento ¿Es posible incrementar el tamaño máximo de transferencia de paquete MTU, establecido actualmente para las redes de datos, mediante la aplicación de Jumbogramas en IPV6 analizando su rendimiento en los enlaces WIFI 802.11n y Gigabit Ethernet?

2. Marco Teórico

2.1. Wifi 802.11n

2.1.1. Análisis del rendimiento sobre 802.11n

En una red de datos el análisis del rendimiento es necesario para entender el comportamiento actual de estas redes [7]. Existen algunos parámetros utilizados para evaluar el rendimiento de la red en la capa física. Algunos parámetros son [8]: Throughput, Delay, Jitter, Convergence Time, Bandwidth, Frame Loss, BER, coded Frame Error Rates (FER) y Signal to Noise Ratio (SNR), [9] y [10].

Durante la última década, un buen número de investigaciones se han dedicado al análisis del rendimiento. Por ejemplo en [11], se desarrolló un modelo analítico con el objeto de calcular el rendimiento normalizado del esquema IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF), con nodos ocultos utilizando multi-hop en una red adhoc. Las comparaciones realizadas con los parámetros físicos ayudan a determinar que el rango de detección de portadora es igual a la distancia de transmisión, con un intervalo de throughput diferente. Por otro lado en [12], se muestra un análisis del rendimiento utilizando throughput, delay y frame loss, como parámetro de medición del rendimiento en canales con zonas propensas a errores. Un análisis matemático a través de un análisis del rendimiento es considerado en [13], este análisis está basado en el mecanismo de agregación de tramas de 802.11n MAC. Se deriva el mínimo error teórico al cuadrado a fin de proponer un algoritmo de estimación del canal, también el BER y la precisión del estimador de canal son evaluados. Otros análisis similares se pueden encontrar en [14] y [15].

Como es definido en el estándar 802.11n, el máximo rendimiento se aumenta cuando las tramas son transmitidas de forma continua, una tras otra, en vez de enviar tramas de confirmación, acknowledge (ACK), individuales [2]; debido a que estas tramas de control no son tan robustas como aquellas utilizadas para lidiar con errores. IEEE 802.11n introduce un mecanismo para reconocer un bloque de paquetes de forma efectiva [12]. Este mecanismo se aplica a Aggregated Mac Protocol Data Unit (AMPDU). Con el fin

de mejorar la eficiencia, un emisor puede enviar una trama Add Block Acknowledgment (ADDBA), al receptor [16]. Para un análisis mas específico sobre como opera 802.11n, ver [17].

En un ambiente inalámbrico, *Normalized Throughput* se entiende como una medida de tráfico, es decir que tanto uso le estoy dando a la red [18]. Como una medida de tráfico, *Normalized Throughput* es usado para diferentes usos o aplicaciones tales como: tiempo de dispersión coherente [19], también como un parámetro probabilístico de acceso y colisión que nos permite determinar que tan eficiente son los recursos que están siendo utilizados por los usuarios a través de dos canales [20]. Otras aplicaciones [21], [22] muestran *Normalized Throughput* como una medida de comparación y evaluación entre varias variables. En cuanto al análisis del enlace WIFI 802.11n la investigación se basa en [2], donde la expresión *Normalized Throughput* muestra el efecto de la velocidad en la transmisión del paquete, del campo del control y la probabilidad de error de bit.

2.1.2. Parámetros Físicos

▪ Bit Error Rate, BER

La tasa de error de bit, BER, es una medida directa para el rendimiento de los datos en la capa de enlace de un sistema digital, la cual expresa la probabilidad de que algun bits sea recibido con error. M. Jeruchim, se refiere a la probabilidad de que un bit sea afectado en un intervalo de tiempo, si $BER = 1x10^{-n}$, 1 en 10^n bits son dañados [23]. BER es una función de SNR.

Cuando se realiza una implementación de la capa fisica, el BER incrementa con el rango de trasmision y la tasa fisica[24]. La MAC no influye en el valor del BER, a excepcion de realizar un ajuste en la tasa fisica. [25].

De acuerdo a la agregación optima de tramas, Optimal Frame Aggregation (OFA), que es una técnica que permite calcular la Unidad de servicio de datos agregados MAC, Aggregated Mac Service Data Unit (AMSDU), para diferentes BERs en redes WLANS 802.11n, propuesto en [16], el algoritmo sugiere que el optimo tamaño de la trama AMSDU para canales

de BER deben ser los siguientes valores $1x10^{-4}$, $5x10^{-5}$, $2x10^{-5}$, $1x10^{-5}$, y $1x10^{-6}$ son 1000bytes, 1500bytes, 2500bytes, 4500bytes, y 8000bytes respectivamente [26].

Como se evidencia en [9] y [12] el throughput de la red incrementa cuando las condiciones del canal mejoran, bajo mejores condiciones de BER existe un tamaño de fragmento optimo con el fin de conseguir un rendimiento máximo en la red.

▪ Otros Parámetros

Otro tipo de variables involucradas en el estudio de los parametros fisicos son la capacidad y la distancia como se evidencia en [27] y [28].

2.1.3. Probabilidad de error en la trama 802.11n

La probabilidad de tener al menos un bit errado en la trama es el BER. Entonces tomando la variable BER como la probabilidad de error, la probabilidad sin error será entonces $(1 - BER)$. La probabilidad de error en la trama es χ como se ve en la ecuación (1):

$$\chi = 1 - (1 - BER)^S \quad (1)$$

Donde, el tamaño total de la trama es $S = (S_d + S_c)$, el tamaño del campo de datos de la trama es S_d y el tamaño del campo de control de la trama es S_c .

Basados en [2], la probabilidad de recibir una trama con error en el receptor es χ , entonces la probabilidad de recibirla de forma correcta es $(1 - \chi) = \rho$. Como se evidencio en la figura 1, el tamaño del campo de control S_c es 320 bits, el cual es un tamaño fijo existente en todas las tramas, mientras que el tamaño del campo de los datos cambia. Con el objetivo de simular la eficiencia del canal es importante considerar otras variables, implícitas en el análisis de la probabilidad de error.

A continuación se muestran las variables que intervienen cuando se realiza una transmisión de tipo semiduplex. Donde I es el tiempo de instalación de

una trama. R_p es el retardo de propagación el cual corresponde al tiempo que se le añade a una señal en viajar desde una estación a otra, para este caso R_p corresponde al retardo en un solo sentido, cuando se incluye el tiempo de procesamiento $Proc$ que es el tiempo que tarda el receptor para transmitir la trama tenemos el tiempo de propagación T_{Prop} . T , corresponde al tiempo total, el cual es el tiempo mínimo entre tramas sucesivas. Cuando la estación A transmite otra trama, (Trama A2) habrá un nuevo tiempo T Figura 1:

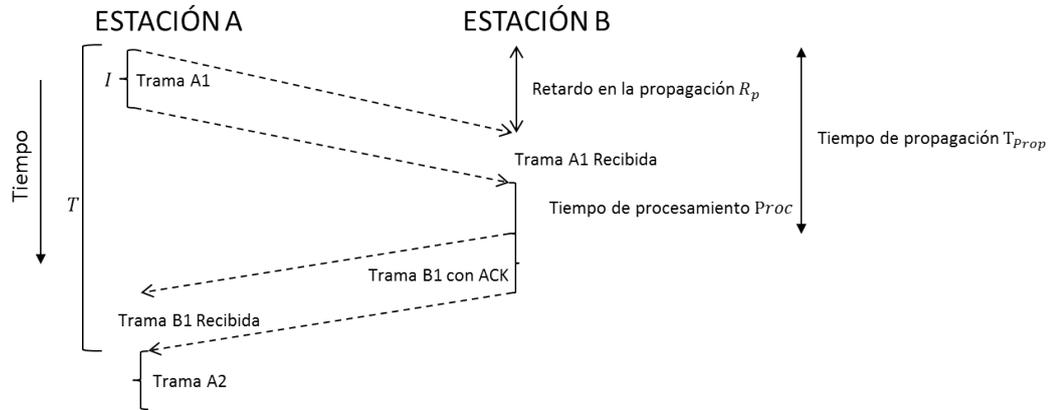


Figura 1: Variables implícitas en el diagrama de tiempo, transmisión de tipo semiduplex

Cuando se tiene una transmisión de tipo duplex, como es el caso del enlace WIFI 802.11n, las variables a utilizar son similares a las utilizadas en la transmisión de tipo semiduplex. Con las siguientes diferencias, Figura 2: $2T_{prop}$ corresponde al retardo de la propagación en viaje redondo (dos sentidos), incluido el retardo en el procesamiento. El tiempo fuera, F sucede cuando hay error en la trama, este valor fijo (F), expira antes de la recepción de un NACK o ACK, de manera que el tiempo para recibir un ACK aumenta hasta $2T_{prop} + I$, I es tomado como el tiempo para transmitir una aceptación. El tiempo total es igual al tiempo de transmisión de una trama más el tiempo fuera en el caso que exista error, el cual siempre se contempla. T también lo podemos expresar como:

$$T = I + F \Rightarrow F = 2T_{prop} + I$$

$$T = I + (2T_{prop} + I) \Rightarrow T = 2I + 2T_{prop}$$

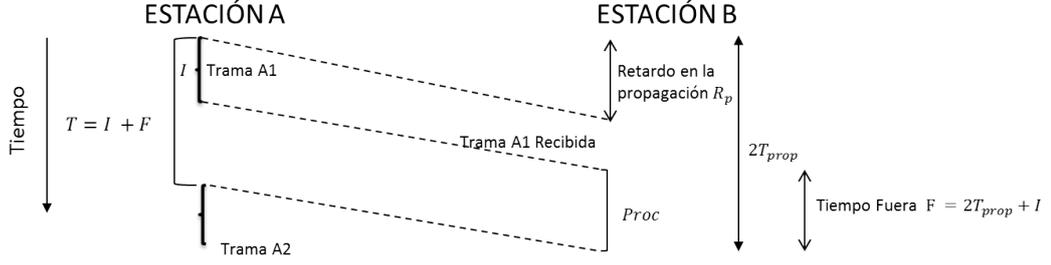


Figura 2: Diagrama de tiempo

Por otro lado el tiempo de propagación T_{prop} depende de la velocidad de propagación V_p , que es igual a $V_p = c/\sqrt{E_r}$, la velocidad de la luz (c) y la permitividad relativa del aire E_r tambien T_{prop} depende de la distancia X , entonces $T_{prop} = X/V_p$. El tiempo requerido para transmitir una trama como vimos es I , el cual podemos expresar como $I = S/TC$, donde TC es la capacidad de transmisión del enlace. α es un parametro de estandarización que representa el intervalo de tiempo fuera igual a $\alpha = T/I$ y $(\alpha - 1) = \beta$. Asi que para mostrar la relación entre el rendimiento normalizado (Normalized Throughput) versus el tamaño de la trama que puede ser transmitido aplicamos la ecuación 3:

$$z = \left[\frac{S_d}{S} \right] * \left[\frac{\rho}{1 + \beta - \rho * \beta} \right] * TC \quad (2)$$

Si $Z = \frac{z}{TC}$, entonces:

$$Z_W = \left[\frac{S_d}{S} \right] * \left[\frac{\rho}{1 + \beta - \rho * \beta} \right] \quad (3)$$

De manera que cuando tenemos una transmisión exitosa el tiempo total T corresponde a: $T = I + T_{prop}$ como se ve en la Figura 3.

Para el caso contrario cuando tenemos una transmisión en la que existe error el tiempo total T corresponde a $T = I + T_{prop} + T_{prop} + I$, como se ve en la Figura 4.

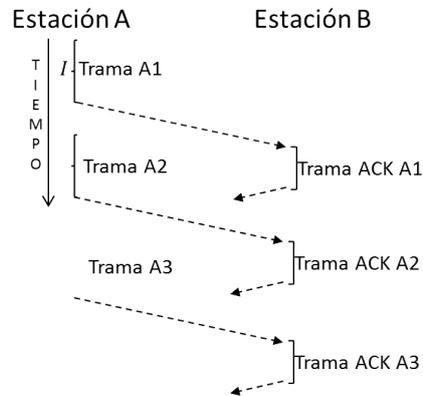


Figura 3: Transmisión exitosa sin error

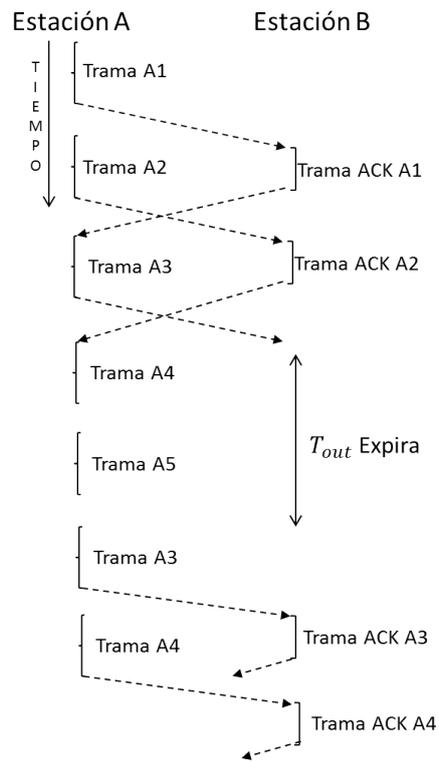


Figura 4: Transmisión cuando existe error

2.1.4. Especificaciones MAC 802.11n

- 802.11n Mac Formato de la trama

Los dispositivos inalámbricos que comparten el mismo protocolo en la capa MAC siguen el estándar IEEE 802.11 para redes, Wireless Local Area Network (WLAN) [29]. Los dispositivos inalámbricos siguen diferentes normas para la capa física tales como 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, etc [30]. Con el fin de mejorar el rendimiento de las redes inalámbricas existen principalmente dos factores externos, en primer lugar el crecimiento de la QoS en las aplicaciones multimedia, y en segundo lugar las deficiencias inherentes de las comunicaciones inalámbricas, tales como los recursos de ancho de banda bajo y el tiempo variable según las las condiciones del canal, [31]. Los componentes y el rendimiento del formato de trama MAC se analizarán, basados en el estándar 802.11n [32].

El formato de trama MAC incluye un conjunto de campos que se producen en un orden fijo en todas las tramas a transmitir. En la Figura 5, se muestra el formato general de la trama MAC. Los tres primeros campos, Frame Control, Duration/ID, y Address 1 y el último campo Frame Check Sequence (FCS) constituyen el formato de trama mínima y están presentes en todas las tramas. Estos campos incluyen los tipos y subtipos reservados. El campo FCS se refiere a los caracteres de suma de comprobación adicionales agregados a una trama en un protocolo de comunicación para la detección de errores [33], [34]. En el lado del receptor, si no hay error en las tramas después de comprobar el campo FCS, el receptor envía de nuevo una trama ACK al transmisor. Por otro lado Address 2, Address 3, Sequence Control, Address 4, QoS Control, HT control y Frame Body se presentan sólo en ciertos tipos de tramas y subtipos. El campo de Frame Body es de un tamaño variable. El tamaño máximo del Frame Body está determinado por el Mac Data Service Unit (MSDU), cuyo tamaño es de 2304 octetos más algún tipo de gasto utilizado en la encapsulación de seguridad. Para un análisis más específico, ver [26].

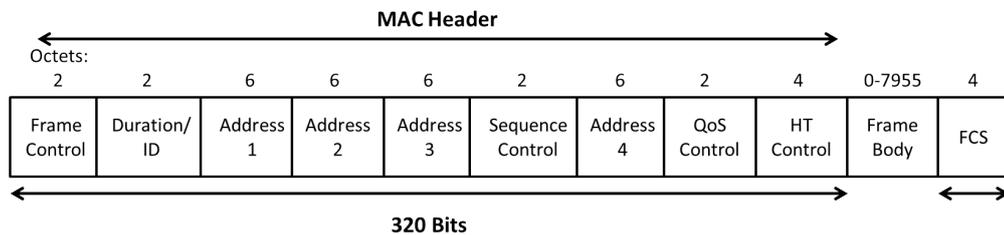


Figura 5: Formato Trama MAC IEEE 802.11n

- **Frame Control Field en la cabecera 802.11n MAC**

El primer campo en el encabezado MAC es el Frame Control. Este campo consiste en los subcampos: Protocol Version, Type, Subtype, to Distribution System (DS), From DS, More Fragments, Retry, Power Management, More Data, Protected Frame, and Order. La Figura 6, muestra estos subcampos.

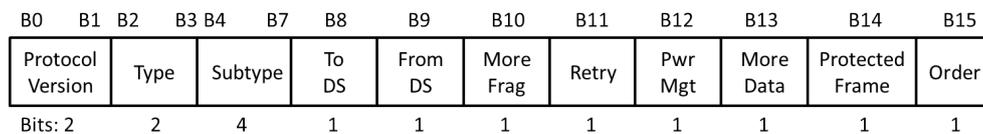


Figura 6: Campo Frame Control, Primer Campo de la trama MAC 802.11n

La función del Frame control se identifica por los campos de tipo y subtipo. El campo de tipo tiene una longitud de 2 bits y el campo de subtipo tiene una longitud de 4 bits. Hay tres tipos de tramas: control frame, data frame, y management frame. Sólo nos vamos a enfocar en las tramas de control y datos. Cada uno de los tipos de trama tiene varios subtipos definidos. En las tramas de datos, el bit más significativo, Most Significant Bit (MSB), del campo de subtipo, es el bit 7, que se define como el subcampo de QoS. El subcampo de la descripción de QoS nos permita conocer la situación de la trama de datos. El Cuadro 1 describe aproximadamente cómo funciona este campo:

Los bits de type value podría cambiar dependiendo de lo que tenemos que hacer, ya sea recibir una confirmación (ACK) o no (NACK), al mismo tiempo el subtype value haría lo mismo. El campo de control de QoS está presente en todas las tramas de datos en la que el subcampo QoS, del campo Subtipo

Cuadro 1: Combinaciones validas para el Type y Subtype, del campo Frame Control

<i>Type value b3 b2</i>	<i>Type de- scription</i>	<i>Subtype value b7 b6 b5 b4</i>	<i>Subtype de- scription</i>
01	Control	1101	ACK
00	Management	1110	action no ack

se establece en 1 (bit 7), esta información nos muestra la descripción del campo.

2.2. Gigabit Ethernet

2.2.1. Características Generales

Gigabit Ethernet (GE) es una tecnología descrita en el estándar 802.3ab [35] de la familia 802.3 [36]. Gigabit Ethernet emplea una transmisión de tipo full dúplex. 1000 Base T, esto es, su velocidad es de 1000 Mbps la cual es conseguida por una transmisión sobre 4 pares de cable balanceado, donde cada uno tiene 250 Mbps, la transmisión es banda base y su medio de propagación es el cable UTP categoría 6. Otra característica de GE es que utiliza una subcapa de la capa de enlace, un protocolo de control de acceso al medio (MAC) denominado CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection), lo que implica que en la transmisión es necesario determinar si el canal y sus recursos se encuentran disponibles [37].

Con el objeto de determinar las características del nivel de enlace para GE, se realiza la búsqueda del comportamiento de los protocolos de transmisión, la detección de errores en la capa 2. Como sigue.

En cuanto a la configuración, 1000baseT puede ser configurado tanto en maestro como esclavo, la relación maestro esclavo entre dos estaciones compartiendo el mismo segmento de enlace, se establece durante la autonegación, según los parámetros que se definen. El master usa un reloj local para determinar el tiempo de operación de transmisión. El slave recupera el reloj de la señal recibida y la utiliza para determinar el tiempo de operación del transmisor.

El campo FCS contiene un CRC de 4 bytes, creado por el emisor y recalculado por el receptor que se utiliza para la verificación de tramas erradas. Si hubo errores en la transmisión de la trama, el emisor no puede detectar eso, es por ello que se debe iniciar la retransmisión de la trama por un protocolo de capa superior que sea orientado a conexión que provea el control de flujo de datos.

Como mencionamos anteriormente el modo de transmisión más utilizado por Gigabit Ethernet es full dúplex, si embargo esta soporta dos modos de transmisión, half duplex y full dúplex. El modo full dúplex se utiliza cuando se tiene un conmutador central al cual están conectadas todas las estaciones,

así que no es necesario que las estaciones utilicen CSMA/CD Detección de colisión, pues no necesitan escuchar el medio antes de transmitir. En CSMA/CD, cuando un nodo desea realizar una transmisión de datos observa que el bus esté libre. En esta situación, si coincide que dos o más nodos intentan una transmisión en el mismo instante, se produce una colisión que corrompe los mensajes enviados, debiendo reintentar la transmisión después de transcurrido un tiempo aleatorio que viene dado por el algoritmo de arbitraje BEB (binary exponential back-off) que ejecuta cualquier nodo de la red. El algoritmo BEB establece que después de producirse una colisión k entre dos o más nodos que intentan comunicar información al mismo tiempo, cada transmisor forma un conjunto de números: 0, 1, 2, 3,... $(2^k - 1)$ elige un valor aleatorio R del conjunto e intenta reenviar la trama después de transcurrido un tiempo igual al producto de R por el tiempo de trama mínima. Ante la imposibilidad de transmitir el mensaje, el nodo lo desecha y notifica un error [38] .

Por otro lado, en Ethernet para establecer la conexión con el medio se envía un mensaje de intercambio que implica el establecimiento de la conexión, conocido como mecanismo Handshake. Este mensaje de descubrimiento solo pone de acuerdo al transmisor y al receptor para iniciar la entrega de los paquetes. Con esto no se mide el rendimiento ya que solamente es en el inicio de la conexión, por tanto a este punto de la transmisión el intercambio de paquetes no se da.

Debido a los datos encontrados anteriormente, se realiza el análisis en capas superiores para el caso de máximo rendimiento, lo que implica el análisis de rendimiento con TCP/IP, utilizando las variables de nivel de enlace.

2.2.2. Análisis del rendimiento con TCP

TCP es un protocolo de capa de transporte utilizado en muchas aplicaciones de Internet para proporcionar conexiones fiables [1]. El mecanismo de retransmisión de TCP se compone de dos ventanas de envío, la ventana de congestión y la ventana máxima, la más pequeña de las dos decide el tamaño de la ventana de transmisión. La parte más importante de la evaluación del desempeño del TCP es su mecanismo de control de congestión.

Para realizar el control de la congestión en TCP, se utilizan los siguientes algoritmos.

Slow start: Este algoritmo se usa en el inicio de una transferencia o después de reparar la pérdida detectada por el temporizador de la trama. En definitiva sondea lentamente la red para así poder determinar la capacidad disponible, y evitar congestionar la red con una transmisión excesivamente grande de datos.

Congestion Avoidance: Este algoritmo se usa junto con Slow Start y depende del valor de la variable slow start threshold size (SSTRESH), Figura 8.

Fast recovery: Este algoritmo se utiliza si se recibe un segmento fuera de orden, entonces el receptor TCP envía un ACK duplicado. Los errores más comunes que puede concluir el transmisor para haber recibido un segmento fuera de orden son; la presencia de segmentos descartados, razones de tránsito en la red (los segmentos llegan en desorden), duplicación de los segmentos o de los ACK en la red.

En la Figura 7, se evidencia un resumen de los algoritmos utilizados.

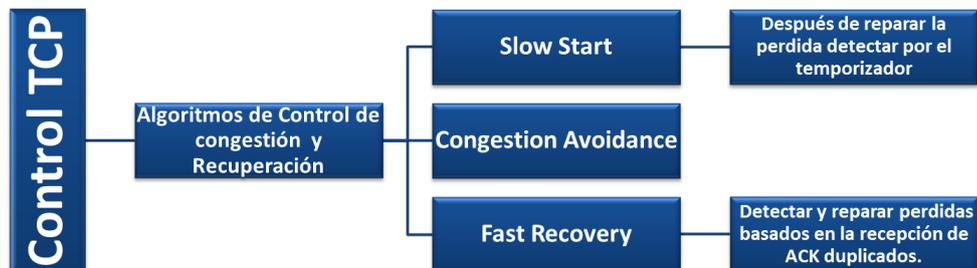


Figura 7: Análisis de control de congestión TCP, [1]

Para poder determinar que algoritmo se utiliza si slow start o congestion avoidance, se utiliza la variable SSTRESH. Cuya función es indicar el tamaño máximo de la ventana de transmisión Congestion Window (cwnd). En la Figura 8, podemos ver la condición que determina el uso de un algoritmo o de otro.

Según [39], “TCP utiliza el protocolo ARQ con repetición selectiva, con confirmaciones positivas, implementado por un mecanismo de ventana deslizante”.

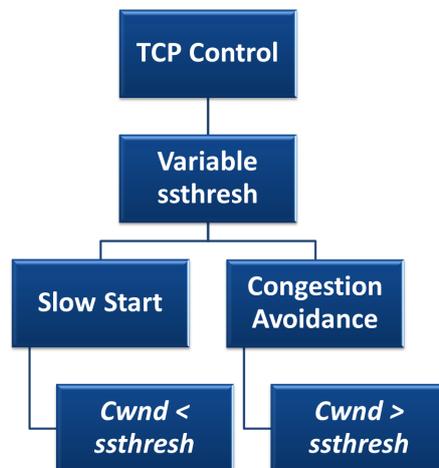


Figura 8: Análisis del control de congestión en TCP, valor variable ssthresh

Basados en esto y en otras fuentes bibliográficas [40], [41], [42], que nos confirman que TCP utiliza el mecanismo de ventana deslizante, procedemos a estudiar este mecanismo basados en [2].

2.2.3. Procedimiento balanceado HDLC

El protocolo HDLC (High-Level Data Link Control, control de enlace síncrono de datos) es un protocolo de comunicaciones que se centra en un modelo de protocolo real cuyo objetivo es captar el efecto de la numeración finita y un proceso específico de control de errores.

El proceso de tipo balanceado para HDLC hace mención a la transmisión de enlace punto a punto. El cual utiliza dos modos de recuperación en caso de error, el primero de ellos es recuperación por REJ o trama rechazada y el segundo es la recuperación por tiempo fuera. La recuperación REJ se usa una sola vez, cuando una trama dada (Una Sola Trama) es recibida con error, la recuperación por tiempo fuera se utiliza como segunda opción después de haber pasado por la primera que es recuperación REJ, si todos los tramas después de la que se considera es perturbada. La Figura 9, muestra en resumen los modos de recuperación.

HDLC tiene tres tipos de tramas, para realizar funciones tales como Manejo del flujo de información, señales de supervisión y control, que corresponden



Figura 9: Análisis versión HDLC [2]

a las tramas: I , S y U . Los campos de la Trama I y de la Trama T_S son respectivamente.



Figura 10: Campos de la Trama I , incluye campo información

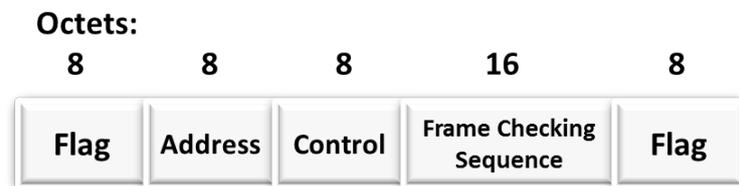


Figura 11: Campos de la Trama T_S , solo campos de control sin campo información

En la Figura 12, se evidencia un ejemplo en la transmisión de cuatro tramas I , cuando sucede error y debe recuperarse mediante REJ o Tiempo fuera:

Para cada uno de los tipos de recuperación se utiliza un procedimiento diferente, el cual dependerá del cumplimiento o no de las condiciones establecidas, la Figura 13, muestra cada una de las condiciones. Estas condiciones implican variables que describiremos más adelante.

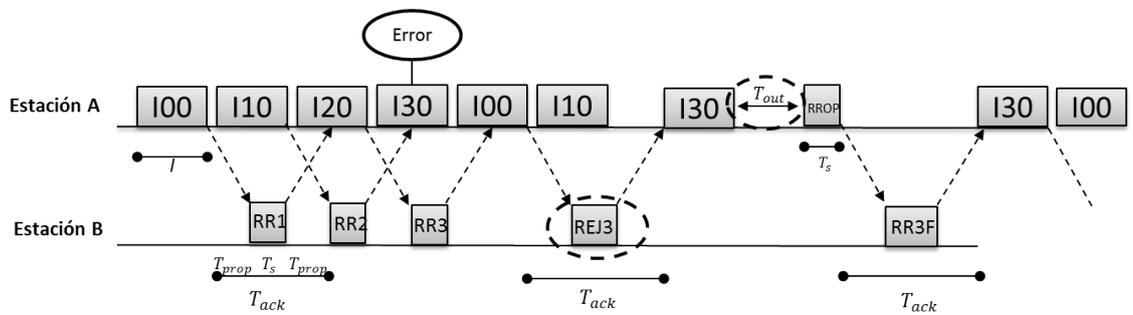


Figura 12: Procedimiento de recuperación de errores

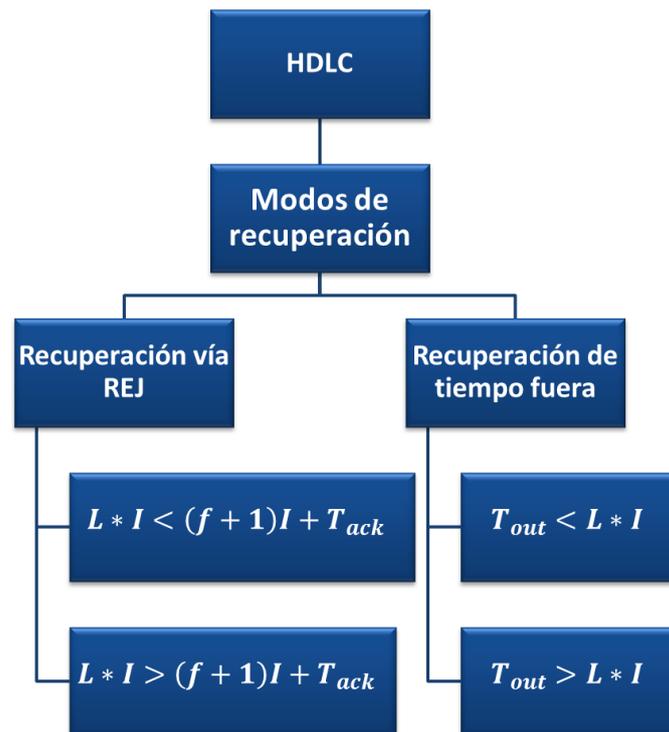


Figura 13: Análisis del rendimiento en HDLC

HDLC es un protocolo que opera en la capa 2, a nivel de enlace, pero debido a la similitud encontrada con TCP, aplicamos este modelo como sigue:

En primer lugar se describen cada una de las variables a utilizar en la ejecución del modelo.

- $\chi = 1 - (1 - BER)^S \rightarrow$ Probabilidad de error en la trama.
- $T_S = \frac{S_c}{TC} \rightarrow$ Trama S -(Supervisory).
- $I = \frac{S}{TC} \rightarrow$ Trama I - (Information).
- $T_{ack} = 2T_{prop} + T_S \rightarrow$ Tiempo de confirmación.
- $T_{out} = 2(T_{prop} + I) \rightarrow$ Tiempo fuera.
- $T_{prop} = \frac{X}{N_{vp}} \rightarrow$ Tiempo de propagación.
- $N_{vp} = \%c \rightarrow$ Velocidad de propagación nominal (UTP Cat6 70%) .
- $M \rightarrow$ Módulo del número de secuencia.
- $L = \min\{M - 2, \lfloor \frac{T_{out}}{I} \rfloor + 1\} \rightarrow$ Número máximo de tramas I que siguen a la que se ve afectada antes de que inicie la recuperación.

El Tiempo promedio requerido para transmitir una trama I esta dado por la ecuación 4 .

$$T_v = I + \chi * E(T_1) + \frac{\chi^2}{(1 - \chi)} * T_2 \quad (4)$$

Donde:

$$E(T_1) = \sum_{f=0}^{L-1} (1 - \chi) * \chi^f * \tau(f) + \chi^L * \tau(L) \quad (5)$$

Donde $\tau(f)$, dependera de:

L tiene un valor pequeño, implica que el tiempo T_{out} es pequeño.

$$\blacksquare L * I < (f + 1) * I + T_{ack}$$

$$\tau(f) = (f + 1) * I + T_{ack} + I \quad (6)$$

L tiene un valor grande, implica que el tiempo T_{out} es grande.

$$\blacksquare L * I > (f + 1) * I + T_{ack}$$

$$\tau(f) = (f + 1) * I + \left[\left\lfloor \frac{T_{ack}}{I} \right\rfloor + 1 \right] * I + I \quad (7)$$

$\tau(f)$ se utiliza cuando hay recuperación por REJ.

Donde $\tau(L)$, dependera de:

El tiempo fuera T_{out} expira durante la transmisión de $L * I$, despues de la trama I dañada.

$$\blacksquare T_{out} < L * I$$

$$\tau(L) = L * I + T_S + T_{ack} + I \quad (8)$$

$$\blacksquare T_{out} > L * I$$

$$\tau(L) = T_{out} + T_S + T_{ack} + I \quad (9)$$

$\tau(L)$ se utiliza cuando hay recuperación por tiempo fuera. $T_2 = \tau(L)$

Finalmente obtenemos la ecuación que muestra la relación de Throughput Normalizado versus el tamaño de la trama para el caso de GE 10.

$$Z_G = \frac{S_d}{T_v * TC} \quad (10)$$

2.2.4. Especificaciones Campo de control para GE

Como vimos en la sección anterior el campo de control S_c , es un valor fijo durante la transmisión. Para el caso de GE este valor dependerá del tamaño de control de la trama Ethernet, de la trama IPV6, y de la trama TCP. Mostramos a continuación cada trama:

Campo S_c en Ethernet 208 bits.

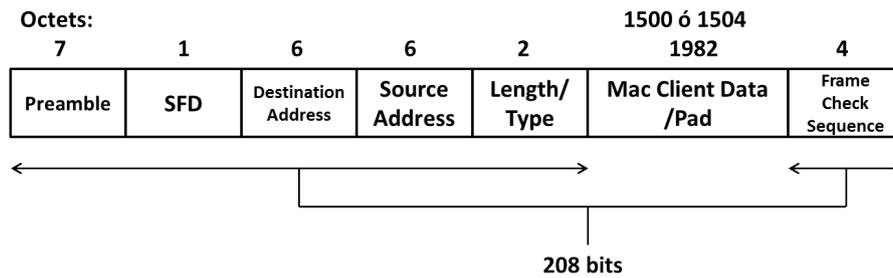


Figura 14: Cabecera Ethernet 802.3

Campo S_c en IPV6 288 bits.

Campo S_c en TCP 160 bits.

En definitiva el valor del campo de control S_c para GE es de 656 bits.

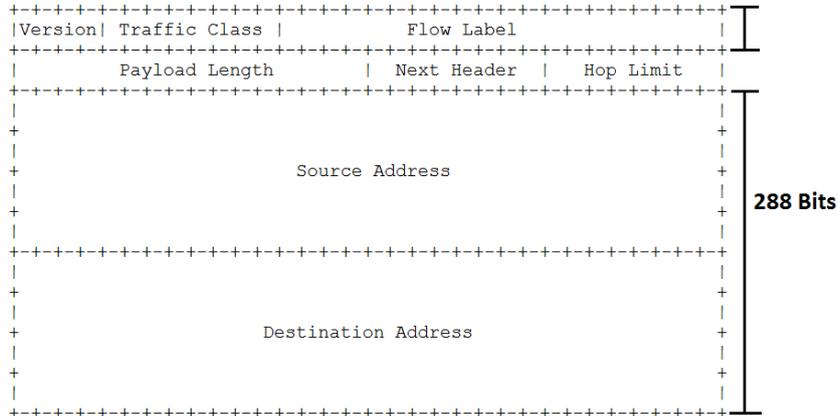


Figura 15: Cabecera IPV6

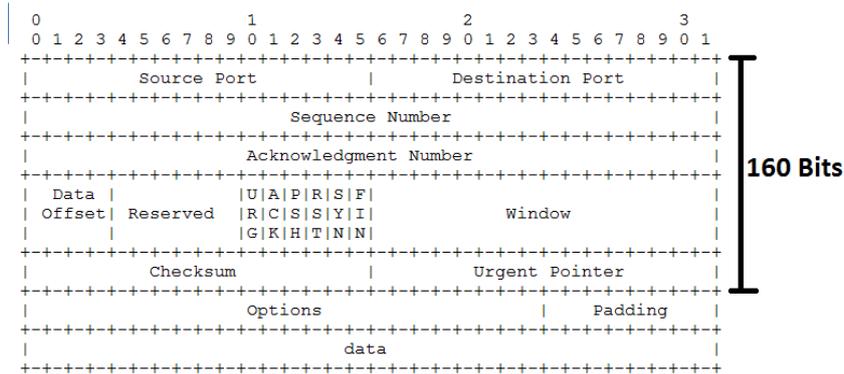


Figura 16: Segmento TCP, 160 bits

2.3. Jumbogramas IPV6

2.3.1. Comparación IPV4 - IPV6

Realizamos una comparación entre la cabecera IPV4 y la cabecera IPV6, con el objeto de observar los nuevo tamaños que permite IPV6.

En primer lugar IPV4 tiene dos campos de longitud, Header Length o tamaño de la cabecera y Total Length o tamaño total, que implica la longitud de un datagrama completo, como se ve en la Figura 17.

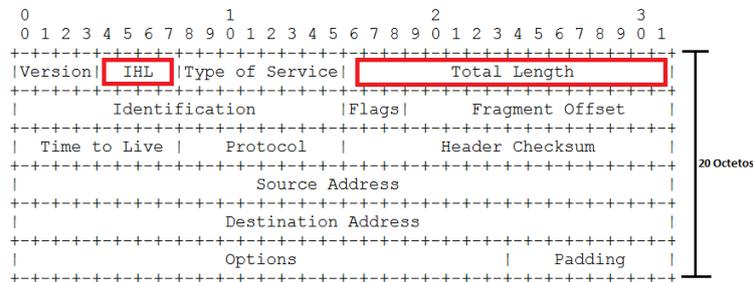


Figura 17: Cabecera IPV4: RFC-791 [3]

En IPV6 el campo de Payload Length o Tamaño de la carga útil, dispone de 16 bits que es el máximo tamaño para la carga útil 65.535 Bytes, a diferencia de IPV4, IPV6 tiene un campo de cabeceras de extensión, Next Header o cabecera siguiente, tal como su nombre lo indica permitirá la transmisión de más datos. Como se ve en la Figura 18.

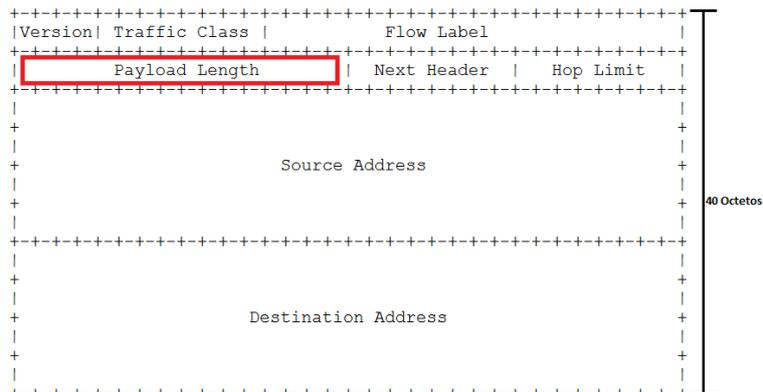


Figura 18: Cabecera IPV6: RFC-2460 [4]

- **Cabecera de Extensión**

La cabecera IPV6 tiene 40 octetos fijos, para procesar las opciones y excepciones se utilizan las cabeceras de extensión. En IPV6 la información opcional de la de internet se codifica en cabeceras separadas que pueden ser colocados entre la cabecera IPV6 y la cabera de capa superior en un paquete. Como se evidencia en la Figura 19, cada tipo de extensión de cabecera se identifica mediante un valor de cabecera siguiente.

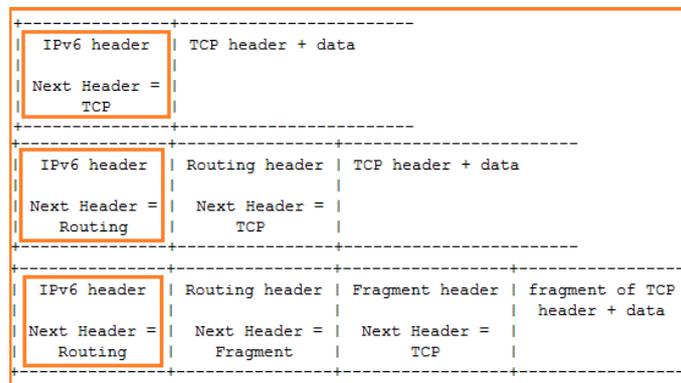


Figura 19: Cabecera de extension de IPv6

2.3.2. Jumbogramas

El máximo tamaño de un paquete en IPV4 tiene un valor de $2^{16} - 1$ bytes, con el objetivo de transmitir paquetes más largos que 2^{16} , se requiere de la aplicación de jumbogramas de IPV6 [43], [44], [45], Para un análisis más específico de la migración a IPV6 y el uso de jumbogramas en [46].

Según la RFC 2675 [47], un Jumbograma “Es un paquete IPV6 que contiene una carga útil de más de 65.535 Bytes”. En la Figura 20, se muestra el formato de la opción Jumbo Payload, está lleva un campo de longitud de 32 bits con el fin de permitir la transmisión de paquetes IPV6 con carga útil entre 65.536 Bytes y 4.299.967.295 Bytes.

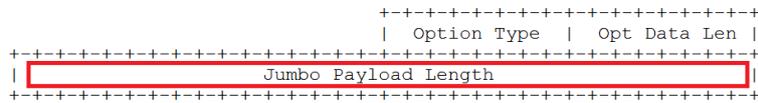


Figura 20: Formato de la opción Jumbo Payload

■ Cabecera Jumbograma

Para utilizar jumbogramas se necesita que en el campo Next header este la opción Hop-By-Hop, la cual identifica un Jumbograma y contiene un valor de 32 bits especificando el tamaño del datagrama. Así que los Jumbogramas tienen un máximo de 4.294.967.295 (2^{32}). En la Figura 21, se muestra la cabecera de un Jumbograma, en esta cabecera se encuentra contenida cada uno de los campos descritos anteriormente.

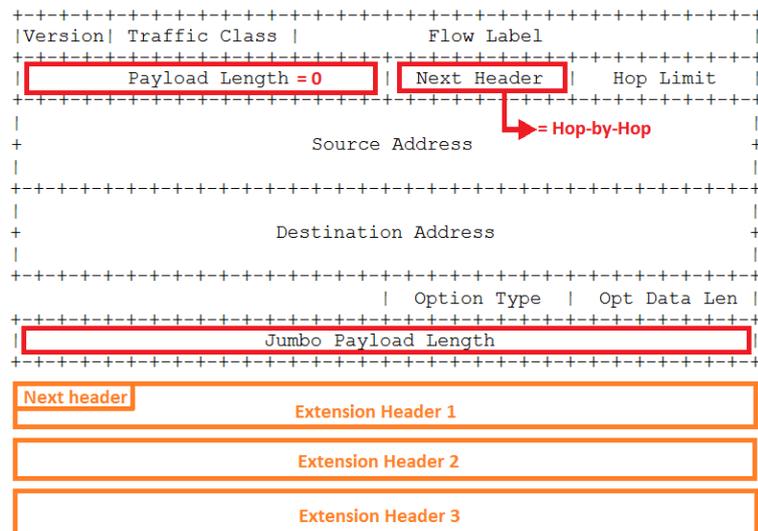


Figura 21: Cabecera Jumbograma

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Analizar el rendimiento de la capacidad máxima de transmisión en dos tipos de enlaces de redes, aplicando Jumbogramas de IPV6.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar matemáticamente las características de rendimiento del enlace WIFI 802.11n y Gigabit ethernet.
- Determinar las características del nivel de enlace y de sus tramas en los enlaces WIFI 802.11n y Gigabit Ethernet, para la realización de sus respectivas simulaciones.
- Evaluar el uso de MTU más grandes para su aplicación con Jumbogramas IPv6.
- Encontrar el valor máximo de paquetes, al máximo rendimiento y evaluar su desempeño con respecto a los valores actuales.

4. Procedimiento

4.1. Análisis Matemático y Resultados sobre Wifi 802.11n

Después de analizar el campo de QoS, el parámetro principal es la política de entrega de ACK en el receptor. Basados en la información recopilada se determino que la tecnología Wi-Fi obtiene reconocimientos en el receptor, debido al tipo de tecnología se realiza una transmisión dúplex y la transmisión de tramas permanece constante. Las tramas de datos se transmiten de forma continua, sin esperar un ACK, con el fin de utilizar todo el ancho de banda disponible en el canal. La trama se transmite cuando es recibido un NACK o el tiempo de espera expira. Tener una transmisión continua es una gran ventaja, ya que mejora el rendimiento, especialmente si el retardo no es importante en comparación con el tiempo de transmisión de la trama.

Con el fin de encontrar Z , que es *Normalized Throughput*, se deben evaluar los parámetros que intervienen en el resultado de este valor. Por lo tanto, es importante determinar los parámetros que muestran cambios y los que no lo hacen. De acuerdo con el estándar 802.11n, la capacidad de transmisión admitida es a partir de 54 Mbps hasta los 600 Mbps, lo que también se observa en [12], [48]. Generalmente la distancia usada en WIFI 802.11 es de máximo 100 Km [49]. Por otro lado los valores de BER usados sobre WIFI estan alrededor de $1x10^{-4}$, $1x10^{-5}$, $1x10^{-6}$, $1x10^{-7}$, [26], [16].

Basados en los datos anteriores, procedemos a relacionar estos parámetros (distancia, capacidad y BER) como sigue a continuación:

1. La distancia permanece en un valor fijo, mientras el valor de la capacidad y BER cambia.
2. La capacidad permanece en un valor fijo, mientras el valor de la distancia y BER cambia.
3. El BER permanece en un valor fijo, mientras el valor de la distancia cambia.

A continuación realizamos el análisis de los resultados más representativos,

para ver de forma específica cada una de las simulaciones realizadas en detalle, ver ([Manual_wifi.pdf](#), Manual del Usuario enlace WIFI).

4.1.1. Valor fijo de Distancia

Para dar cumplimiento al análisis se proponen cuatro escenarios, con el fin de evaluar la posible variación que puede ocurrir cuando los parámetros que afectan a Z cambian. El Cuadro 2 muestra cómo varía la capacidad, cuando la distancia es constante en 1 km, junto con los escenarios a evaluar.

Cuadro 2: Escenarios cuando la distancia es un valor fijo y la capacidad varía

ESCENARIO	CAPACIDAD	BER
1	150 Mbps	$1x10^{-4}$ $1x10^{-5}$ $1x10^{-6}$ $1x10^{-7}$
2	300 Mbps	$1x10^{-4}$ $1x10^{-5}$ $1x10^{-6}$ $1x10^{-7}$
3	450 Mbps	$1x10^{-4}$ $1x10^{-5}$ $1x10^{-6}$ $1x10^{-7}$
4	600 Mbps	$1x10^{-4}$ $1x10^{-5}$ $1x10^{-6}$ $1x10^{-7}$

Escenario 1 se ilustra en la Figura 22, donde cada línea de la gráfica corresponde a un valor de BER.

El Cuadro 3 lista los resultados de la evaluación de los cuatro escenarios. Se muestra el mismo valor para el tamaño de los datos, (Data Size), medido en bits el cual corresponde al eje x de la gráfica.

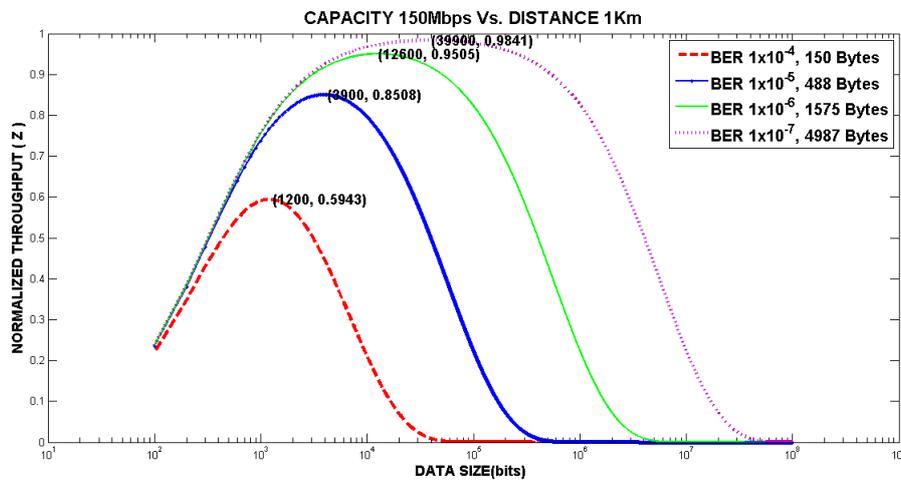


Figura 22: Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 1, diferentes valores de BER para una capacidad de 150 Mbps y una distancia de 1 Km

Cuadro 3: Valor de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando la capacidad varia y la distancia permanece fija

Capacidad Vs Distancia	BER	Z(y)	Data Size(x)	Bytes
150 Mbps vs 1 km	1×10^{-4}	0.5943	1200	510
300 Mbps vs 1 km	1×10^{-5}	0.8508	3900	488
450 Mbps vs 1 km	1×10^{-6}	0.9505	12600	1575
600 Mbps vs 1 km	1×10^{-7}	0.9841	39900	4987

4.1.2. Valor fijo de Capacidad

El siguiente parámetro a evaluar es la capacidad, como se mostro en la sección anterior, relacionar un valor fijo en la distancia con diferentes valores en la capacidad no mostro ningun cambio. De manera que realizamos la simulación para el enlace WIFI, para diferentes valores en la distancia y un valor constante en la capacidad de 300Mbps. Los escenarios a evaluar estan definidos en el Cuadro 4.

El escenario número 2 se muestra en la Figura 23, donde cada línea es un valor correspondiente de BER, con una distancia de 25 Km.

Cuadro 4: Escenarios cuando la capacidad tiene un valor fijo y la distancia varia

ESCENARIO	DISTANCIA	BER
1	5 Km	1×10^{-4}
		1×10^{-5}
		1×10^{-6}
		1×10^{-7}
2	25 Km	1×10^{-4}
		1×10^{-5}
		1×10^{-6}
		1×10^{-7}
3	50 Km	1×10^{-4}
		1×10^{-5}
		1×10^{-6}
		1×10^{-7}
4	100 Km	1×10^{-4}
		1×10^{-5}
		1×10^{-6}
		1×10^{-7}

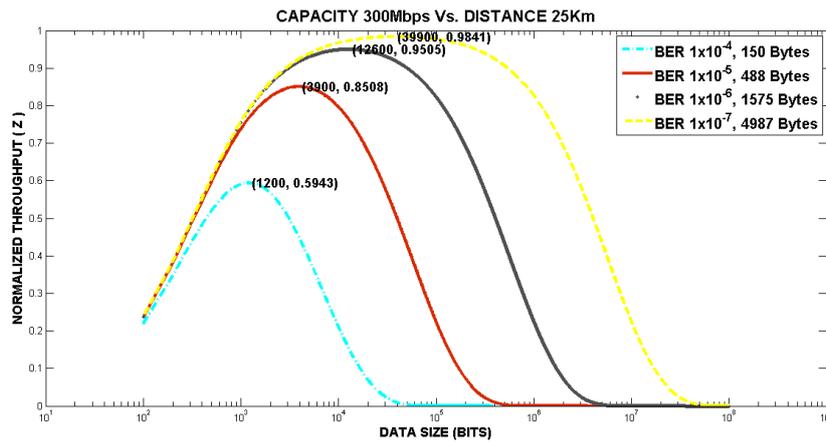


Figura 23: Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 2, diferentes valores de BER para una capacidad de 300 Mbps y una distancia de 25 Km

La Figura 24 representa el escenario número 3, donde cada línea representa un valor de BER correspondiente, cuando la distancia es de 50 Km.

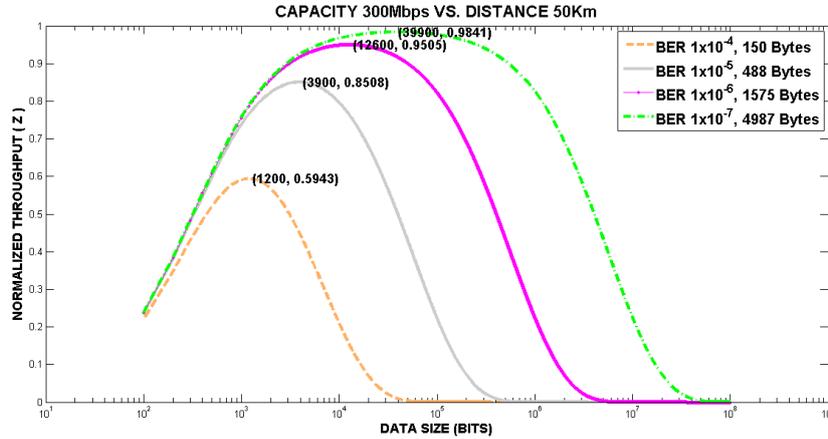


Figura 24: Normalized Throughput Vs Data Size. Escenario 3, diferentes valores de BER para una capacidad de 300 Mbps y una distancia de 50 Km

El Cuadro 5 muestra los resultados despues de realizar la simulación correspondiente en la Figura 23 y 24. El maximo valor alcanzado en las Figuras 23 y 24 representa el valor de MTU, lo podemos ver acontinuación en la columna de Bytes.

Cuadro 5: Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando la capacidad es fija y la distancia varia en 25Km y 50Km

Capacidad VS Distancia	BER	Z(y)	Data Size(x)	Bytes
300 Mbps vs 25 km	1×10^{-4}	0.5943	1200	510
	1×10^{-5}	0.8508	3900	488
	1×10^{-6}	0.9505	12600	1575
	1×10^{-7}	0.9841	39900	4987
300 Mbps vs 50 km	1×10^{-4}	0.5943	1200	150
	1×10^{-5}	0.8508	3900	488
	1×10^{-6}	0.9505	12600	1575
	1×10^{-7}	0.9841	39900	4987

Resumiendo los resultados obtenidos en la figuras 22, 23 y 24, despues de considerar la capacidad y la distancia como parámetro de Z, una capacidad constante y varios valores en distancia en la relacion Throughput Normal-

izado Z no muestran cambio, y el tiempo de propagación depende de la distancia.

4.1.3. Valor fijo de BER

Del anterior análisis se puede concluir que los resultados son independientes de los cambios que se realicen en capacidad y en distancia. Ver Cuadro 3 y Cuadro 5. De manera que dirigimos la atención a graficar bajo un solo valor de BER y diferentes valores en la distancia. Procedemos entonces a evaluar el siguiente escenario, con los siguientes parámetros. Como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Escenario cuando el valor de la capacidad y del BER es fijo, y la distancia varia

SCENARIO	CAPACITY	DISTANCE	BER
1	300 Mbps	5 Km, 25Km, 50Km, 100Km	1×10^{-6}

Escenario 1 se muestra en la Figura 26.

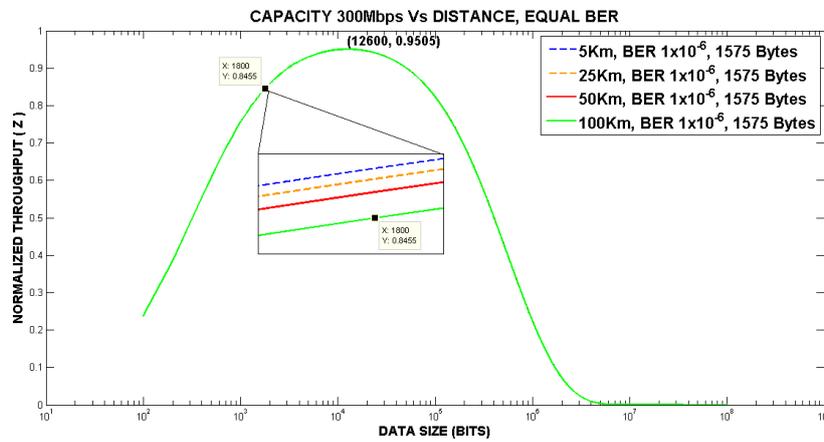


Figura 25: Normalized Throughput Vs Data Size. Valor fijo para BER para una capacidad de 300 Mbps y distancia de 5 Km, 25 Km, 50 Km y 100 Km

El maximo valor alcanzado en la Figura 26 es 12600 bits, que son 1575 Bytes. El Cuadro 7, muestra los resultados despues de realizar los calculos correspondientes en la Figura 26.

Cuadro 7: Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando el BER y la capacidad son valores fijos y la distancia varia

Capacidad Vs Distancia	BER	Z(y)	Data Size(x)	Bytes
300 Mbps vs 5 km	$1x10^{-6}$	0.9505	12600	1575
300 Mbps vs 25 km	$1x10^{-6}$	0.9505	12600	1575
300 Mbps vs 50 km	$1x10^{-6}$	0.9505	12600	1575
300 Mbps vs 100 km	$1x10^{-6}$	0.9505	12600	1575

4.1.4. Aplicación con Jumbogramas

Para ilustrar cual seria el valor de BER que permitiria el uso de jumbogramas, es necesario tener en cuenta que el uso de jumbogramas sera permitido cuando el valor de 65535 Bytes sea excedido. Graficamos con una escala de variación de 0.1 con los valores mostrados en el Cuadro 8. Sin embargo en la Figura 26 se muestra el minimo valor necesario en BER para utilizar jumbogramas.

Cuadro 8: Diferentes valores de BER con el maximo valor alcanzado medido en Bytes, MTU. Escala de variación de 0.1

BER	MTU (Bytes)
$1x10^{-8}$	15800
$1x10^{-9}$	49988
$1x10^{-10}$	158100
$1x10^{-11}$	499975
$1x10^{-12}$	1581100
$1x10^{-13}$	4999000
$1x10^{-14}$	12500000
.	.
.	.
.	.
$1x10^{-22}$	12500000

De acuerdo a la Figura 26, es permitido usar jumbogramas cuando el BER es menor que $1x10^{-10}$ es decir en 158100 Bytes, esto significa que el tamaño de 65535 Bytes es excedido. Despues de un valor de $1x10^{-14}$ el valor en bytes se mantiene constante como se ve en el Cuadro 8.

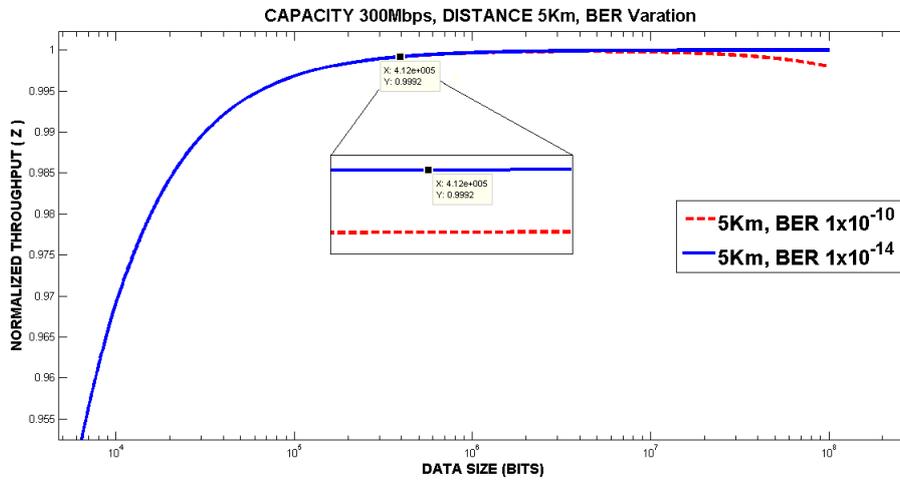


Figura 26: Normalized Throughput Vs Data Size. Capacidad de 300Mbps con una distancia de 5 Km, valor minimo para usar Jumbogramas

4.2. Análisis Matemático y Resultados sobre Gigabit Ethernet

Para realizar el análisis matemático sobre GE, se deben tener en cuenta algunos parámetros físicos que debemos modificar para la obtención de los resultados. Según el estándar 802.3 ab [35], la capacidad máxima de transmisión es 1 Gbps, la distancia máxima es de 100 m, sin embargo se han realizado simulaciones con valores de hasta 1500m [50]. Los márgenes de operación garantizan un BER de 1×10^{-10} , otros valores menores se evidencian en [51]. En GE el número de la ventana o también conocido como el número de secuencia M puede ser igual a 4, 8, 128, si el número aumenta ocasionaremos mayor probabilidad de que ocurra error, pues contemplamos el peor de los casos. Partiendo de estos datos procedemos a relacionar estos parámetros (distancia, capacidad y BER) como sigue a continuación:

1. Variación de la distancia, capacidad fija, diferentes valores de BER.
2. Variación de la capacidad, distancia permanece fija igual que el BER.
3. Variación del BER, distancia y capacidad fija.

A continuación realizamos el análisis de los resultados más representativos, para ver de forma específica cada una de las simulaciones realizadas en

detalle ver ([Manual_GE.pdf](#), Manual del Usuario enlace GE)

4.2.1. Capacidad Fija

Para dar cumplimiento al análisis se proponen tres escenarios, con el fin de evaluar la posible variación que puede ocurrir cuando los parámetros que afectan a Z cambian. El Cuadro 9 muestra cómo varía la distancia, cuando la capacidad es constante en 1 Gbps, junto con los escenarios a evaluar.

Cuadro 9: Escenarios cuando la distancia varia, la capacidad permanece en 1Gbps, M es 128 para diferentes valores de BER

ESCENARIO	DISTANCIA	BER
1	100 m	$1x10^{-10}$
		$1x10^{-11}$
		$1x10^{-12}$
2	500 m	$1x10^{-10}$
		$1x10^{-11}$
		$1x10^{-12}$
3	1000 m	$1x10^{-10}$
		$1x10^{-11}$
		$1x10^{-12}$

El escenario 1, se gráfica en la Figura 27.

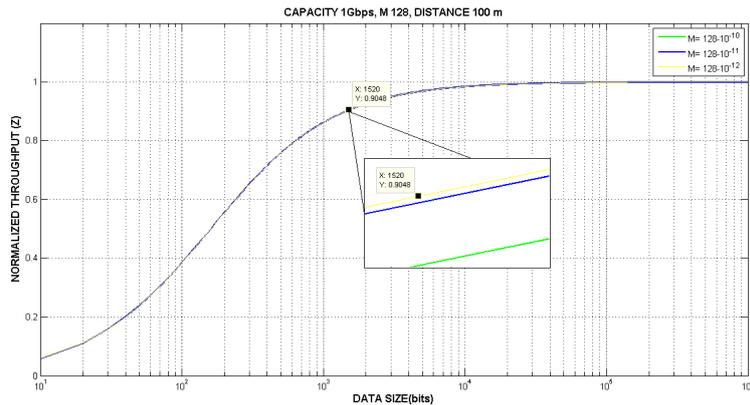


Figura 27: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128

El escenario 2, se gráfica en la Figura 28.

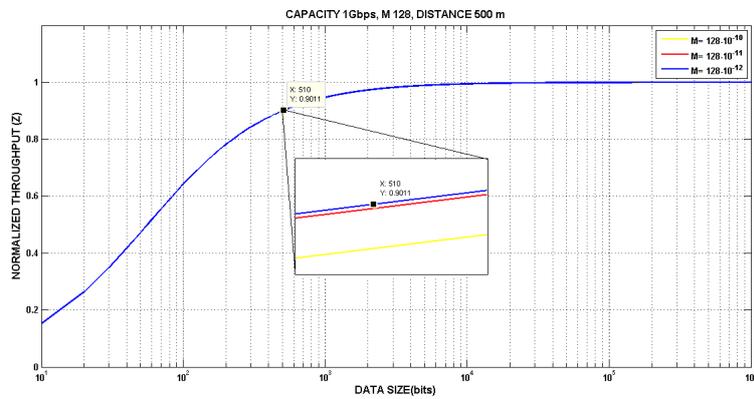


Figura 28: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 500m y M es 128

El escenario 3, se gráfica en la Figura 29.

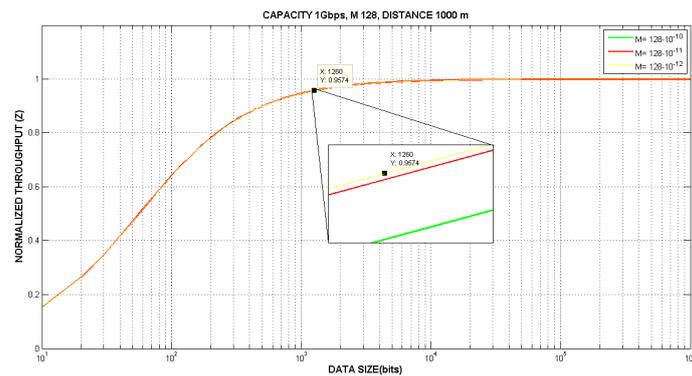


Figura 29: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 1000 m y M es 128

En el Cuadro 10 se muestran los valores máximos obtenidos, tanto en Bytes como en Z , tras variar la distancia para diferentes valores.

En el Cuadro 10, se evidencio que los valores de Z y el tamaño de los datos en Bytes, son similares, por lo tanto planteamos el escenario del Cuadro 11 donde la distancia tiene un valor mínimo de 100m y un máximo de 10^9 m.

Cuadro 10: Valores de Z, Data Size en Bytes. Cuando la distancia varia, el BER ($1x10^{-10}$) y la capacidad (1Gbps) son valores fijos

Distancia (m)	1	10	50	100	500
Data Size (B)	185 K	185 K	185 K	185 K	185 K
Z	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991
Distancia (m)	1000	5000	10000	46000	50000
Data Size (B)	185 K	185 K	185 K	185 K	185 K
Z	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991
Distancia (m)	100000	350000	500000	700.000	1000.000
Data Size (B)	185 K	208 K	198 K	208K	238 K
Z	0.9991	0.9989	0.9988	0.9986	0.9983

Cuadro 11: Escenario cuando la distancia varia, la capacidad permanece en 1Gbps, M es 128 para un valor de BER $1x10^{-10}$

ESCENARIO	DISTANCIA	BER
1	$10^2m, 10^9m$	$1x10^{-10}$

En la Figura 30 se muestra los resultados del escenario 1. La Figura 30, nos muestra que cuando la distancia es muy grande el rendimiento disminuye. De igual manera al ser este valor muy grande se hace evidente los diferentes valores al finalizar la curva, esto es por cada una de las condiciones que pueden suceder, si la recuperación se realiza por REJ o tiempo fuera.

Como vimos anterioremente variar la distancia no evidencia ningún cambio, sin embargo los cambios son evidentes en los valores asignados de BER como se muestra en la Figura 31, dejar una valor determinado de distancia fijo y variar el BER, incrementa el valor del tamaño de los datos a usar.

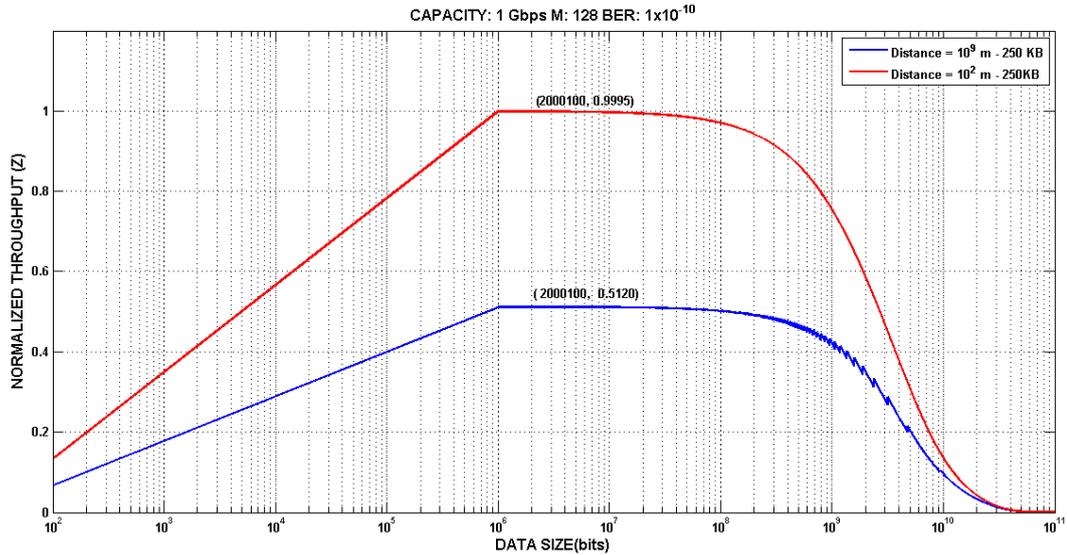


Figura 30: Normalized Throughput vs. Data Size. Diferentes valores en la distancia cuando la capacidad es 1Gbps, el BER es 1×10^{-10} y M es 128

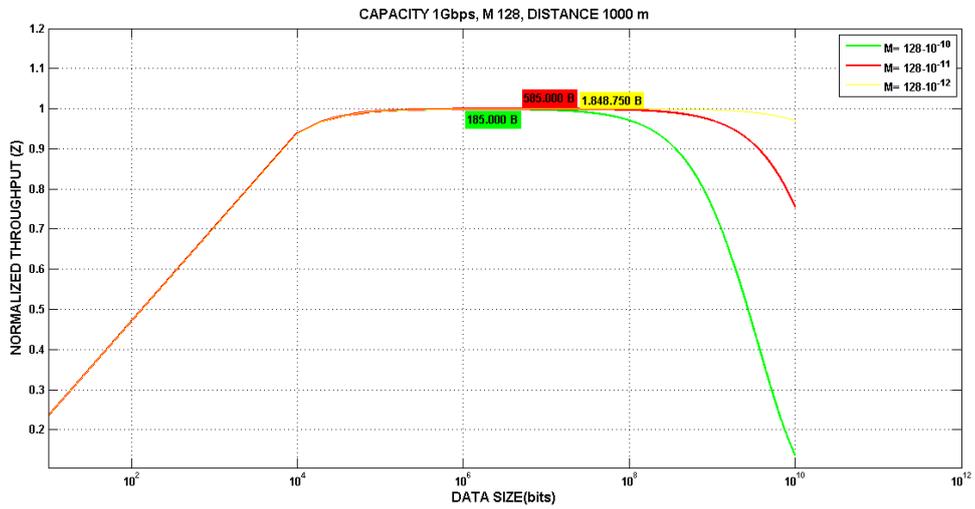


Figura 31: Normalized Throughput vs. Data Size. Diferentes valores de BER distancia y capacidad son valores fijos y M es 128

4.2.2. Distancia Fija

El siguiente parámetro a evaluar es la distancia, como se mostro en la sección anterior, relacionar un valor fijo en la capacidad con diferentes valores en la distancia no mostro ningun cambio. De manera que realizamos la simulación para diferentes valores en la capacidad y un tomamos un valor constante en la distancia de 100m. El escenario a evaluar está definido en el Cuadro 12

Cuadro 12: Escenarios cuando la capacidad varia, la distancia permanece en 100, M es 128 para un valor de BER 1×10^{-10}

ESCENARIO	CAPACIDAD	BER
1	1000 Mbps 500 Mbps 250 Mbps	1×10^{-10}

En la Figura 32, se muestra el escenario 1, cada línea corresponde a un valor de capacidad.

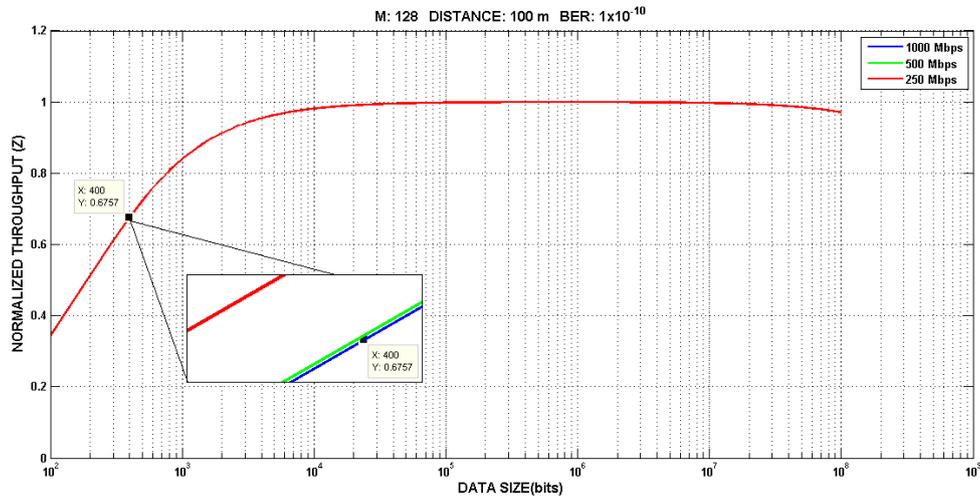


Figura 32: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de capacidad cuando la distancia es 100m, BER 1×10^{-10} y M es 128

En el Cuadro 13, muestra los valores máximos en Z y en Bytes, cuando tomamos diferentes valores en la capacidad.

Cuadro 13: Valores de BER, Z, Data Size y Bytes. Cuando el BER es 1×10^{-10} y la distancia es fija, mientras la capacidad varia

Capacidad (Mbps)	1000	500	250	125	60	0.500
Data Size (B)	185 K					
Z	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991

Como vimos anteriormente al variar la capacidad no se evidencia ningún cambio, sin embargo los cambios son evidentes en los valores asignados de BER como se muestra en la Figura 33, dejar una valor fijo de capacidad y variar el BER, incrementa el valor del tamaño de los datos a usar.

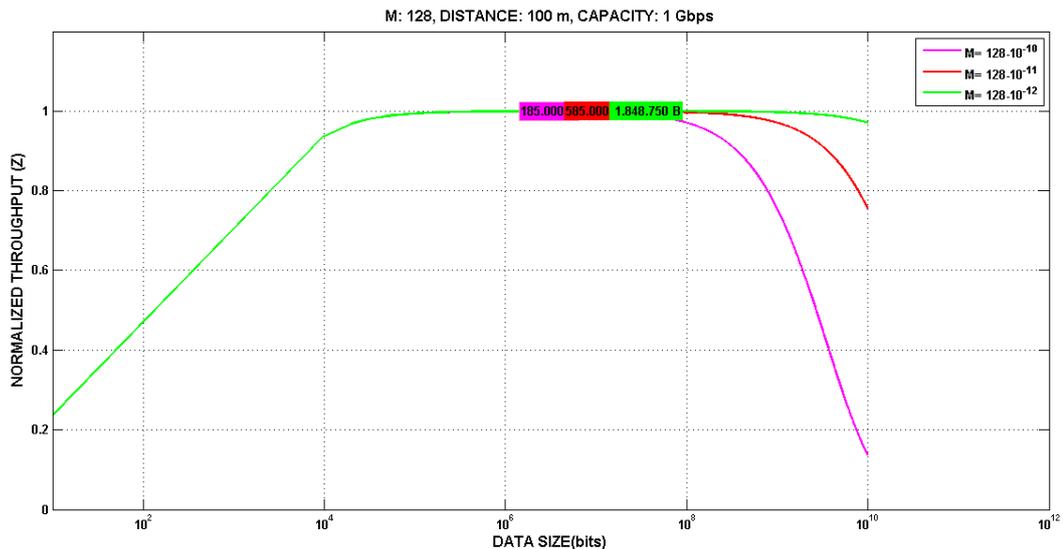


Figura 33: Normalized Throughput vs. Data Size. La capacidad es un valor fijo 1Gbps para diferentes valores de BER

4.2.3. Variación del BER

Del anterior análisis se puede concluir que los resultados son independientes de los cambios que se realicen en capacidad y en distancia, como en las Figuras 33 y 31. De manera que dirijimos la atención a graficar varios valores de BER para ver el incremento en el tamaño de los datos. Procedemos entonces a evaluar el siguiente escenario, con los siguientes parámetros. Como

se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Escenarios cuando M varia, la capacidad permanece en 1Gbps, la distancia en 100m, para diferentes valores de BER

ESCENARIO	M	BER
1	8	1×10^{-10}
		1×10^{-12}
		1×10^{-14}
		1×10^{-16}
		1×10^{-18}
2	128	1×10^{-10}
		1×10^{-12}
		1×10^{-14}
		1×10^{-16}
		1×10^{-18}

En la Figura 34, se grafica el escenario 1, cuando la ventana tiene un valor M igual a 8.

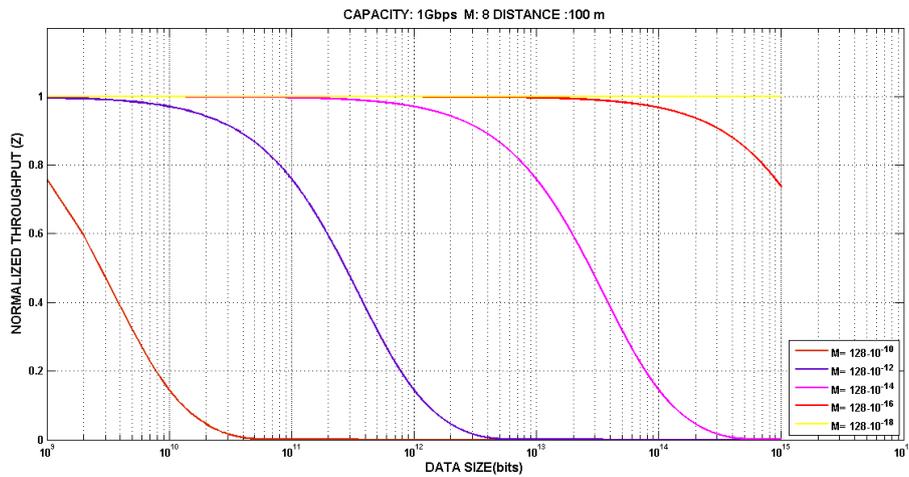


Figura 34: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 8

En la Figura 35, se grafica el escenario 3, cuando la ventana tiene un valor M igual a 128.

De manera que gracias a las Figuras 34 y 35 inferimos que el valor de la ventana M no es relevante.

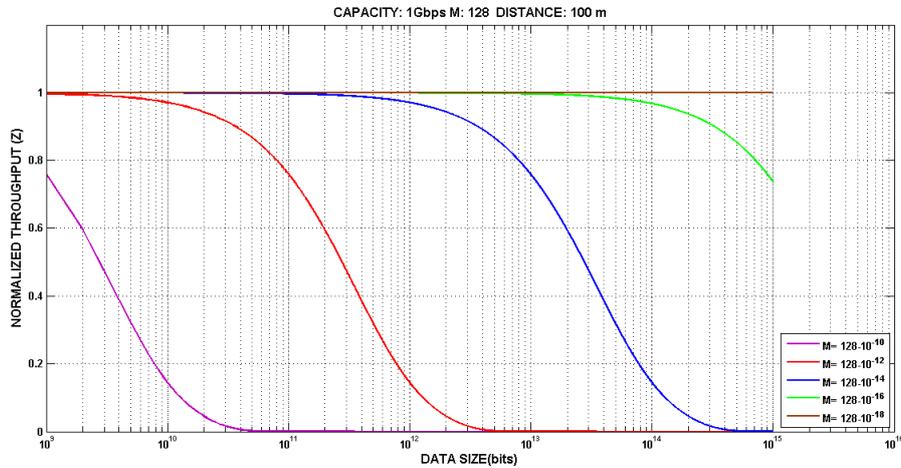


Figura 35: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128

Cuadro 15: Valores de BER, Z, Data Size en Bytes. Cuando el BER varia, mientras la capacidad y la distancia permanecen fijas

BER	$1x10^{-10}$	$1x10^{-12}$	$1x10^{-14}$	$1x10^{-16}$	$1x10^{-18}$
Data Size (B)	1250 K	185 K	185 K	185 K	185 K
Z	0.9969	0.9999	1.0	1.0	1.0

En la Figura 36, realizamos un zoom en un punto aleatorio con el fin de ver como decremanta el valor del BER y la distancia que hay entre uno y el otro, es decir cual de ellos empieza primero, así que a medida que el BER decremanta el valor inicial es mayor.

- **Valores maximos alcanzados para diferentes valores de BER**

En la Figura 37, buscamos el valor máximo obtenido en bytes para cada uno de los valores de BER.

Resumiendo los valores obtenidos anteriormente en el Cuadro 15.

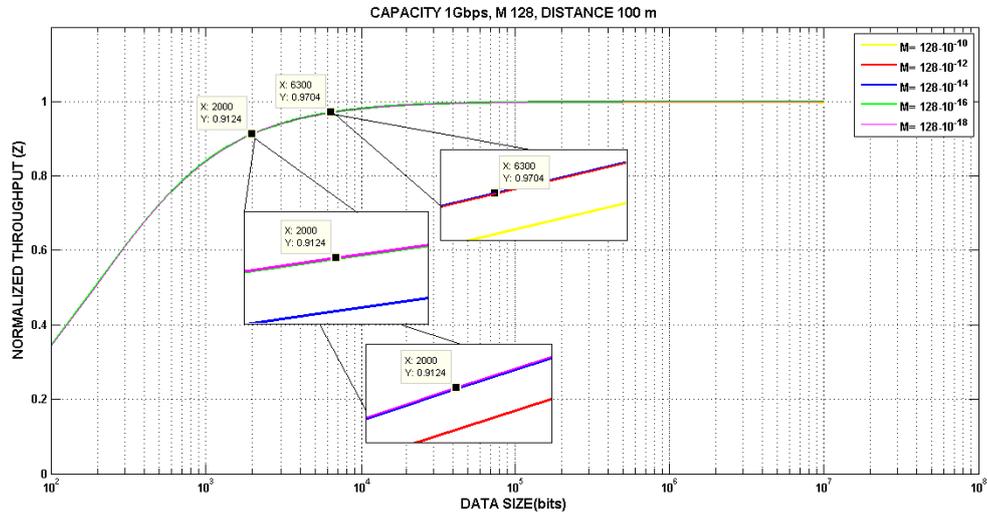


Figura 36: Normalized Throughput vs. Data Size, Diferentes valores de BER en detalle cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 128

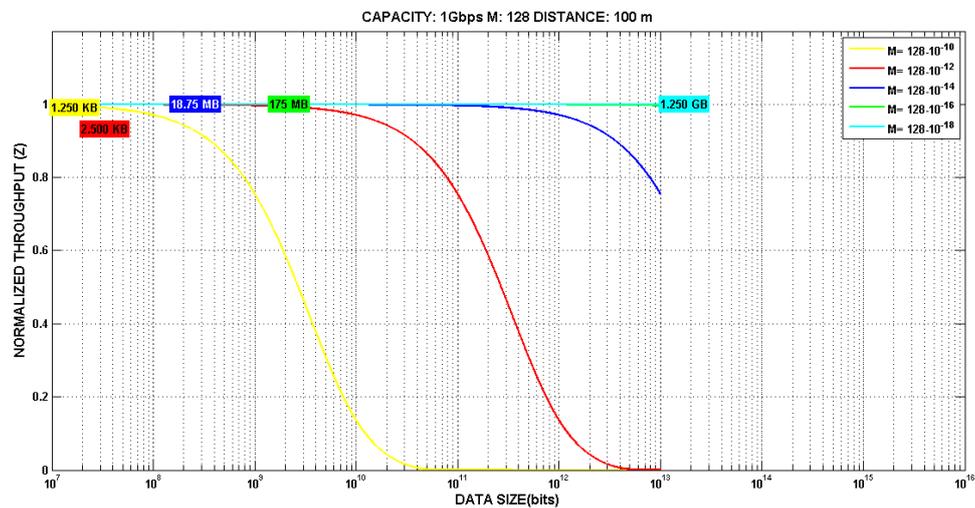


Figura 37: Normalized Throughput vs. Data Size, Valores maximos alcanzados para diferentes valores de BER cuando la capacidad es 1Gbps, distancia de 100m y M es 8

4.2.4. Aplicación de Jumbogramas en Gigabit ethernet

Para ilustrar cual seria el valor de BER que permitiria el uso de jumbogramas, nos referimos a la Figura 15, es necesario tener en cuenta que el uso de jumbogramas sera permitido cuando el valor de 65535 Bytes sea excedido. Tomamos valores de BER con una escala de variación de 0.1 con los valores mostrados en el Cuadro 16, (Columna BER) Obteniendo un valor de MTU respectivamente.

Cuadro 16: Diferentes valores de BER con el maximo valor alcanzado medido en Bytes, MTU. Escala de variación de 0.1

BER	MTU (Bytes)
$1x10^{-10}$	1.250 K
$1x10^{-11}$	1.250 K
$1x10^{-12}$	2.500 K
$1x10^{-13}$	6.250 K
$1x10^{-14}$	18,75 M
$1x10^{-15}$	58,75 M
$1x10^{-16}$	175 M
$1x10^{-17}$	1.250 G
.	.
.	.
.	.
$1x10^{-25}$	1.250 G

Del Cuadro 16, concluimos que es posible utilizar jumbogramas utilizando un BER de $1x10^{-10}$, al decrementar el BER la MTU va aumentando progresivamente como es de esperarse. Por otro lado despues de un BER menor a $1x10^{-17}$ el tamaño de MTU permanece constante, de manera que no es necesario decrementarlo más que este número ya que obtendremos el mismo valor.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Para el caso de la tecnología WiFi es evidente que la capacidad no es una variable que define el máximo valor de bits en la transmisión. Desde el análisis matemático T_i tiene un valor muy pequeño ($T_i = S/TC$), pues al incrementar TC valor que está del orden de los 55 Mbps y S valor mucho menor, esta relación tendera a 0, lo que hace insignificante variar la capacidad dentro de la ecuación. De igual manera la distancia no es un valor que afecte la relación Z , ninguno de los dos anteriores parámetros evaluados permite el incremento del tamaño de los datos y en consecuencia el uso de Jumbogramas.

En definitiva el único parámetro físico de los evaluados que permite la aplicación de Jumbogramas es el BER. Con un BER de $1x10^{-10}$, es permitido usar Jumbogramas. No es necesario decrementar el BER más de $1x10^{-14}$ por que el valor de los datos permanece constante. Sin embargo los valores comercialmente usados para WiFi en BER son mayores a $1x10^{-7}$, por tal motivo hasta que no se realice una modificación a nivel de software no es permitido usar Jumbogramas para está tecnología.

En el caso de la tecnología GE, sucede lo mismo en cuanto a los parámetros de capacidad y distancia, pues no son relevantes para el uso de Jumbogramas. Sin embargo cuando la distancia es muy grande 10^9 m, Z disminuye notoriamente en comparación con distancias comercialmente usadas, así mismo para valores de distancia muy grandes las condiciones de recuperación son más notorias que en caso contrario.

Como vimos el valor mínimo de BER para transmitir en GE es $1x10^{-10}$, y apartir de este valor ya es posible el uso de Jumbogramas. De manera que con los valores actuales en GE, está puede aplicar Jumbogramas en el envío de datos. Como vimos en el desarrollo de GE, gracias a que permite disminuir el tamaño del BER es posible incrementar el MTU con valores de 1250 GBytes desde el análisis teórico no practico. No es necesario decrementar el BER más de $1x10^{-18}$ por que el valor de los datos permanece constante. En general incrementar el valor de la MTU crea la oportunidad de usar Jumbogramas.

En cuanto al trabajo futuro se sugiere realizar el mismo análisis para otras tecnologías. De igual manera plantear un estudio a nivel de software que

permita la aplicación de lo estudiado.

Referencias

- [1] J. Postel, “Rfc 793: Transmission control protocol, september 1981,” *Status: Standard*, 2003. (document), 2.2.2, 7
- [2] M. Schwartz, E. Anica, H. Ortiz, and Y. Parra, *Redes de telecomunicaciones: protocolos, modelado y análisis*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1994. (document), 2.1.1, 2.1.3, 2.2.2, 9
- [3] J. Postel, “Rfc 791: Internet protocol,” 1981. (document), 17
- [4] S. Deering and R. Hinden, “Rfc 2460 internet protocol,” *Version*, vol. 6, pp. 1998–12. (document), 18
- [5] R. Yang, R. van der Mei, D. Roubos, F. Seinstra, G. Koole, and H. Bal, “Modeling just-in-time communication in distributed real-time multimedia applications,” in *Cluster Computing and the Grid, 2008. CC-GRID’08. 8th IEEE International Symposium on*, pp. 518–525, IEEE, 2008. (document)
- [6] R. El-Marakby, “Local dynamic qos control for large real-time multimedia sessions,” in *Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on*, vol. 6, pp. 6–pp, IEEE, 2002. (document)
- [7] S. Liu, L. Han, X. Zhang, and K. Nie, “Study of network performance measurement based on snmp,” in *Computer Supported Cooperative Work in Design, 2004. Proceedings. The 8th International Conference on*, vol. 2, pp. 119–123, IEEE, 2004. 2.1.1
- [8] Y. Hou, Y. Dong, and Z. Zhang, “Network performance measurement and analysis-part 1: a server-based measurement infrastructure,” 1998. 2.1.1
- [9] T. Yelemou, J. Ledy, B. Hilt, A. Poussard, and P. Meseure, “Performance comparison of ber-based routing protocols under realistic conditions,” in *Local Computer Networks (LCN), 2011 IEEE 36th Conference on*, pp. 259–262, IEEE, 2011. 2.1.1, 2.1.2
- [10] A. Otefa, N. ElBoghdady, and E. Sourour, “Performance analysis of 802.11 n wireless lan physical layer,” in *Information and Communica-*

- tions Technology, 2007. *ICICT 2007. ITI 5th International Conference on*, pp. 279–288, IEEE, 2007. 2.1.1
- [11] T. Hou, L. Tsao, and H. Liu, “Analyzing the throughput of ieee 802.11 dcf scheme with hidden nodes,” in *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*, vol. 5, pp. 2870–2874, IEEE, 2003. 2.1.1
- [12] W. Wen and D. Liu, “An adaptive retry scheme for delay-constrained service transmission in 802.11 n system,” in *Computational Problem-Solving (ICCP), 2011 International Conference on*, pp. 97–101, IEEE, 2011. 2.1.1, 2.1.2, 4.1
- [13] W. Weng, Y. Xu, and K. Wang, “Channel estimation in correlated channel for 802.11 n system,” in *Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008. IEEE International Conference on*, pp. 519–522, IEEE, 2008. 2.1.1
- [14] X. He, F. Li, and J. Lin, “Link adaptation with combined optimal frame size and rate selection in error-prone 802.11 n networks,” in *Wireless Communication Systems. 2008. ISWCS’08. IEEE International Symposium on*, pp. 733–737, IEEE, 2008. 2.1.1
- [15] Y. Xiao, “Ieee 802.11 n: enhancements for higher throughput in wireless lans,” *Wireless Communications, IEEE*, vol. 12, no. 6, pp. 82–91, 2005. 2.1.1
- [16] M. Moh, T. Moh, and K. Chan, “Error-sensitive adaptive frame aggregation in 802.11 n wlan,” *Wired/Wireless Internet Communications*, pp. 64–76, 2010. 2.1.1, 2.1.2, 4.1
- [17] C. Wang and H. Wei, “Ieee 802.11 n mac enhancement and performance evaluation,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 14, no. 6, pp. 760–771, 2009. 2.1.1
- [18] V. Prakash, D. Amalarethinam, and E. Raj, “Normalized throughput and delay analysis using qmbcca in wireless environment,” in *Computing, Communication and Applications (ICCCA), 2012 International Conference on*, pp. 1–5, IEEE, 2012. 2.1.1

- [19] J. Ji and Q. Wu, "Normalized throughput of coherent time-spreading ocdma under chip-asynchronous assumption," in *Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP), 2009 Asia*, vol. 2009, pp. 1–6, IEEE, 2009. 2.1.1
- [20] S. Pollin and A. Bahai, "Performance analysis of double-channel 802.11 n contending with single-channel 802.11," in *Communications, 2009. ICC'09. IEEE International Conference on*, pp. 1–6, IEEE, 2009. 2.1.1
- [21] I. Inan, F. Keceli, and E. Ayanoglu, "Saturation throughput analysis of the 802.11 e enhanced distributed channel access function," in *Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on*, pp. 409–414, IEEE, 2007. 2.1.1
- [22] A. Stok and E. Sargent, "System performance comparison of optical cdma and wdma in a broadcast local area network," *Communications Letters, IEEE*, vol. 6, no. 9, pp. 409–411, 2002. 2.1.1
- [23] M. Jeruchim, "Techniques for estimating the bit error rate in the simulation of digital communication systems," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 2, no. 1, pp. 153–170, 1984. 2.1.2
- [24] K. Rajamani, S. Soliman, O. Dural, and A. Rajkotia, "Mac performance for second generation uwb," in *Ultra-Wideband, 2008. ICUWB 2008. IEEE International Conference on*, vol. 1, pp. 237–240, IEEE, 2008. 2.1.2
- [25] P. Chatzimisios, A. Boucouvalas, and V. Vitsas, "Influence of channel ber on ieee 802.11 dcf," *Electronics letters*, vol. 39, no. 23, pp. 1687–9, 2003. 2.1.2
- [26] K. Chan, "Evaluations and enhancements in 802.11 n wlans–error-sensitive adaptive frame aggregation," 2009. 2.1.2, 2.1.4, 4.1
- [27] P. Stuedi and G. Alonso, "Computing throughput capacity for realistic wireless multihop networks," in *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pp. 191–198, ACM, 2006. 2.1.2

- [28] T. Kim and J. Lim, "Throughput analysis considering coupling effect in ieee 802.11 networks with hidden stations," *Communications Letters, IEEE*, vol. 13, no. 3, pp. 175–177, 2009. 2.1.2
- [29] I. S. 802.11-2007, "Ieee standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements - part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications," *Revision of IEEE Std 802.11-1999*, pp. C1 –1184, 12, 2007. 2.1.4
- [30] F. Heereman, W. Joseph, E. Tanghe, D. Plets, L. Verloock, and L. Martens, "Path loss model and prediction of range, power and throughput for 802.11 n in large conference rooms," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2011. 2.1.4
- [31] L. Zhang, Y. Cheng, and X. Zhou, "Rate avalanche: Effects on the performance of multi-rate 802.11 wireless networks," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 17, no. 3, pp. 487–503, 2009. 2.1.4
- [32] "Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems–local and metropolitan area networks–specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications amendment 5: Enhancements for higher throughput." 2.1.4
- [33] S. Liang and M. Weng, "Protecting ieee 802.11 wireless lans against the fcs false blocking attack," in *Parallel and Distributed Systems, 2005. Proceedings. 11th International Conference on*, vol. 1, pp. 723–729, IEEE, 2005. 2.1.4
- [34] T. Selvam and S. Srikanth, "A frame aggregation scheduler for ieee 802.11 n," in *Communications (NCC), 2010 National Conference on*, pp. 1–5, Ieee, 2010. 2.1.4
- [35] "Ieee standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements. supplement to carrier sense multiple access with collision detection (csma/cd) access method and physical

layer specifications - physical layer parameters and specifications for 1000 mb/s operation over 4-pair of category 5 balanced copper cabling, type 1000base-t,” *IEEE Std 802.3ab-1999*, p. i, 1999. 2.2.1, 4.2

- [36] “Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems–local and metropolitan area networks–specific requirements part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (csma/cd) access method and physical layer specifications - section one,” *IEEE Std 802.3-2008 (Revision of IEEE Std 802.3-2005)*, pp. c1 –597, 26 2008. 2.2.1
- [37] D. Riabov, “Atm vs. gigabit ethernet for high speed lans,” 2001. 2.2.1
- [38] J. Caro and J. Caro, “Ethernet como soporte de sistemas de control en red,” *Técnica Industrial*, vol. 294, pp. 26–35, 2011. 2.2.1
- [39] R. de Comunicación, “Conceptos fundamentales y arquitecturas básicas,” *Alberto León-García, Indra Widjaja*, 2002. 2.2.2
- [40] H. Lin and S. Das, “Performance study of link layer and mac layer protocols to support tcp in 3g cdma systems,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 4, no. 5, pp. 489–501, 2005. 2.2.2
- [41] T. Uchida, “Hardware-based tcp processor for gigabit ethernet,” *Nuclear Science, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 3, pp. 1631–1637, 2008. 2.2.2
- [42] H. Frazier, “The 802.3 z gigabit ethernet standard,” *Network, IEEE*, vol. 12, no. 3, pp. 6–7, 1998. 2.2.2
- [43] E. Cal, *Migration from IPv4 to IPv6 protocol on a network, the benefits and safety associated with this changes*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 2.3.2
- [44] N. Lucena, G. Lewandowski, and S. Chapin, “Covert channels in ipv6,” in *Privacy Enhancing Technologies*, pp. 147–166, Springer, 2006. 2.3.2
- [45] S. Tabbakh, S. Khatun, and B. Ali, “Data storage as a new perspective of future ip networks,” in *Communications (MICC), 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on*, pp. 413–416, IEEE, 2009. 2.3.2
- [46] M. Blanchet, *Migrating to IPv6*. Wiley Online Library, 2001. 2.3.2

- [47] D. Borman, S. Deering, and R. Hinden, “Rfc 2675: Ipv6 jumbograms,” 1999. 2.3.2
- [48] O. Gualdron G, J. Rugeles U, and R. Diaz S, “Design of an autonomous wi-fi link as a solution for connectivity in rural areas,” *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 48, pp. 127–132, 2011. 4.1
- [49] R. Patra, S. Nedeveschi, S. Surana, A. Sheth, L. Subramanian, and E. Brewer, “Wildnet: Design and implementation of high performance wifi based long distance networks,” NSDI, 2007. 4.1
- [50] M.-L. Yee, Y.-X. Guo, V. H. Pham, and L. C. Ong, “Performance evaluation of multiband radio-over-fiber for wlan, gigabit ethernet and uwb,” in *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, pp. 491 –494, june 2008. 4.2
- [51] H.-P. Lin, N. Chen, J.-T. Lai, and A.-Y. Wu, “1000base-t gigabit ethernet baseband dsp ic design,” in *Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04. Proceedings of the 2004 International Symposium on*, vol. 4, pp. IV – 401–4 Vol.4, may 2004. 4.2