

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**UNIDAD DE POSGRADO**

**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS MECANISMOS DE  
CONTROL DE ERROR EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE  
TELEFONÍA IP BASADO EN ASTERISK SOBRE UNA RED  
INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA EN LA PROVINCIA DE  
TAYACAJA – HUANCVELICA”**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magister en telecomunicaciones con  
mención en redes y servicios de banda ancha

**AUTOR**

**Marco Aurelio Rosario Villarreal**

Lima – Perú

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD DE POST GRADO

«AÑO DE LA PROMOCIÓN DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE  
Y DEL COMPROMISO CLIMÁTICO»



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN REDES Y  
SERVICIOS DE BANDA ANCHA

Siendo las 17:00 hrs. del 12 de diciembre de 2014, en el Salón de Grados de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, el Jurado Examinador presidido por el Mg. Carlos Sotelo López e integrado por el Dr. Alfonso Chung Pinzas, Mg. Wilbert Chávez Irazabal, Mg. Martín Soto Córdova y el Mg. Hipólito Carbajal Morán.

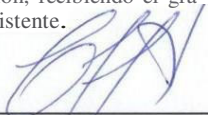
Se reunió para la sustentación oral y pública de la Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones con Mención en Redes y Servicios de Banda Ancha, que solicitó el egresado Marco Aurelio Rosario Villarreal, el cual procedió hacer la exposición oral y pública de su Tesis Titulada "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS MECANISMOS DE CONTROL DE ERROR EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE TELEFONÍA IP BASADO EN ASTERISK SOBRE UNA RED INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA EN LA PROVINCIA DE TAYACAJA-HUANCAVELICA"

Concluida la exposición, se procedió a la evaluación correspondiente, habiendo obtenido la siguiente calificación:

DE " *t;JUtNCE*                      **15**  
LETRAS                                      NÚMERO

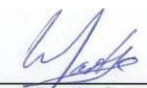
A continuación el Presidente del Jurado recomienda que la Unidad de Postgrado tramite se le otorgue el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones con Mención en Redes y Servicios de Banda Ancha al egresado Marco Aurelio Rosario Villarreal.

Siendo las ~~17:00~~ se levantó la Sesión, recibiendo el grado las felicitaciones de las señoras miembros del Jurado y público y asistente.

  
Mg. Carlos Sotelo López  
Presidente

  
Dr. Alfonso Chung Pinzas  
Miembro

  
Mg. Wilbert Chávez Irazabal  
Miembro

  
Mg. Martín Soto Córdova  
Miembro

  
Mg. Hipólito Carbajal Morán.  
Miembro

## **AGRADECIMIENTOS**

Para mi esposa Doris y nuestros hijos: Kevin, Dánica y David, quienes cedieron su derecho a mi tiempo y atención para que pudiera llevar a cabo este trabajo de investigación.

A mi asesor al Mg. Martin Soto Córdova, mi aprecio y un gran reconocimiento por su capacidad de colaboración y contribución en el asesoramiento del tema de tesis.

# INDICE GENERAL

Veredicto de la Tesis .....	II
Agradecimientos .....	III
Lista de Figuras .....	VII
Lista de Tablas .....	IX
Resumen .....	X
<i>Abstract</i> .....	XI
Introducción .....	12
1. CAPITULO I: Problema.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2. Objetivos .....	18
1.3. Justificación .....	18
1.4. Hipótesis .....	19
1.5. Identificación de variables .....	20
1.6. Alcances .....	20
2. CAPITULO II: Marco Teórico .....	21
2.1 Antecedentes de investigación.....	21
2.2 Bases teóricas .....	22
2.2.1 Fundamentos de VoIP sobre WLAN.....	22
2.2.1.1 Las redes IP e Internet .....	23

2.2.1.2 Transporte de paquetes IP .....	26
2.2.1.3 Procesamiento de las señales de voz .....	27
2.2.1.4 Protocolos y estándares del transporte de Voz sobre IP .....	30
2.2.1.5 Asterisk: Software libre de comunicaciones VoIP .....	36
2.2.1.6 Redes LAN inalámbricas .....	37
2.2.1.6.1 Características DCF .....	41
2.2.1.6.2 Características PCF .....	45
2.2.1.6.3 Características HCF .....	47
2.2.1.7 Conclusiones preliminares .....	47
2.2.2 Parámetros de calidad de servicio en VoIP .....	48
2.2.2.1 Retardo .....	48
2.2.2.2 Pérdidas de paquetes .....	50
2.2.2.3 Variabilidad en el retardo .....	51
2.2.3 Evaluación de la calidad de servicio .....	52
2.2.3.1 E-model .....	53
2.2.3.2 PESQ .....	55
2.2.3.3 MOS .....	57
2.2.3.4 Conclusiones preliminares .....	58
2.2.4 Algoritmos de control de errores aplicados en VoIP .....	58
2.2.4.1 Corrección de Errores Reactiva .....	58
2.2.4.1.1 Mecanismo ARQ-SW .....	61
2.2.4.1.2 Mecanismo de Ventana deslizante .....	63
2.2.4.2 Corrección de Errores Proactiva .....	69
2.2.4.2.1 Fundamentos de códigos RS .....	71
2.2.4.2.2 Probabilidad de Error RS .....	73
2.2.4.2.3 Códigos RS y el ruido de Ráfagas .....	74
2.2.4.2.4 Rendimiento de Reed-Solomon en función del tamaño, redundancia y tasa de código .....	75
2.2.4.3 Conclusiones preliminares .....	79
2.2.5 Análisis de pérdidas de paquetes en redes WLAN .....	80
2.2.5.1 Modelo de cadena de Markov de una estación .....	81
2.2.5.2 Resultado de simulación .....	86
3. CAPITULO III: Metodología de la Investigación .....	87

3.1 Tipo de Investigación .....	87
3.2 Nivel de Investigación .....	87
3.3 Método de Investigación .....	87
3.4 Diseño de Investigación .....	87
3.5 Población y Muestra.....	88
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.....	88
3.7 Procedimiento de recolección de datos.....	88
3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	88
4. CAPITULO IV: Resultados y Discusión.....	89
4.1 Planteamiento de estrategias de solución .....	89
4.1.1 Impacto del mecanismo de Retransmisión en la calidad de voz.....	89
4.1.2 ARQ con retardo de reproducción restringido .....	90
4.1.3 Memoria de reproducción dependiente de ARQ.....	92
4.1.4 Modelo de simulación y resultados .....	93
4.1.4.1 Modelo del canal inalámbrico .....	94
4.1.4.2 Modelo de voz.....	95
4.2 Presentación y discusión de resultados .....	97
4.3 Conclusiones preliminares .....	101
Conclusiones y Recomendaciones .....	103
Bibliografía.....	105
Glosario de términos.....	108
Matriz de Consistencia.....	112

# LISTA DE FIGURAS

## CAPITULO II :

Figura N° 2.1	:	La red Internet.....	23
Figura N° 2.2	:	Problemas de transmisión en IP.....	25
Figura N° 2.3	:	Segmentación de la señal de voz original.....	28
Figura N° 2.4	:	Arquitectura de protocolos H.323.....	32
Figura N° 2.5	:	Sesión H.323.....	33
Figura N° 2.6	:	Establecimiento de sesión SIP.....	35
Figura N° 2.7	:	Arquitectura de protocolos Asterisk.....	36
Figura N° 2.8	:	Arquitectura de la Red Inalámbrica de Telefonía IP FIES-UNH.....	39
Figura N° 2.9	:	DCF con CSMA/CA.....	42
Figura N° 2.10	:	DCF con RTS/CTS.....	44
Figura N° 2.11	:	Acceso al canal DCF y PCF.....	47
Figura N° 2.12	:	Componentes del retardo.....	50
Figura N° 2.13	:	Ejemplo de variabilidad en el retardo.....	52
Figura N° 2.14	:	Corrección de Errores Reactiva.....	60
Figura N° 2.15	:	Mecanismo básico SW.....	61
Figura N° 2.16	:	Intervalo de operación SW.....	62
Figura N° 2.17	:	Mecanismo básico GBN.....	64
Figura N° 2.18	:	Mecanismo básico SR.....	68
Figura N° 2.19	:	Comparativa de mecanismo ARQ.....	68
Figura N° 2.20	:	Mecanismo FEC.....	70
Figura N° 2.21	:	Probabilidad de error R-S.....	74
Figura N° 2.22	:	Bloque R-S.....	75
Figura N° 2.23	:	Probabilidad de error R-S.....	76

Figura N° 2.24	:	Probabilidad de error R-S.....	78
Figura N° 2.25	:	Señal a ruido para diversos entornos .....	79
Figura N° 2.26	:	Modelado de cadena Markoviana para una Estación WLAN .....	83
Figura N° 2.27	:	Caudal relativo al BER y tasa de llegada de 20 paq./sg .....	86

#### **CAPITULO IV:**

Figura N° 4.1	:	Escenario de receptor VoIP inalámbrico.....	91
Figura N° 4.2	:	Tiempos de transmisión .....	93
Figura N° 4.3	:	Escenario de simulación.....	94
Figura N° 4.4	:	Modelo on-off genérico.....	96
Figura N° 4.5	:	Pérdidas de paquetes vs. BER.....	98
Figura N° 4.6	:	Retardo de paquetes vs. Jitter.....	99
Figura N° 4.7	:	Retardo de paquetes vs. BER.....	100
Figura N° 4.8	:	MOSc vs. BER .....	101



## LISTA DE TABLAS

### CAPITULO II:

Tabla N° 2.1	:	Códecs de voz.....	29
Tabla N° 2.2	:	Valores de R en E-Model .....	55
Tabla N° 2.3	:	Notas de degradación de MOS .....	57

## RESUMEN

En la presente tesis de maestría de telecomunicaciones titulada “Evaluación del Impacto de los Mecanismos de Control de Error en la Calidad de Servicio de Telefonía IP basado en Asterisk sobre una Red Inalámbrica de Banda Ancha en la Provincia de Tayacaja - Huancavelica” se describe el proceso y los elementos de la transmisión de VoIP en las redes LAN inalámbricas, se evalúa los diversos mecanismos de control de error existentes y particularmente se indica el más adecuado para la red LAN inalámbrica.

Por otro lado, se analizan los parámetros de calidad de servicio y su relación en el servicio de VoIP, identificando los elementos que degradan la calidad de la voz que un usuario percibe en una comunicación como el retardo, la pérdida de paquetes, variación de retardo, latencia extremo a extremo, errores binarios en el canal de transmisión. En ese sentido, también se describe el proceso de medición de calidad de la VoIP basado en los estándares de la UIT.

Se propone unas estrategias de mejora del sistema de comunicaciones para VoIP en entorno WLAN bajo la operación mayoritaria DCF restringiendo la operación del mecanismo de retransmisión WLAN al tiempo máximo permitido por la aplicación y la memoria de reproducción del receptor. Se investigan estos mecanismos de retransmisión básicos de WLAN y los mismos interactuando con la memoria de reproducción y la limitación temporal de la aplicación. Para ello, se realiza una definición de un modelo de simulación para encontrar los resultados; los cuales indican una mejora en el rendimiento ya que mantienen el nivel de calidad en entornos inalámbricos hostiles como los de una tasa de error peor de  $10^{-4}$ .

## ABSTRACT

In this Master Thesis entitled “Impact Assessment of Error Control Mechanisms in IP Telephony Quality of Service Asterisk-based on a Broadband Wireless Network in Tayacaja Province - Huancavelica” we describe the process and elements of the VoIP transmission in wireless LANs, we evaluate the several error control mechanisms and we indicated the most suitable for the wireless LAN.

Furthermore, we analyze the QoS parameters and their relationship in the VoIP service, by identifying the elements that degrade the quality of the voice that a user perceives as a communication delay, packet loss, delay variation, end-to-end latency, bit error ratio in the transmission channel. In this way, we also describe the process of measuring the quality of VoIP based on ITU standards.

We propose some improvement strategies for VoIP communications system in WLAN environment under the operation DCF restricting the operation of WLAN retransmission mechanism to the maximum time allowed by the application and playout buffer in receiver. We investigate these basic retransmission mechanisms and when they interacting with the same playout buffer and the time limitation of the application. To this end, a definition is made of a simulation model to find the results; which indicate an improvement in the performance and maintaining the quality level in hostile environments such as wireless a worse error rate of  $10^{-4}$ .

## INTRODUCCIÓN

Inmersos como nos encontramos en un contexto globalizado y con un adelanto tecnológico sorprendente como la denomina Sociedad del Conocimiento, surgen una serie de aplicaciones basadas en internet y aplicados a la empresa de hoy.

Las redes de conmutación de paquetes, como Internet se ha desarrollado muy rápidamente en las últimas décadas. Las ventajas de estas, tales como la eficiencia y la flexibilidad, hacen que eventualmente se conviertan en las terminadoras de las redes tradicionales de conmutación de circuitos, es decir, la red pública de telefonía (PSTN). La VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet) es un caso exitoso de las aplicaciones sobre las redes de paquetes [8]. La Telefonía IP, que involucra otros aspectos adicionales a la VoIP como calidad, señalización y servicios de red inteligente, transmite el tráfico de voz en paquetes en tiempo real a través de redes de datos e Internet, permitiendo una comunicación económica y calidad de voz adecuada en comparación con las redes telefónicas tradicionales.

Por otro lado, la comunicación inalámbrica/móvil viene creciendo rápidamente y proporciona nuevos servicios, como agregar un servicio de voz para redes inalámbricas IP y teléfonos inalámbricos. Los servicios inalámbricos de VoIP pueden ser proporcionados en la red de área local

inalámbrica (WLAN) o en la red de tercera generación de telefonía móvil (3G).

La Figura N° 1 muestra un sistema de VoIP implementado en el acceso inalámbrico a Internet. La señal de voz analógica se digitaliza en diversas fases como muestreo, cuantización y codificación. Diversas técnicas de codificación se han desarrollado y estandarizado por la UIT, siendo el codificador básico el G.711-ITU que muestrea la señal de voz con una frecuencia de 8 kHz y genera 8-bits por muestra. También, los codificadores basados en Predicción lineal excitada por código (CELP) proporcionan una reducción de la tasa (es decir, 8 Kbps para el codificador G.729, 5.3 y 6.4 Kbps para el codificador G.723.1) a costa de menor calidad y mayor complejidad y retardo de codificación. Para la comunicación inalámbrica / móvil, se han desarrollado Codecs con tasa variable, por ejemplo, AMR, EVRC, etc.

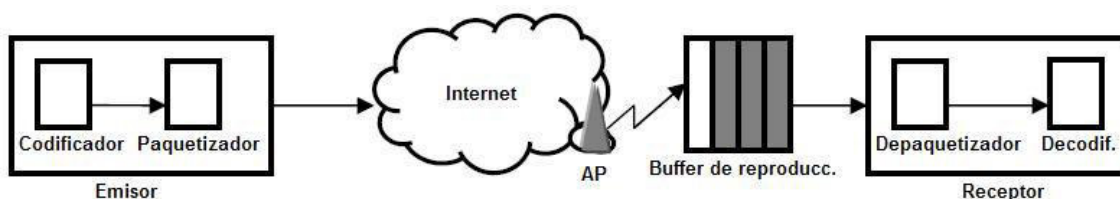


Fig. N° 1 – Escenario de VoIP inalámbrico

En el presente trabajo de investigación, intitulado “Evaluación del impacto de los mecanismos de control de error en la calidad de servicio de telefonía IP basado en Asterisk sobre una red inalámbrica de banda ancha en la provincia de Tayacaja – Huancavelica”, el sistema inalámbrico de VoIP se considera en el escenario de tramo final. En este caso, el flujo de voz atraviesa las redes fijas antes de llegar al punto de acceso, que es el punto de conjunción de la red de telefonía fija y el canal inalámbrico.

Conforme los paquetes de voz se transmiten a través de las redes IP y canales inalámbricos, incurren en retardos variables y posibles pérdidas. Con el fin de proporcionar un retardo suave en la reproducción, en el

receptor, se utiliza un buffer de reproducción para compensar las variaciones de retardo. Los paquetes se mantienen temporalmente con la finalidad de asegurar suficientes paquetes en el buffer para reproducir de forma continua. Cualquier paquete que llega después del instante de reproducción planificado se descarta. Se debe tener en cuenta que un esquema adaptativo de reproducción es más adecuado para las redes IP cuya variabilidad en el tiempo es muy alta.

La principal función del decodificador es reconstruir las señales de voz, algunos de ellos implementan la técnica de ocultación de pérdida de paquetes que reemplaza los paquetes de datos perdidos. Después de haber sido desempaquetado y decodificado, la voz se reproduce en los dispositivos finales de VoIP.

La calidad de voz percibida por los usuarios es subjetiva. Para la telefonía IP es un reto conseguir una calidad satisfactoria debido a la gran cantidad de factores de deterioro existentes en la ruta de transmisión sobre redes IP. Cuando se aplica VoIP en las redes IP inalámbricas / móviles, debido a la poca fiabilidad de rendimiento del canal inalámbrico y la incertidumbre de la movilidad de los dispositivos inalámbricos, tiende a disminuir la calidad de la conversación. Existen muchos factores de deterioro correlacionados que pueden afectar seriamente la calidad de voz percibida de VoIP inalámbrico, tales como pérdida de paquetes, errores de bit, retardo extremo a extremo, variabilidad de retardo y codificación.

En este trabajo nos enfocamos en evaluar el efecto sobre la calidad de la voz al utilizar un mecanismo de detección y corrección de errores de los paquetes de VoIP; para ello se plantea un escenario de simulación y los modelos de análisis. Finalmente, se realiza una modificación al algoritmo de detección y corrección de errores con la finalidad de mejorar el rendimiento en el escenario planteado.

Este documento está estructurado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se aborda el problema del trabajo de investigación. En el Capítulo 2 se detalla el marco teórico, abordando los conceptos de funcionalidad de VoIP,

WLAN y Asterisk. Describe los principales parámetros de la calidad de servicio de las aplicaciones en tiempo real, sus consecuencias, y algunas soluciones. Asimismo, los métodos de evaluación. Se presenta el estado del arte de los algoritmos de control de error en VoIP. Su utilización e implementación práctica. Se presenta el análisis de pérdida de paquetes en redes WLAN. En el capítulo 3, se aborda la metodología de investigación usada en el desarrollo de la tesis. En el Capítulo 4, se presenta los resultados del trabajo relacionado, particularmente la evaluación por simulación y análisis matemático, así como también, una contribución en la mejora del algoritmo de tratamiento de errores. Finalmente se concluye este trabajo y se presentan las líneas futuras de investigación.

## CAPÍTULO I:

### **PROBLEMA**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

El acceso a la información y comunicación mediante el uso de Internet, hoy en día es una necesidad que está generando cambios en los diversos sectores, tales como: educación, trabajo, industria comercio y otros.

Particularmente, en la provincia de Tayacaja la comunicación, que comprende el ámbito de influencia directa del presente proyecto de investigación, es precaria; los Municipios, Centros Educativos, Centros de Salud y otras instituciones sensibles a la problemática social del aislamiento de sus ciudadanos en zonas remotas, se pueden dotar de servicios telefónicos basados en IP a todos sus ciudadanos.

A la fecha los distritos del ámbito de la provincia de Tayacaja, no cuentan con acceso a los servicios de Internet de banda ancha y telefonía IP, lo cual es un factor limitante para el desarrollo del nivel educativo, comercio, de los habitantes de estos lugares.

En la Internet no existe una garantía respecto a los niveles de calidad del transporte de la información. Así mismo, los paquetes de voz que transportan son muy sensibles a los parámetros de calidad, pudiendo



resultar en ruido o cortes de la comunicación debido a las pérdidas de paquetes, retardos elevados en su transmisión, etc.

Por ello es necesario contar con un mecanismo de control de error que permita detectar y corregir los problemas de pérdida o daño de los paquetes de voz. En la actualidad para la transmisión de paquetes de datos de largo alcance, como es el caso de transmisión satelital, se utiliza mecanismos de control de error FEC. Y para la transmisión de paquetes de datos de corto alcance, como es el caso de Redes locales, se utiliza mecanismos de control de error ARQ. Por otro lado, la transmisión de paquetes de voz sobre UDP/IP se realiza sin emplear mecanismos de control de error debido al incremento de retardo asociado.

Considerando que a la fecha existen diversos mecanismos de control de error, es necesario evaluar la posibilidad de su uso en la transmisión de paquetes de voz.

## **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Qué mecanismos de control de error son aplicables a La transmisión de paquetes de voz y cuál es su impacto sobre la calidad de la telefonía IP?

### **1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Qué tipos de problemas se presentan durante la transmisión de paquetes de voz en los enlaces inalámbricos?
- ¿Cuáles son los parámetros de Calidad de servicio de Telefonía IP?

- ¿A qué nivel de transmisión, una red inalámbrica presenta parámetros garantizados de calidad de servicio para la aplicación de telefonía IP?
- ¿Cuáles son los métodos de evaluación de la calidad de servicio de telefonía IP?
- ¿Cómo percibe un usuario final la calidad de voz en el servicio de telefonía IP en una red WLAN?

### **1.3 OBJETIVOS:**

#### **1.3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Determinar los mecanismos de control de error que son aplicables a la transmisión de paquetes de voz y determinar su impacto sobre la calidad de la telefonía IP.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los problemas que se presentan durante la transmisión de paquetes de voz en los enlaces inalámbricos.
- Definir los parámetros de Calidad de servicio de Telefonía IP.
- Determinar el nivel de transmisión, que una red inalámbrica presente parámetros garantizados de calidad de servicio de telefonía IP.
- Definir los métodos de evaluación de la calidad de servicio de telefonía IP.
- Determinar la calidad de voz que percibe un usuario final en una red WLAN.

### **1.4 JUSTIFICACION**

Diversas implementaciones prácticas utilizan los servicios nativos de transporte UDP/IP y particularmente la voz. Sin embargo, en muchas

ocasiones los errores del canal de transmisión generan problemas de comunicación.

Los mecanismos de control de error ARQ, aplicados a la transmisión de paquetes de voz, tienen un impacto en el nivel de calidad de servicio de telefonía IP para situaciones de pérdida de paquetes o paquetes erróneos cuando la voz se transporta sobre un medio inalámbrico de red local.

## **1.5 HIPOTESIS**

### **1.5.1 HIPOTESIS GENERAL**

El mecanismo de control de error ARQ es aplicable a la transmisión de paquetes de voz, y permitirá mejorar los niveles de calidad de servicio de telefonía IP.

### **1.5.2 HIPOTESIS ESPECÍFICOS**

- Se presentan problemas de colisiones entre paquetes de voz y errores de transmisión en el canal inalámbrico.
- Los parámetros de QoS son Retardo, Jitter y pérdida de paquetes.
- Según estándares, se debe garantizar un retardo máximo de 250 ms en telefonía IP, un Jitter de 20 ms y tasa de pérdida de paquetes no más del 5%.
- Los métodos de evaluación de calidad de telefonía IP son: E-Model, PESQ y MOSc.
- La calidad de voz que percibe un usuario usando el método MOSc es adecuado en una red WLAN.

## 1.6 IDENTIFICACION DE VARIABLES:

### VARIABLE INDEPENDIENTE:

**X:** Mecanismo de control de error ARQ-SW en una red WLAN.

### INDICADORES:

- Retardo de extremo a extremo de paquetes de voz.
- Jitter de paquetes voz.
- Perdida de paquetes de paquetes de Voz.

### VARIABLE DEPENDIENTE:

**Y1:** Calidad de servicio de telefonía IP.

### INDICADORES:

- MOSc.

$$Y1=f(X)$$

## 1.7 ALCANCES

El presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de un mecanismo de retransmisión de paquetes para el entorno WLAN que soporta Telefonía IP. Por consiguiente dentro de esta evaluación se incluye los parámetros de retardo y pérdida de paquetes como variables a analizar, entre otros. El estudio de códecs o algoritmos utilizados no se encuentran en esta investigación. Sin embargo, dichos elementos serán abordados, en la medida en que interaccionen con la investigación aquí tratada.

Los escenarios de análisis de mecanismos de seguridad y el uso de mecanismos de encriptación en entornos de red de área local y de área amplia entre dos usuarios no se contemplan.

## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACION**

Según [9-10] de la bibliografía, se proponen mecanismos de retransmisión alternativos como:

- De acuerdo a Sanneck (2001), propone un, un mecanismo ARQ basada en las propiedades de la voz: SPB-ARQ.
- De acuerdo a Hoene (2001), propone un esquema de recuperación de pérdidas híbridas: HLRS.

Ambos estudios enfocados a disminuir las distorsiones de voz protegiendo los paquetes que son perceptualmente más importantes. Sin embargo, estos mecanismos están limitados en la evaluación de la calidad de solo escucha del efecto de los mecanismos de recuperación en la calidad de voz, tampoco consideran el impacto del retardo lo cual es un parámetro muy importante para la interactividad de una comunicación de voz. Así mismo, no consideran el impacto de las colas de transmisión en la red. Puesto que las memorias de reproducción de compensación de Jitter adaptativas descartarían los paquetes retransmitidos inapropiadamente.

## 2.2 BASES TEORICAS:

### 2.2.1 FUNDAMENTOS DE VOIP SOBRE WLAN

De acuerdo a Veeraraghavan (2001), la telefonía convencional o PSTN , provee su servicio por medio de un canal dedicado exclusivamente para cada transmisión, y sólo la información referente a esa transmisión correspondiente puede ser enviada por ese canal, es decir, cuando se establece una llamada telefónica se crea un circuito que es otorgado por la red únicamente para esa llamada. En este tipo de conmutación, la voz se transporta a una tasa constante (de 64 kbps) y su calidad se considera como constante.

A diferencia de la telefonía convencional, la telefonía sobre Internet funciona sobre la red de conmutación de paquetes, en donde el mensaje original se divide en paquetes independientes entre sí. A estos paquetes se les agrega información de control y se envían de un extremo a otro, y al momento llegar al destino, los paquetes son reagrupados para obtener el mensaje original.

La telefonía IP permite proveer un servicio de transmisión de voz entre dos o más partes sobre una red de datos basada en el protocolo IP, y el intercambio de información de control requerida para esta transmisión. La idea principal de la VoIP es transformar la voz en paquetes, de manera que la señal de voz es digitalizada, codificada y comprimida, para que dichos paquetes sean enviados a través de la red de datos y/o Internet a su destino, brindando todas las funcionalidades de la telefonía convencional y nuevas características. En ese sentido, aparecen, entre otras, las siguientes ventajas:

- Bajo costo en las llamadas, pues al utilizar la red de datos corporativa y/o Internet es mucho más barato que sobre la

PSTN debido a que evita los costos de acceso y de larga distancia.

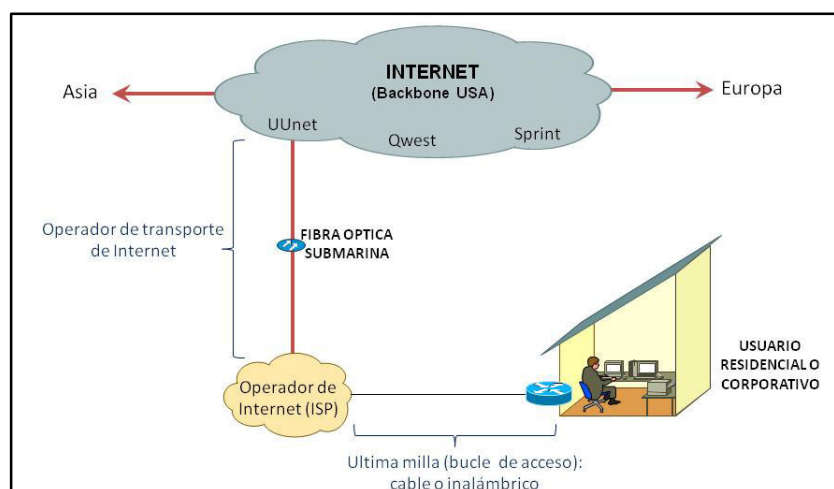
- Transmisión simultánea de voz, datos y tráfico multimedia. Esto permite optimizar la utilización de la infraestructura de red.
- Aplicaciones avanzadas de llamadas como identificación de llamadas, desvíos, encriptación de la comunicación, etc.
- Integración con las aplicaciones del usuario, permitiendo añadir nuevas funciones e interoperación con otras aplicaciones; unificando así las comunicaciones.

### **2.2.1.1 LAS REDES IP E INTERNET**

Internet hace posible el uso de aplicaciones distribuidas entre sus sistemas finales, clientes y servidores, para el intercambio de información. Estas aplicaciones incluyen el acceso remoto, transferencia de datos, streaming de audio y video, y transmisión en tiempo real de audio y video. La filosofía de Internet es dejar que la inteligencia de la red esté en los extremos, asumiendo poco acerca de la red en sí, es decir, lo que pasa dentro de la red Internet lo maneja como una “caja negra”, esto sirve para implementar distintos algoritmos sin necesidad de afectar el funcionamiento interno de la red y con ello se asegura una base para las nuevas tecnologías. Esta filosofía de funcionamiento se ha mantenido, debido a que aún después de muchos años de investigación en calidad de servicio en el ruteo, además de las discrepancias entre los proveedores de servicio (ISP), no se ha adoptado todavía un mecanismo único de calidad de servicio, QoS en Internet. La Figura N° 2.1, presenta un ejemplo de la heterogeneidad de Internet. Este ejemplo está compuesto por diversas redes de área local, inalámbricas, cableadas, de servidores, y routers.

Internet comprende protocolos que permiten determinar la manera en que los paquetes se envían y reciben en ella. El protocolo sobre el que se basa Internet es el protocolo IP. IP es un protocolo a nivel de red, que se encarga del direccionamiento IP, encapsulamiento y desencapsulamiento de los datagramas, enrutamiento, fragmentación y reensamble. Su objetivo principal, es permitir la comunicación entre los extremos de la red debido a que estos no se encuentran conectados directamente sino que están conectados a través de routers.

Otra característica de IP, es reenviar los paquetes lo más rápido posible con una política de servicio FIFO (el Primer paquete en entrar es el primer paquete en salir de la fila), es decir, el primer paquete que llega a la fila de espera de los routers es el primero en ser atendido y el primero en ser reenviado sin importar si dicho paquete transporta datos, video, o voz, todos son atendidos sin distinciones ni prioridades. Para guardar los paquetes en espera, los routers cuentan con una memoria finita y cuando las filas de espera están llenas, éstas no pueden recibir más paquetes.



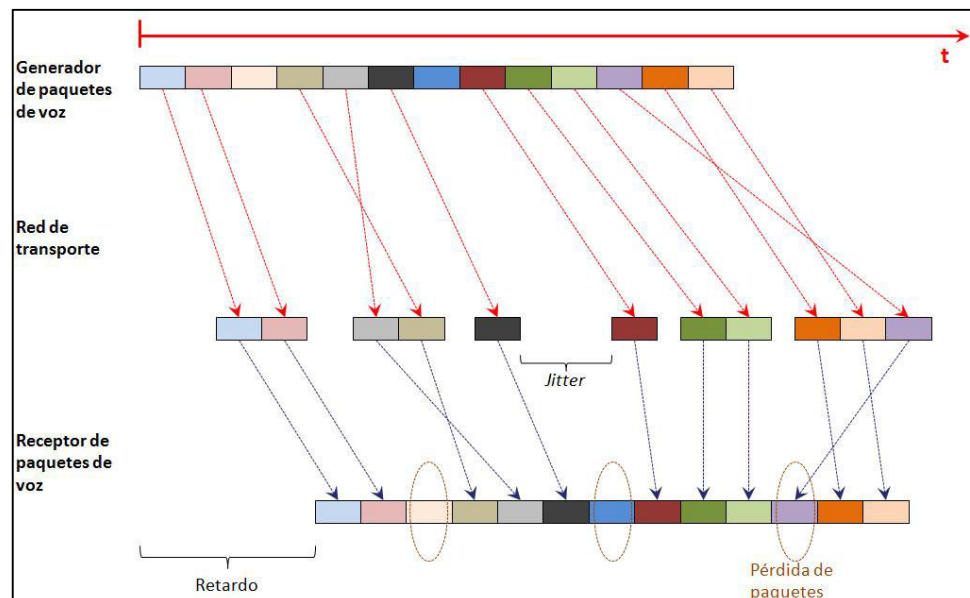
**Figura N° 2.1 - La red Internet.**

**Fuente. Elaboración propia**



En otras palabras, están saturadas por lo que los paquetes que llegan en ese momento son desechados, a esto se le llama fenómeno de la congestión. Cabe señalar que Internet no monitorea el tamaño de las filas de espera en los routers, por lo que no hay estados en la red ni puede saber si existe congestión o no. Así IP no ofrece ninguna garantía en la calidad de servicio, de tal suerte que envía los paquetes a través de la red y hace su mejor esfuerzo para que lleguen a su destino, por ello se le conoce como servicio “*Best-effort*” lo cual trae, entre otros, los problemas de retardo, pérdidas y variabilidad en el retardo.

En la Figura N° 2.2, se observan los tres inconvenientes antes descritos. En este ejemplo se aprecia como los paquetes 3 y 7 se pierden al pasar por Internet, los paquetes 4, 5 y 11 llegan en diferente orden al que fueron enviados, y la inclinación en la flechas representa el retardo de los paquetes. Por supuesto que para cada problema existe una solución, para el caso de los retos que conlleva el uso de IP, el protocolo TCP mejora el servicio de transferencia de paquetes.



**Figura N° 2.2 - Problemas de transmisión en IP.**

**FUENTE.** Elaboración propia.

### 2.2.1.2 TRANSPORTES DE PAQUETES IP

Los protocolos definen el formato y el orden de los mensajes intercambiados entre dos o más entidades de comunicación, asimismo, las acciones tomadas en la transmisión y/o recepción de un mensaje. Un protocolo de transporte provee una comunicación lógica entre las aplicaciones de diferentes extremos de la red.

El protocolo IP permite el encaminamiento por la red sin garantías, mientras que los protocolos de transporte operan de extremo a extremo. El protocolo TCP posibilita una transmisión confiable de datos, detectando a los paquetes perdidos y retransmitiéndolos, de tal forma que toda la información sea entregada en el destino. TCP realiza esto creando un circuito virtual que conecta al origen y el destino, manejando la información para las aplicaciones como si fuera una línea continua de bytes sin límites entre paquetes, de tal suerte que la aplicación entienda el contenido como un solo flujo de bytes.

TCP al mismo tiempo asegura el control de flujo y el control de congestión usando una estrategia basada en ventana deslizante, que se adapta a las condiciones de la red. Así, para prevenir la congestión en la red, TCP cuenta con dos mecanismos: *Slow start*, donde el crecimiento del tamaño de la ventana del emisor es exponencial; y *Congestion avoidance*, donde el crecimiento del tamaño de la ventana del emisor es lineal.

El protocolo UDP fue desarrollado para aquellas aplicaciones que no requieren la confiabilidad que ofrece TCP. El principio de UDP es ofrecer un servicio simple, no orientado a conexión, que permita la

multiplexión/demultiplexión de paquetes desde diferentes aplicaciones en la misma máquina y una sencilla revisión de errores. La simplicidad de UDP radica en que no establece una conexión antes de comenzar el envío de paquetes, cada datagrama de UDP es manejado independientemente de los otros, no necesita confirmación, el encabezado es más pequeño, la tasa de envío de paquetes es irregular, y no implementa algoritmos para el control de la congestión.

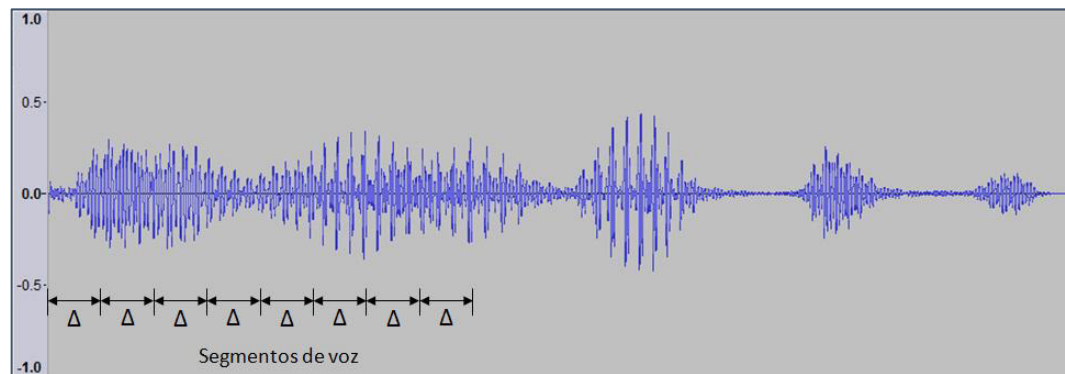
Algunas aplicaciones utilizan UDP por su mayor rapidez que TCP, por ejemplo DNS pasa los mensajes por UDP para las traducciones de los nombres de dominio, RIP lo usa para enviar los mensajes que actualizan las tablas de ruteo, SNMP utiliza UDP para llevar la gestión de la red, y las aplicaciones multimedia para la transmisión de voz y video.

### **2.2.1.3 PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES DE VOZ**

Según Razvan (2006), la transmisión de la voz paquetizada sobre una red IP requiere que la señal de voz analógica se digitalice y comprima. La compresión es importante dado que el audio sin comprimir consume una cantidad enorme de ancho de banda y almacenamiento. La digitalización y empaquetamiento de la señal de voz en paquetes de voz, así como la cancelación del eco, y la supresión de silencios también son necesarios para optimizar el uso del ancho de banda de las sesiones de voz.

La señal de voz analógica se divide en segmentos temporales, los cuales son muestreados, codificados y enviados. El emisor genera periódicamente los paquetes; la duración del intervalo de generación de paquetes depende

de la cantidad y del tamaño de segmentos de voz que lleva cada paquete de nivel de codec. En el caso del códec de voz G.711 (PCM), de 8 kHz, este intervalo es de 20ms. La Figura N° 2.3 muestra la segmentación de la señal original de voz en segmentos iguales de tamaño  $\Delta$ .



**Figura N° 2.3 – Segmentación de la señal de voz original.**

**FUENTE.** Elaboración propia.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones - Estandarización de Telecomunicaciones, ITU-T, estandarizó el ACELP, MPMLQ, PCM, y ADPCM en las recomendaciones de serie G. En la Tabla N° 2.1 se resume algunas características de los codificadores de voz comúnmente utilizados. Se indica las tasas de calidad de los diferentes tipos de codificadores usando el E-Model, que verá en Capítulo 2. Este modelo evalúa la calidad de la voz usando una medida subjetiva R que tiene un rango de 0 a 100, la mejor tasa equivale a la mejor calidad. La calidad de voz es aceptable si está dentro del rango de 70 a 100, esto quiere decir que la calidad es equiparable con la que ofrece la PSTN.

Tabla N° 2.1. Códecs de voz

ORIGEN	ESTANDAR	METODO	TASA (Kbps)	RETARDO (ms)	Calidad (E-Model)
ITU-T	G.711	PCM	64	0.125	94.3
ITU-T	G.726	ADPCM	32	0.125	87.3
ITU-T	G.728	LD-CELP	16	0.625	87.3
ITU-T	G.729A	CS-ACELP	8	10	84.3
ITU-T	G.723.1	MP-MLQ	6.3	30	79.3
ETSI	GSM-EFR	ACELP	12.2	20	89.3

FUENTE. UIT

El emisor puede implementar un detector de actividad de voz, VAD, el cual es utilizado por el emisor para diferenciar los periodos de actividad y silencio. Su finalidad es ofrecer una indicación de la presencia de actividad para facilitar el procesamiento de la voz, así como, la posibilidad de proveer delimitadores para el principio y el fin de las frases. Generalmente cuando el VAD detecta actividad, espera un tiempo determinado para el empaquetamiento. Una ventaja del VAD es la reducción del ancho de banda necesario para la voz. Sin embargo, pueden aparecer otros problemas como la de diferenciar entre la actividad de voz y el ruido ambiental.

Por otro lado, el receptor puede implementar una función de cancelación de eco para reducir el efecto de que el interlocutor escuche su propia voz durante una conversación. Este fenómeno es tolerable, siempre y cuando, el retardo de extremo a extremo sea menor a 25 milisegundos, de lo contrario puede causar interrupciones y pérdida de la interactividad.

#### 2.2.1.4 PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES DEL TRANSPORTE DE VOZ SOBRE IP

El transporte de los paquetes de voz se realiza directamente sobre el protocolo RTP (Real Time Protocol) que luego es transportado por UDP. RTP se define en el RFC 1889 y está actualizado en el RFC 3550, éste es un protocolo que se encarga de ofrecer un servicio de entrega para el tráfico de las aplicaciones con características de tiempo real, como los formatos WAV o GSM para sonido y MPEG1 o MPEG2 para video. Estos servicios incluyen la identificación del tipo de carga, número de secuencia, marcas temporales, sincronización Intra-media, Fuente única/Identificador de sesión, cifrado, y monitoreo de entrega. Los campos de la cabecera RTP son:

- VERSIÓN (V): 2 bits. identifica la versión de RTP utilizada.
- PADDING (P): 1 bit. Cuando se requiere algunos tipos de algoritmos de cifrado con tamaño de bloques fijo o para llevar algunos paquetes RTP en una capa más baja de protocolo.
- EXTENSIÓN (X): 1 bit. Bit de extensión. Cabecera extendida.
- CSRC COUNT (CC): 4 bits. Número de fuentes que contribuyen.
- MARKER (M): 1 bit. El segmento actual es el inicio de una frase (ajuste del retardo de playout).
- PAYLOAD TYPE (PT): 7 bits. Identifica el formato de la carga RTP y determina su interpretación mediante la aplicación. Provee 128 tipos diferentes de codificación como PCM, MPEG2, etc.

- SEQUENCE NUMBER: 16 bits. El número de secuencia se incrementa en uno por cada paquete RTP enviado, y puede ser usado por el receptor para detectar paquetes perdidos y para restaurar la secuencia de los paquetes.
- TIMESTAMP: 32 bits. Está relacionado con el tiempo en que los datos del paquete fueron muestreados. El valor inicial es aleatorio.
- SYNCHRONIZATION SOURCE IDENTIFIER (SSRC): 32 bits. Identifica la fuente de sincronización. Es un valor aleatorio que deben llevar todos los paquetes RTP procedentes de una misma fuente de sincronización. El receptor debe agrupar todos los paquetes con el mismo SSRC para reproducirlos.
- CONTRIBUTING SOURCE IDENTIFIERS (CSRC) list: 0 a 15 objetos de 32 bits cada uno. Contiene los SSRC de las fuentes que contribuyen al payload del paquete (usado en mezcladores).

RTP sólo provee un encabezado que contiene información acerca del contenido de un paquete de audio. Por otro lado, RTCP (Real Time Control Protocol) opera conjuntamente con RTP, su principal función es proveer una retroalimentación sobre la calidad de la distribución de la información.

RTCP lleva un identificador persistente para una fuente RTP a nivel de la capa de transporte, denominado CNAME. Además monitorea el número de participantes, utilizando este número para calcular la tasa a la cual se envían los paquetes. Los tipos de reporte que genera RTCP son:

- SENDER REPORT (SR): Número de bytes enviados, así el receptor puede calcular la tasa de recepción, y

Tiempo universal, posibilita al receptor la sincronización entre emisores.

- RECEPTOR REPORT (RR): Número de paquetes recibidos, para estimar la tasa de paquetes perdidos y la variabilidad en el retardo. Permite al emisor calcular el RTT (*Round Trip Time*) a través de las marcas temporales SR y RR.
- SOURCE DESCRIPTION (SDES): Contiene el CNAME que identifica al usuario en las sesiones multimedia.
- EXPLICIT LEAVE (BYE): Una aplicación envía un mensaje BYE cuando deja la sesión, también se usa cuando existe una colisión de identificadores.

La funcionalidad de Telefonía IP se sustenta en dos estándares de protocolos de comunicación: H.323, proveniente de la UIT; y SIP (Session Initiation Protocol), proveniente de la IETF.

H.323 es un conjunto de recomendaciones estándares de la UIT para sistemas de comunicaciones multimedia basadas en redes de paquetes. Tal como se presenta en la Figura N° 2.4, presenta un conjunto de protocolos integrados verticalmente; tales como H.225.0 – RAS, Q.931, H.245, RTP/RTCP, codificadores de audio/video.

APLICACIONES DE AUDIO Y VIDEO			CONTROL DEL SISTEMA			APLICACIONES DE DATOS
El Codificador- Decodificador de audio (G.711,G.723.1, G729,G.726)	El Codificador- Decodificador de vídeo (H.261,H.263)	RTCP	Canal RAS H.225	Llamada de señalamiento H.225	Control del canal H.245	Datos T.120
RTP				Q.931		
UDP			TCP			
El Protocolo de la Red y la Red interactúan						

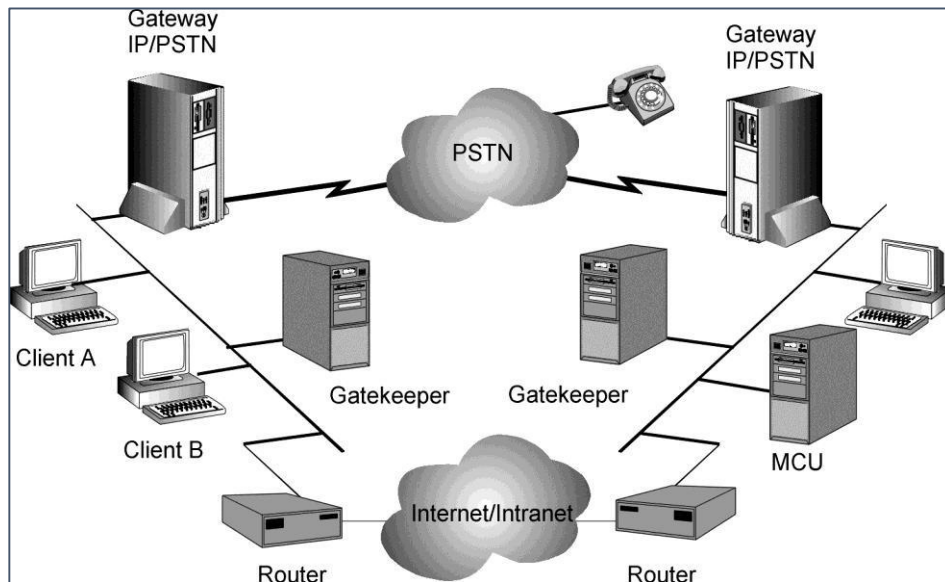
Figura N° 2.4 – Arquitectura de protocolos H.323

FUENTE. UIT



En la Figura N° 2.5, se muestra un escenario de comunicación H.323. El Cliente A envía un mensaje ARQ (Admission ReQuest) al Gatekeeper solicitando conectar al Cliente B. El Gatekeeper confirma o rechaza la llamada (ACF, Admission ConFirm / ARJ, Admission ReJect) retornando la dirección y puerto del destinatario. Consecuentemente, el Cliente A genera un mensaje de establecimiento de llamada SETUP al Cliente B.

Después del intercambio de capacidades entre los terminales se envían los paquetes de voz extremo a extremo a los puertos negociados durante la señalización. Los mensajes 3, 6, 7 se pueden intercambiar con el Gatekeeper dependiendo del modelo de llamada adoptado (Direct signaling, Gatekeeper-routed call signaling, Gatekeeper-routed H.245 control).



**Figura N° 2.5 – Sesión H.323.**

**FUENTE. H.323 Tutorial RADCOM**

Por otro lado, SIP es un protocolo de señalización para las comunicaciones multimedia. Es un protocolo de la capa de

aplicación utilizado para establecer, modificar y terminar sesiones multimedia. Bajo SIP la identificación de los elementos de comunicación en la red IP puede ser directamente con direcciones IP o con nombres de dominio. Asimismo, SIP permite el redireccionamiento entre elementos de comunicación brindando elevada posibilidad de comunicación y movilidad personal.

Fundamentalmente SIP intercambia direcciones IP y números de puerto, en la cual los sistemas pueden recibir datos, es fácilmente extensible. SIP hace uso de diferentes tipos de mensajes (métodos) para comunicar entre partes:

- INVITE: inicia sesiones (descripción de la sesión incluida en el cuerpo del mensaje).
- ACK: confirma el establecimiento de las sesiones.
- BYE: finaliza las sesiones.
- CANCEL: cancela un INVITE pendiente.
- REGISTER: asocia una dirección permanente a una ubicación actual.
- OPTIONS: añade otras capacidades.
- Otras extensiones, se han estandarizado como: INFO, UPDATE, MESSAGE, PRACK, REFER, etc.

En la Figura N° 2.6, se muestra un ejemplo de establecimiento de sesión SIP. El Cliente SIP A envía un mensaje SIP *INVITE* al Servidor SIP *Proxy*, éste verifica la ubicación actual del usuario B en su Base de Datos y envía el *INVITE* a la localización de B. El usuario B acepta retornando un mensaje *OK* a A, quien confirma enviando un *ACK*. Finalmente, el flujo de voz se envía extremo a extremo.

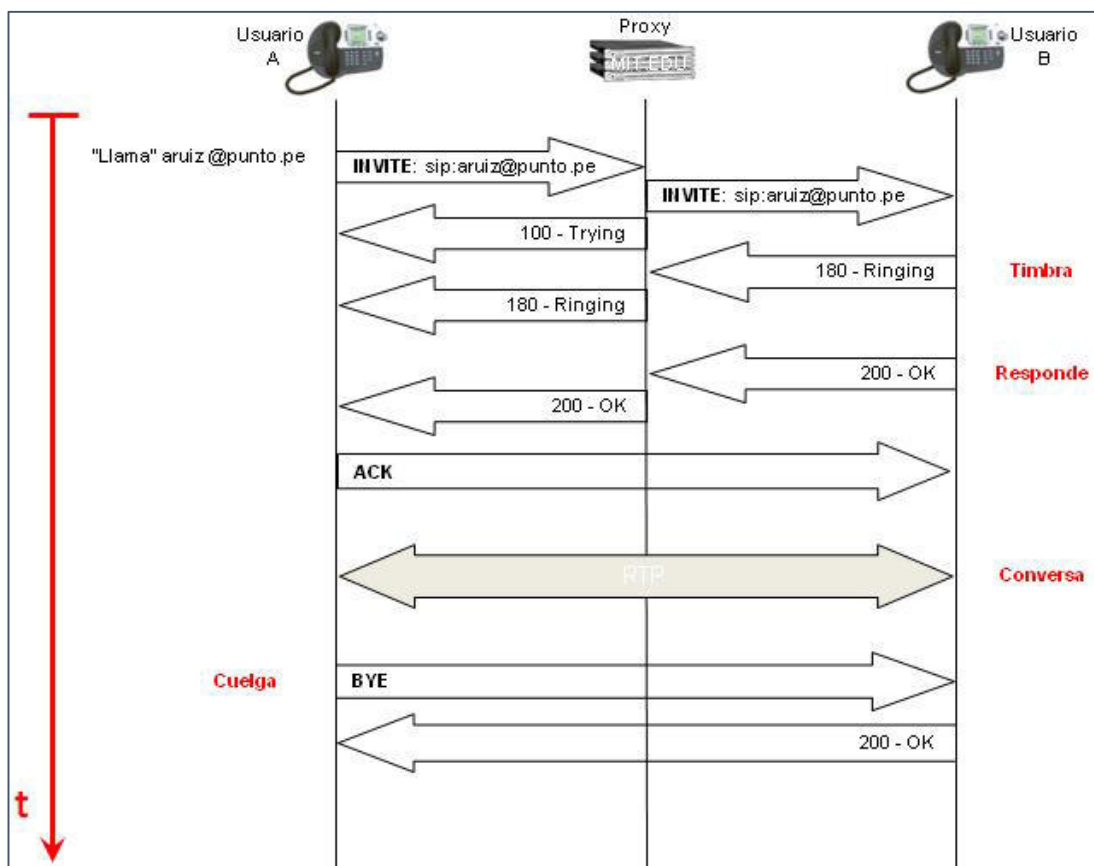


Figura 2.6 – Establecimiento de sesión SIP.

FUENTE. Elaboración propia

En lo que respecta a la arquitectura SIP, el RFC 3261 define algunos elementos como:

- UAC (User Agent Client): una entidad lógica que crea una nueva petición, y luego usa la máquina de estado de transacción del cliente para enviarlo.
- UAS (User Agent Server): una entidad lógica que genera una respuesta a una petición SIP. La respuesta acepta, rechaza o redirecciona la petición.
- Servidor Proxy: una entidad lógica que enruta las peticiones SIP a los UAS's y las respuestas a los UAC's.

### 2.2.1.5 ASTERISK: SOFTWARE LIBRE DE COMUNICACIONES VOIP

Asterisk, el proyecto de comunicaciones de código libre de amplia difusión, convierte una computadora en un servidor de comunicaciones IP, por tanto permite desplegar un amplio rango de aplicaciones y servicios de telefonía, incluyendo IP PBXs, Gateway VoIP, etc.

Tal como se indica en la Figura N° 2.7, dentro de la arquitectura de Asterisk éste proporciona un núcleo central de conmutación, con cuatro APIs para la carga modular de aplicaciones de telefonía, las interfaces de hardware, control de formato de archivo y Códecs. Permite la conmutación transparente entre todas las interfaces soportadas, permitiendo que se unan diversos sistemas de telefonía en una única red de conmutación.

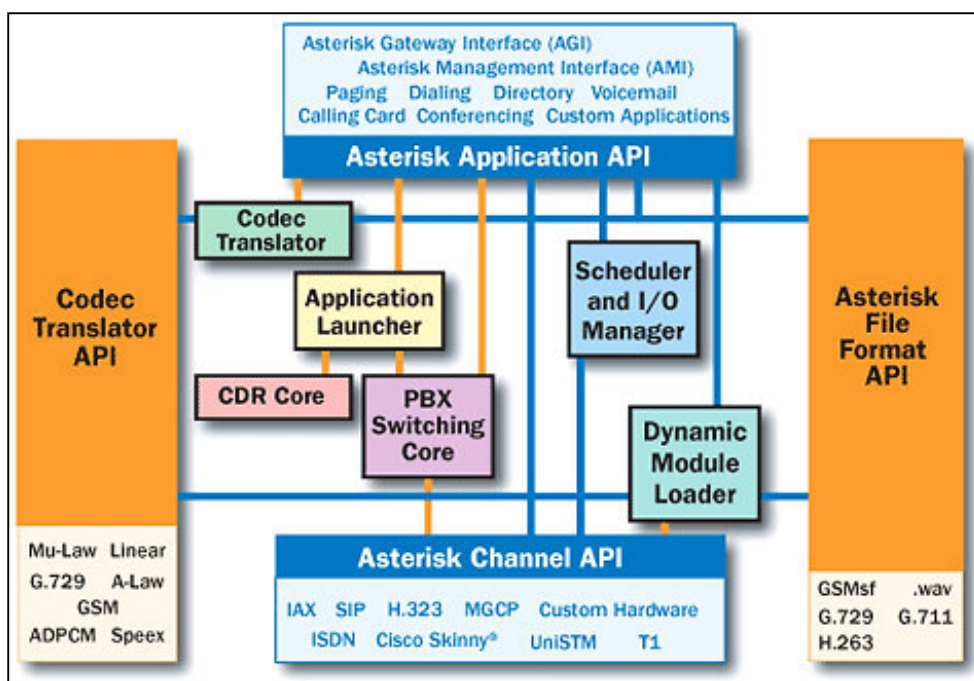


Figura 2.7 – Arquitectura de protocolos Asterisk.

FUENTE. Digium

Asterisk soporta una amplia gama de protocolos para el manejo y transmisión de voz sobre interfaces de telefonía tradicional, incluyendo H.323, SIP, Media Gateway Control Protocol (MGCP), y Skinny Client Control Protocol (SCCP).

Asimismo, utilizando IAX (Inter-Asterisk eXchange) combina el tráfico de voz y datos sin problemas entre redes diferentes. Asterisk utiliza SIP como protocolo de señalización por lo que puede enviar tanto datos como información URL e imágenes en línea y tráfico de voz, permitiendo una integración avanzada de información.

El presente trabajo se encuentra enmarcado en un proyecto de Telefonía IP de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), provincia de Tayacaja, donde se ha implementado un servicio Telefonía IP basado en Asterisk sobre una red inalámbrica de banda ancha. Por tanto, el uso de Asterisk permite interoperar la aplicación de comunicación de voz con otras aplicaciones que optimicen el transporte de paquetes en el canal inalámbrico.

#### **2.2.1.6 REDES LAN INALÁMBRICAS**

Según Yu, Choi, y Qiao (2001), una red de área local inalámbrica es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de estas. La complejidad de una WLAN (wireless local area network) es variable, dependiendo de las necesidades a cubrir y en función de los requerimientos del sistema a implementar. Se puede utilizar distintas configuraciones de red como las siguientes:

- Punto a Punto.
- Punto a multipunto.

- Uso de un punto de extensión.
- Enlace entre varias LAN's o WMAN.

El proyecto de Telefonía IP de la FIES-UNH, como muestra la Figura N° 2.8, sobre el cual se ha relacionado la presente investigación, utiliza una configuración en modo infraestructura en cada escuela profesional dentro de la Facultad de Ingeniería Electrónica - Sistemas. Asimismo, para la interconexión entre ambas escuelas profesionales se cuenta con un enlace troncal punto a punto.

Las redes WLAN se basan en el estándar 802.11. Utilizan CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance*) para el control de acceso al medio básico, de esta forma evita colisiones y utiliza el ancho de banda disponible de manera menos eficiente, pues cada paquete recibido debe ser reconocido mediante el envío de un ACK al transmisor y puede reservar el uso del canal mediante RTS (*request to send*) / CTS (*clear to send*).



Figura 2.8 – Arquitectura de la Red Inalámbrica de telefonía IP FIES-UNH.

FUENTE. Investigación y elaboración propia.

Los estándares WLAN más extensamente aceptados son 802.11 b/a/g, aunque también se cuenta con otras enmiendas como 802.11 e/f/h/i/k/n, que son actualizaciones, extensiones o correcciones. Así entonces se tiene que:

- **802.11b**, emplea solamente la tecnología de Secuencia Directa y utiliza la modulación CCK (*Complementary Code Keying*) lo que le permite alcanzar hasta 11 Mbps de velocidad en la banda de 2,4GHz.



- **802.11a**, evolución de 802.11b, opera en la banda de 5 GHz y ofrece una capacidad de hasta 54 Mbps. El canal inalámbrico utiliza Multiplexación OFDM (*Orthogonal Frequency Division*)
- **802.11g**, tiene Multiplexación OFDM que permite hasta 54 Mbps de capacidad máxima en la banda de 2,4 GHz. Permite interoperabilidad con el estándar 802.11b.
- **802.11h**, es una evolución del 802.11a que permite asignación dinámica de canales y control automático de potencia para minimizar los efectos interferentes.
- **802.11i**, está dirigido a mejorar la seguridad. El estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*) basado en RC4, conocido inicialmente como WEP2 y posteriormente como WPA, y AES (*Advanced Encryption Standard*).
- **802.11n**, está construido basándose en los estándares previos de la familia 802.11, agregando Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) y unión de interfaces de red (*Channel Bonding*), además de agregar tramas a la capa MAC. Resultando en un incremento significativo en la velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps a un máximo de 600 Mbps.
- **802.11e**, aporta mejoras en el sistema de control y servicios de 802.11. Su objetivo es soportar tráfico en tiempo real con garantías de Calidad de Servicio (QoS). Para ello introduce clases de tráfico y un nuevo sistema de coordinación llamado HCF (*Hybrid Coordination Function*). Presenta dos tipos de acceso: EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) que se basa en prioridades de tráfico y HCCA (*HCF-Controlled Channel Access*) que contempla periodos controlados o no, con la diferencia principal de que el Access Point



(AP) puede iniciar un periodo controlado en cualquier momento y no de forma predeterminada. Análogamente a como ocurría en PCF, los periodos no controlados se rigen por el sistema EDCA.

De acuerdo a Challa, Chakrabarti y Dalta (2009), las redes LAN inalámbricas, desde el punto de vista del protocolo MAC, presentan diversas funcionalidades como sigue:

#### **2.2.1.6.1 CARACTERÍSTICAS DCF (DISTRIBUTED COORDINATION FUNCTION)**

DCF se basa en el acceso CSMA/CA (*carrier sense multiple access with collision avoidance*). La detección de portadora se realiza en las capas PHY y MAC: CS física y CS de capa MAC virtual. RTS (*Request-to-send*) y CTS (*clear-to-send*) son utilizadas por las estaciones para solucionar los problemas de terminal escondido y terminal expuesto. Las estaciones utilizan el campo de duración para ajustar su tabla NAV (*network allocation vector*). DCF puede operar en dos modos, uno es DCF con CSMA/CA y el otro modo es el mecanismo RTS/CTS.

**DCF CON CSMA/CA:** Conforme a la Figura N° 2.9, si llega un paquete a una cola vacía y el medio está libre por un intervalo de tiempo mayor al valor DIFS (*distributed inter-frame space*), la estación origen puede transmitir el paquete inmediatamente. Mientras otras estaciones aplazan su transmisión mediante el ajuste de sus valores NAVs, y empieza un proceso de *backoff*.

En este proceso, la estación calcula un intervalo aleatorio denominado *backoff timer* seleccionado de la ventana de contención *CW* (*contention window*). Así, *CW* se incrementa exponencialmente con un número creciente de intentos para retransmitir la trama, es decir;  $CW_i = 2^{k+i-1} - 1$ ,  $i$  es el número de intentos para transmitir la trama y  $k$  es una constante que define el *CW* mínimo.

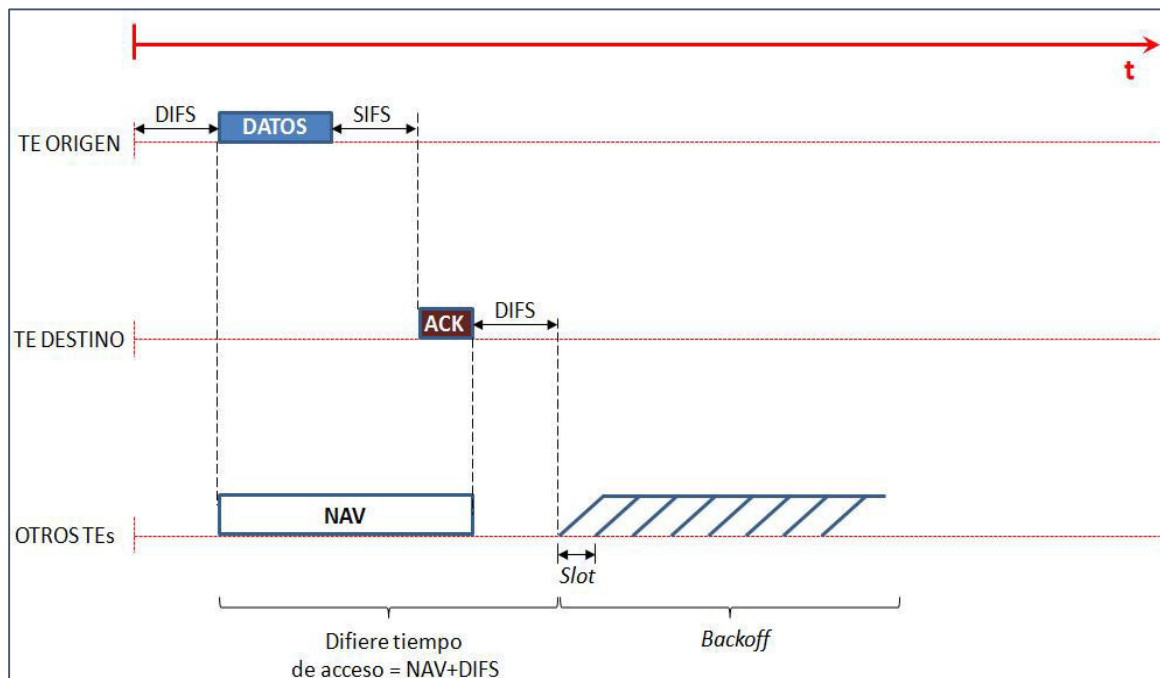


Figura N° 2.9 – DCF con CSMA/CA.

FUENTE. Elaboración propia

Después de recibir un paquete, las estaciones receptoras esperan un intervalo SIFS (*short inter-frame space*) y transmiten una trama de confirmación positiva ACK (*acknowledgment*) a la estación origen, indicando el éxito de la transmisión. Si no se recibe un ACK, el emisor

asume que la trama transmitida a colisionado, de modo que programa una retransmisión e ingresa a un proceso de *backoff*.

Para reducir la probabilidad de colisiones, después de cada transmisión exitosa, se duplica el  $CW_{max}$  hasta que se alcance un valor máximo predefinido. Si ocurre una colisión, se elige un nuevo slot de backoff y empieza el procedimiento de backoff hasta que se exceda un límite de tiempo. Después de una transmisión exitosa, se reinicia  $CW$  a  $CW_{min}$ .

Ante los errores que eventualmente se pueden dar en la red inalámbrica, es posible incrementar la utilización del canal inalámbrico dividiendo la longitud de la zona de carga en fragmentos de menor tamaño cuando se excede el valor del umbral de fragmentación (*Frag threshold*) prefijado.

La ventaja de esta técnica es que si ocurre un error durante la transmisión de un fragmento específico, una estación no tiene que retransmitir todo el paquete original; con lo cual se reduce el tiempo de corrección y por lo tanto un incremento de utilización. El rango del umbral de fragmentación es 256~2312 Bytes.

**DCF CON RTS/CTS:** Como se muestra en la Figura N° 2.10, para solucionar el problema de terminal escondido se introduce el esquema RTS/CTS. Cada vez que llega un paquete se genera un RTS a la estación destino y escucha

por un intervalo SIFS (short inter frame space), si se encuentra libre se envía RTS con una espera de CTS, de otro modo difiere hasta la condición libre.

Otras estaciones aplazan sus transmisiones con NAV. Si CTS llega entonces el canal está reservado para la transmisión de datos con una espera de acuse de recibo (ACK). Si un paquete ACK no se recibe después de la transmisión de datos, se retransmite el paquete después de otro *backoff* aleatorio.

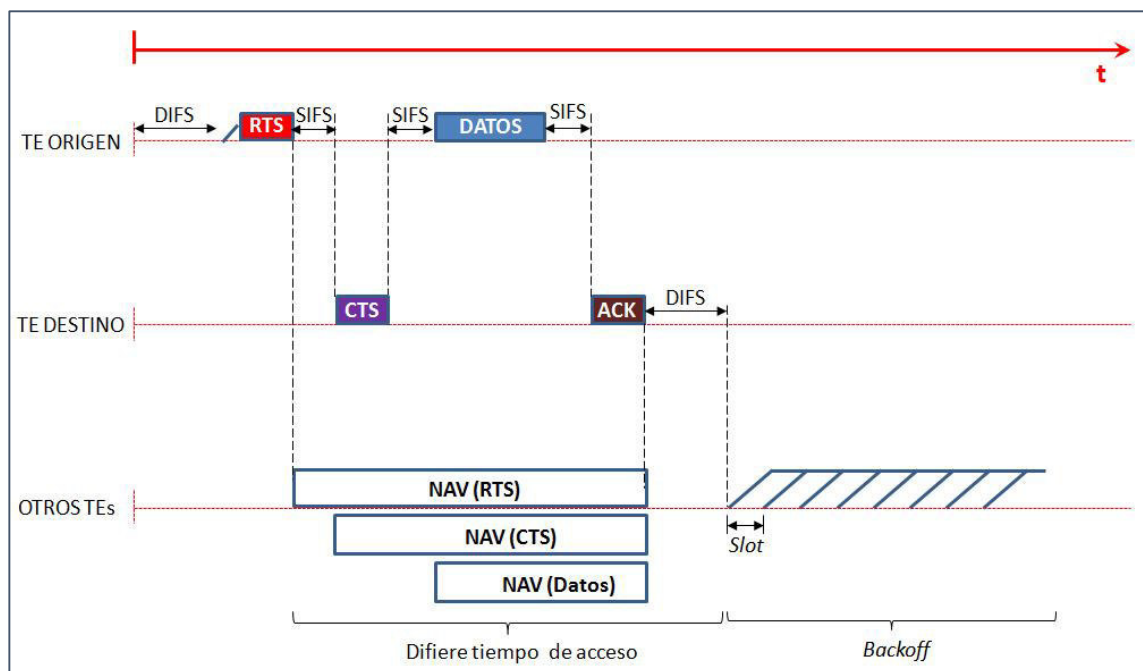


Figura N° 2.10 – DCF con RTS/CTS.

FUENTE. Elaboración propia

Para cada recepción exitosa de un paquete, la estación receptora envía un ACK después de SIFS, Si ACK llega entonces va al estado de SIFS, Si ACK llega entonces va al estado de

inicio, de otro modo, después del timeout de ACK va a un backoff exponencial.

Una vez que ocurre un error, se tiene que retransmitir un paquete de las estaciones que intentan. Los errores pueden ser causados por muchas situaciones posibles. Por ejemplo, la trama CTS correspondiente no puede retornar después que se ha transmitido una trama RTS. Esto puede ocurrir debido a:

- Colisión con la transmisión de otra estación.
- Interferencia en el canal durante la transmisión de tramas RTS/CTS
- La estación que recibe la trama RTS tiene la condición de CS virtual activo (indica periodo de tiempo del medio ocupado).

#### **2.2.1.6.2 CARACTERÍSTICAS PCF (POINT COORDINATION FUNCTION)**

PCF realiza una diferencia entre tráfico de diferentes prioridades. Permite a las tramas de alta prioridad un acceso más rápido al medio inalámbrico. El método de acceso en PCF se basa en un mecanismo de sondeo centralizado controlado por un AP (*Access Point*), el cual actúa como un coordinador. El AP cíclicamente sondea a las estaciones para darles la oportunidad de transmitir paquetes. A diferencia de DCF, la implementación de PCF no es obligatoria.

Una vez que adquiere el canal, cíclicamente sondea a las estaciones de alta prioridad y les concede el privilegio de transmitir. Aunque PCF se ha previsto para servicios limitados en retardo, es centralizado y puede usarse solamente bajo el modo infraestructura.

La especificación de PCF deja muchos temas no resueltos como: (i) PCF experimenta un retardo sustancial a baja carga conforme las estaciones siempre deben esperar por el sondeo, aún en un sistema libre, (ii) puesto que el AP necesita competir por el canal utilizando DCF al inicio de un CFP, el periodo efectivo de sondeo libre de contención puede variar, y (iii) es difícil para el coordinador gestionar el sondeo de un gran número de flujos interactivos sin dañar las aplicaciones que utilizan contención DCF.

Como se muestra en la Figura N° 2.11, PCF divide el canal inalámbrico en supertramas. Cada supertrama consiste de un periodo libre de contención (CFP) para el mecanismo PCF y un periodo de contención (CP) para DCF. Adicionalmente, PCF es una propuesta centralizada que adolece de errores dependientes de la ubicación. Por lo tanto, PCF no ha llamado mucho la atención, ya sea de la comunidad de investigación o la industria, y la mayoría de los esquemas existentes se centran en la mejora de la DCF, que es un protocolo totalmente distribuido.

INTERVALO DE REPETICION CFP			
Periodo de libre contención		Periodo de contención	
B	PCF	E	DCF
1	PCF: Todos los servicios por sondeo		
2	DCF: Todos los servicios por contención.		

Figura N° 2.11– Acceso al canal DCF y PCF.

FUENTE. Elaboración propia

### 2.2.1.6.3 CARACTERÍSTICAS HCF (*Hybrid Coordination Function*)

HCF es la función de coordinación para el estándar 802.11e enfocado a la QoS. La MAC emplea una función de acceso al canal, que incluye un acceso basado en contención denominado EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) y un mecanismo de acceso al canal libre de contención denominado HCCA (*HCF-Controlled Channel Access*). EDCA tiene cuatro categorías de acceso ACs (*Access Categories*). Cada AC obtiene un acceso al canal diferenciado debido a la variación del tiempo que un AC sensa el canal como libre y longitud diferente del tamaño de CW durante el *backoff*. EDCA soporta ocho prioridades, los cuales se mapean en cuatro ACs.

### 2.2.1.7 CONCLUSIONES PRELIMINARES

En este capítulo se ha revisado los conceptos necesarios sobre los que se sustenta la Telefonía IP. Se abordó la problemática del transporte IP bajo el servicio “*best-effort*” y

la utilización de los protocolos UDP y TCP. Además se ha descrito el procesamiento de la señal analógica de voz para transmitirla digitalmente por la red de datos, los protocolos y estándares utilizados en la telefonía IP. Finalmente, se abordaron conceptos complementarios de software de comunicación basado en Asterisk y características del canal de transmisión inalámbrico.

Cabe señalar que debido a la variabilidad del canal de transmisión inalámbrico que impacta directamente en los parámetros de comunicación, la velocidad resultante percibe una variabilidad. Finalmente, se concluye que la calidad percibida en una comunicación de voz se verá afectada por esta variabilidad, y la pérdida de paquetes de voz.

## **2.2.2 PARAMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN VoIP**

Según Zhai, Wang y Fang (2006), en la telefonía sobre Internet el retardo, las pérdidas y la variabilidad en el retardo, son los tres factores más importantes que afectan las características de claridad y fidelidad, y por lo tanto impactan directamente en la calidad de servicio, por lo que, las redes IP deberían mejorarse con mecanismos que aseguren la calidad de servicio requerida para el transporte de voz. A continuación se revisa estos factores mencionados y algunos mecanismos para reducir sus consecuencias.

### **2.2.2.1 RETARDO**

El retardo es el tiempo que transcurre desde el momento en que el emisor genera la voz hasta que el receptor lo escucha, y se denomina retardo extremo a extremo. Uno de los principales desafíos de la transmisión de voz en



tiempo real sobre una red de datos es como superar los efectos que aparecen como consecuencia de este retardo; ya que algunos elementos que lo causan son muy difíciles de controlar.

El retardo de extremo a extremo consiste en tres principales componentes, el retardo de empaquetamiento y reproducción, retardo de transmisión, y el retardo de propagación. El retardo de empaquetamiento incluye el tiempo que toma el retardo de codificación, de decodificación, compresión, y descompresión. Los diferentes componentes del retardo de extremo a extremo de VoIP son:

- **RETARDO DE EMPAQUETAMIENTO:** El tiempo que toma grabar las muestras de voz y ponerlas en segmentos. El valor está en función del hardware.
- **RETARDO DE CODIFICACIÓN:** El tiempo necesario para transformar el segmento de voz a su representación de bits.
- **RETARDO DE COMPRESIÓN:** El tiempo requerido para comprimir los segmentos de voz, colocarlos en paquetes, e inyectarlos en la red.
- **RETARDO DE RED:** Este retardo está compuesto por el retardo de procesamiento y encolamiento en router, retardo de transmisión y propagación.
- **RETARDO DE DECODIFICACIÓN:** El tiempo que toma descomprimir los paquetes.
- **RETARDO DE REPRODUCCIÓN:** El tiempo que esperan los paquetes en el buffer desde que son recibidos hasta que son reproducidos.

En la Figura N° 2.12, se muestra los componentes del retardo de extremo a extremo. Las aplicaciones en tiempo real son sensibles al retardo de extremo a extremo, si este retardo es muy grande la interactividad comienza a ser pobre, ya que el retardo trae consigo el problema del eco.

Para reducir el efecto de retardo, en las colas de los nodos de la red se puede añadir más ancho de banda que permita absorber el tráfico y reducir su impacto. Asimismo, es recomendable priorizar los paquetes de voz respecto a los datos.

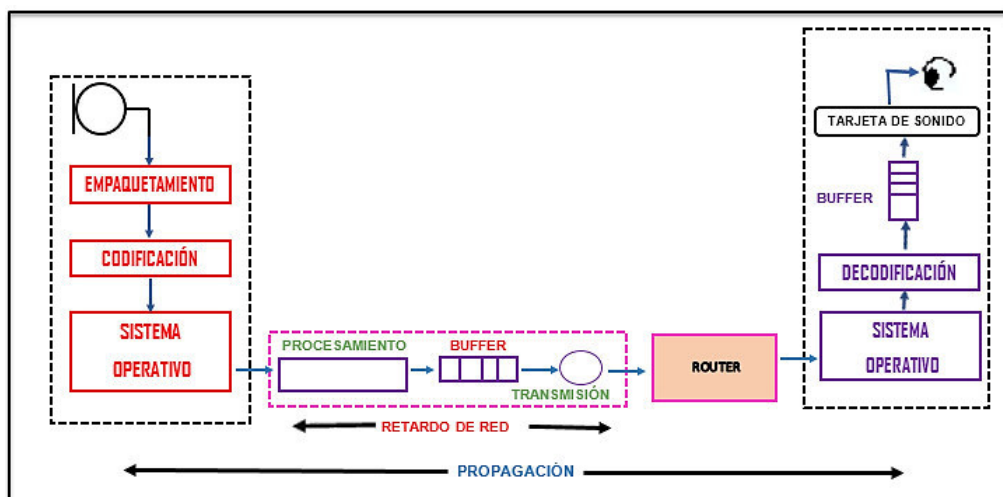


Figura 2.12 – Componentes del retardo

FUENTE. Elaboración propia

### 2.2.2.2 PÉRDIDA DE PAQUETES

En una sesión, los paquetes se pueden perder por diferentes razones como la congestión, los errores de transmisión y los errores de enlace. Además de este tipo de pérdidas, aparecen pérdidas cuando el retardo extremo a extremo de los paquetes es excesivo, por lo que estos paquetes son inútiles para la sesión, sin importar que lleguen correctamente al receptor.

Las aplicaciones de voz toleran cierta tasa de pérdidas sin impactar la calidad de la voz. Cabe señalar que estos límites dependen del codificador que se utilice. Potencialmente, los mecanismos para tratar de aliviar el efecto de las pérdidas de los paquetes de voz se clasifican como Corrección de Errores Proactiva, basadas en técnicas FEC (*Foward Error Correction*); y Corrección de Errores Reactiva, basadas en técnicas ARQ (*Automatic Repeat reQuest*).

### **2.2.2.3 VARIABILIDAD EN EL RETARDO (*JITTER*)**

La fuente envía los paquetes de voz igualmente espaciados en el tiempo y los coloca en la red; sin embargo, el retardo en Internet es variable por diferentes causas, entre ellas; que puede ser distinto el tiempo en los nodos intermedios, los paquetes pueden tomar distintas rutas, puede haber retransmisiones en los enlaces, etc. Entonces, al momento en que los paquetes llegan al receptor, la mayoría de ellos han perdido el intervalo regular que había entre ellos al momento de salir del emisor.

En otros casos, los paquetes puede llegar en desorden o en el peor de los casos no llegar, por estas razones los paquetes de las sesiones de VoIP recibidos no pueden ser reproducidos en el momento que llegan. Los paquetes deben esperar en el receptor para su reordenamiento y reespaciamiento en una memoria intermedia conocida como buffer, y así atenuar las consecuencias de la variabilidad en el retardo.

La diferencia entre el espacio del tiempo de transmisión y el espacio del tiempo de recepción se le conoce como

variabilidad en el retardo o jitter, esto se muestra en la Figura N° 2.13. Este problema se puede resolver, al agregar retardo a los paquetes, este retardo se le conoce con el nombre de retardo de reproducción.

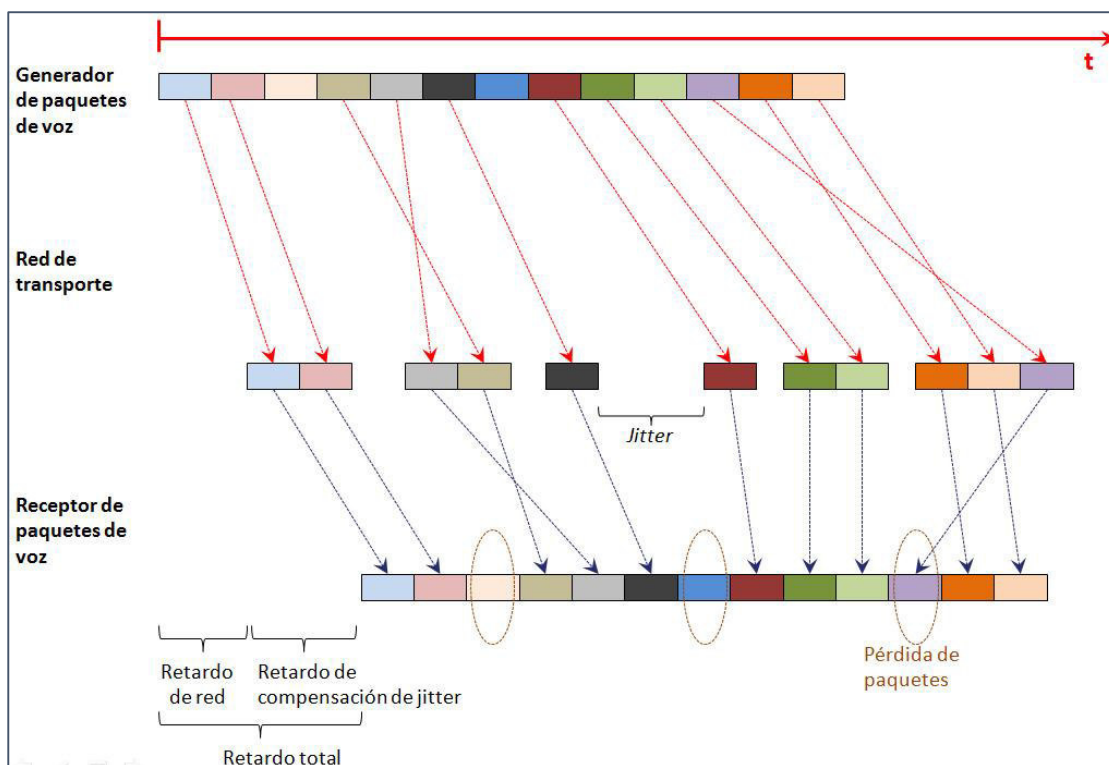


Figura N° 2.13 - Ejemplo de variabilidad en el retardo

FUENTE. Elaboración propia

El retardo de reproducción de un paquete recibido  $i$ , debe tener una acotación dado que si el paquete llega después de su tiempo límite, entonces no sirve y se descarta, procediendo a esperar el siguiente paquete.

### 2.2.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Para evaluar la calidad de servicio en una sesión de Telefonía IP existen diferentes enfoques. El primer enfoque es por medio de la reducción de la tasa de pérdidas y de la variabilidad en el retardo

de una aplicación, y manteniendo estos parámetros dentro de los niveles tolerables; de esta manera podemos medir, por ejemplo, la calidad de servicio a través de la tasa de pérdidas promedio y el retardo de reproducción promedio de una sesión dada. En este caso, decimos que la QoS es medida objetivamente, ya que una cantidad medible es reportada por la aplicación para indicar la calidad vista durante una sesión. Otro enfoque es por medio de la opinión del usuario final. En este caso una sesión multimedia es grabada. Hay dos señales para ser comparadas: la transmisión de la señal original, y la señal recibida deteriorada por las pérdidas, el retardo y la variabilidad en el retardo. La señal original es conocida como señal de referencia. Entonces, un grupo de usuarios, escuchan las dos señales y deben compararlas de manera subjetiva.

#### **2.2.3.1 E-MODEL**

El E-model es un modelo común del ITU-T para evaluar los efectos combinados de las variaciones de diversos parámetros de transmisión que afectan a la calidad de la conversación telefónica, cuyo principal resultado es una cuantificación escalar de la calidad de transmisión, llamado factor de determinación de índices R, que varía linealmente con la calidad de la conversación. Una de sus características es el uso de factores de degradación de la transmisión que reflejan los efectos de los dispositivos modernos de procesamiento de señales. Este modelo estima la calidad de la comunicación de la conversación de boca a oído percibida por el usuario en el lado de la recepción, como oyente y como hablante.

Existen tres parámetros diferentes asociados con el tiempo de transmisión. El retardo absoluto  $T_a$ , representa el retardo total en un sentido entre el emisor y el receptor y se utiliza

para estimar la degradación debida a retardos demasiado largos. El parámetro de retardo promedio en un sentido  $T$ , representa el retardo entre el lado de recepción, en estado hablante, y el punto de una conexión en el que aparece un acoplamiento de señales como una fuente de eco. El retardo de ida y vuelta  $T_r$ , representa las degradaciones debidas al eco para el oyente.

El cálculo del factor de determinación de índices de transmisión,  $R$ , es una combinación de todos los parámetros de transmisión pertinentes para la conexión considerada. Este factor  $R$  está dado como:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e - e_{ff} + A$$

Donde:

- $R_0$  : representa la relación señal a ruido básica que incluye fuentes de ruido, tales como ruido de circuito y ruido ambiente.
- $I_s$  : Es una combinación de todas las degradaciones que aparecen de forma más o menos simultánea con la señal vocal.
- $I_d$  : representa las degradaciones producidas por el retardo y el factor de degradación efectiva del equipo.
- $I_{e-eff}$  : representa las degradaciones producidas por baja tasa de codificación. Incluye también la degradación debida a pérdidas de paquetes de distribución aleatoria.
- $A$  : sirve para compensar los factores de degradación cuando existen otras ventajas de acceso para el usuario.

Como se muestra en la Tabla N° 2.2, el E-Model transforma las medidas objetivas en calidad subjetiva, el rango de valores correspondientes a las Categorías de Calidad de la transmisión de voz.

**Tabla N° 2.2 - Valores de R en E-Model**

R	100 - 90	90 - 80	80 - 70	70 - 60	60 - 0
Calidad	La mejor	Alta	Media	Baja	Pobre

**FUENTE. Rec. G.107 UIT**

### 2.2.3.2 PESQ

La Evaluación de la calidad vocal por percepción, PESQ, es un método para predecir la calidad subjetiva de microteléfonos y codificadores de banda estrecha, tomando en cuenta el filtrado, la variabilidad en el retardo y las distorsiones cortas localizadas. PESQ trata estos efectos mediante la ecualización de la función de transferencia, la alineación de tiempo y un algoritmo para promediar distorsiones en función del tiempo.

PESQ compara una señal inicial  $X(t)$  con una señal degradada  $Y(t)$  que se obtiene como resultado de la transmisión de  $X(t)$  a través de un sistema de comunicaciones. La salida de PESQ es una predicción de la calidad percibida por los sujetos en una prueba de escucha subjetiva y que sería atribuida a  $Y(t)$ . En el primer paso de PESQ se calcula una serie de retardos entre la entrada inicial y la salida degradada, uno para cada intervalo de tiempo cuyo retardo presenta una diferencia significativa en comparación con el del intervalo de tiempo precedente. Para cada uno de estos intervalos se calcula un punto de arranque y un punto de parada

correspondientes. El algoritmo de alineación se basa en el principio de comparación entre la confianza de dos retardos en un cierto intervalo de tiempo y la confianza de tener un solo retardo para ese intervalo. El algoritmo puede tratar los cambios en el retardo tanto durante periodos de silencio como durante periodos de habla activa.

Sobre la base del conjunto de retardos que se encuentran, PESQ compara la señal de entrada con la salida degradada alineada del dispositivo sometido a prueba, utilizando un modelo por percepción. Lo esencial en este proceso es la transformación de las dos señales, la inicial y la degradada, en una representación interna que es análoga a la representación psicofísica de señales de audio en el sistema auditivo humano, teniendo en cuenta la frecuencia por percepción y la sonoridad. Esto se realiza en varias etapas: alineación de tiempo, alineación del nivel a un nivel de escucha calibrado, correspondencia entre el dominio de la frecuencia y el dominio del tiempo, curvatura de frecuencia, y aplicación de escala compresiva de la sonoridad.

La representación interna de las señales se procesa para tener en cuenta efectos tales como las variaciones de la ganancia local y el filtrado lineal que, si no son muy grandes, puede que sólo influyan poco en el aspecto por percepción. Esto se realiza limitando la magnitud de la compensación y haciendo que la compensación se efectúe con posterioridad al efecto.

Por tanto, las diferencias de estado estacionario, de poca magnitud, entre la señal inicial y la degradada quedan compensadas. Los efectos más graves, o las variaciones rápidas, son compensadas parcialmente, por lo que queda



un efecto residual que contribuye a la perturbación por percepción global. Esto permite utilizar un pequeño número de indicadores de calidad para modelar todos los efectos subjetivos. En PESQ se calculan dos parámetros de error en el modelo cognitivo, los cuales se combinan para dar una MOS de calidad de escucha objetiva.

### 2.2.3.3 MOSc

El método de Nota Media de Opinión, MOS, determina subjetivamente la calidad de transmisión. La idea principal es reproducir las condiciones de una conversación telefónica real en un laboratorio, donde las personas asignan un valor de escala. En la Tabla N° 2.3, se muestra la escala de MOS y el efecto DMOS (Nota Media sobre las degradaciones).

**Tabla 2.3 - Notas de degradación de MOS**

Valor	MOS	DMOS	Comentario
5	Excelente	Degradación inaudible	No se requiere esfuerzo
4	Bueno	Degradación audible pero no molesta	Esfuerzo no apreciable
3	Regular	Degradación ligeramente molesta	Esfuerzo moderado
2	Pobre	Degradación molesta	Esfuerzo considerable
1	Malo	Degradación muy molesta	Sin significado

**FUENTE: Rec. P.800 UIT**

#### **2.2.3.4 CONCLUSIONES PRELIMINARES**

En este capítulo se indicaron las razones por las que el retardo, las pérdidas, y la variabilidad en el retardo son los principales factores que afectan la calidad de servicio en las sesiones de Telefonía IP. Estos impactan directamente a la interactividad, a la claridad y a la fidelidad. Por estas razones, se deben implementar mecanismos que aseguren la calidad requerida para las aplicaciones de Telefonía IP.

Además se ha presentado tres formas de evaluar la calidad de servicio en las aplicaciones de voz sobre IP como son el E-Model, PESQ y MOS.

#### **2.2.4 ALGORITMOS DE CONTROL DE ERROR APLICADOS EN VoIP**

De acuerdo a Bianchi (2000), la red WLAN por si misma soporta un mecanismo básico de retransmisión SW que le permite obtener una adecuada respuesta en la transmisión de datos, sin embargo en el transporte de voz se tienen otros límites que imponen algún tipo de comportamiento en el receptor ante esta operación.

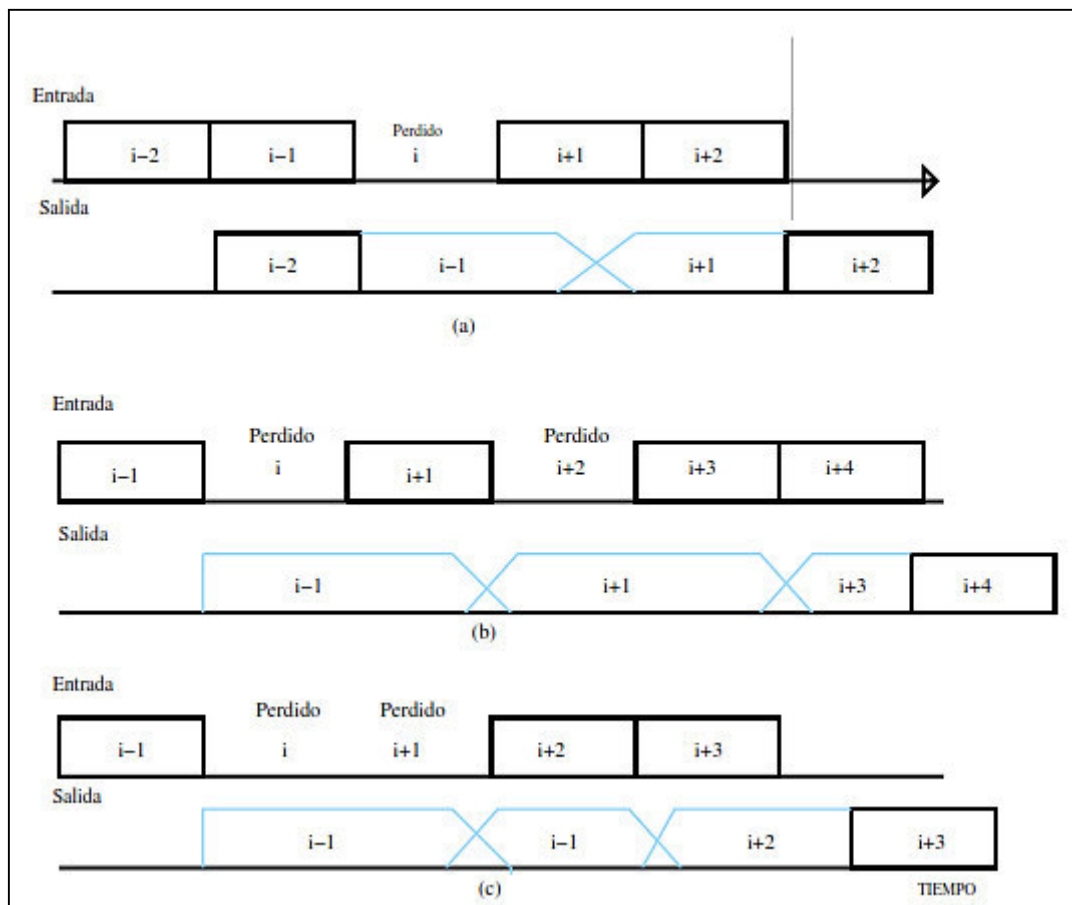
##### **2.2.4.1 CORRECCIÓN DE ERRORES REACTIVA**

ARQ, *Automatic Repeat reQuest*, es un mecanismo usado para recuperarse de las pérdidas haciendo una solicitud explícita a la fuente. Este tipo de mecanismos reactivos no es usado en aplicaciones de VoIP para grandes distancias dado que introduce un retardo adicional considerable, para lo cual este tipo de aplicaciones son casi intolerantes. Otro tipo de corrección reactiva consiste en tratar de ocultar los espacios que quedan con la pérdida de paquetes. Existen diversas técnicas para lograr esto, de las cuales se habla

detalladamente en la literatura. Entre las cuales se destacan:

- **ESQUEMA BASADO EN LA INSERCIÓN:** el espacio que deja el paquete perdido se corrige agregando silencio o ruido. También se puede repetir la reproducción del último paquete recibido o simplemente se juntan los paquetes anterior y posterior al paquete perdido.
- **ESQUEMA BASADO EN INTERPOLACIÓN:** incluye la modificación de la escala de tiempo donde se expanden los paquetes para ocultar la pérdida.

En la Figura N° 2.14a, se pueden apreciar algunos ejemplos de los esquemas antes descritos, donde se observa la modificación en la escala de tiempo de los paquetes  $i-1$  e  $i+1$  que se expanden para corregir el espacio dejado por  $i$ . En la Figura N° 2.14b, se utiliza el mismo mecanismo para reparar pérdidas no consecutivas, y en la Figura N° 2.14c se usa el mismo mecanismo más la repetición del paquete  $i-1$  para corregir pérdidas consecutivas.



**Figura N° 2.14 - Corrección de Errores Reactiva**

**FUENTE.** Elaboración propia

Bajo ARQ, las tramas erróneamente recibidas se retransmiten hasta que se reciban libres de errores, utilizando en el receptor un mecanismo de detección basado en código polinomial cíclico y mensajes de realimentación hacia el emisor, como confirmaciones ACK (positiva) o NAK (negativa).

Las versiones básicas son ARQ-SW (*Stop-and-Wait*), ARQ-GBN (*Go-back-N*), ARQ-SR (*Selective-Repeat*); siendo estos dos últimos los protocolos de ventana deslizante.

### 2.2.4.1.1 MECANISMO ARQ-SW

Bajo el protocolo ARQ-SW, el emisor y receptor se comunican a través de un enlace punto a punto semidúplex. Después de la transmisión de una trama, el emisor espera una confirmación del receptor antes de enviar la siguiente o re-enviar la misma en caso de error.

Como se muestra en la Figura N° 2.15, las tramas F1, F2, F3 están en cola para su transmisión. En el instante  $t_0$  se envía la trama F1, la cual llega correctamente y por tanto genera una confirmación positiva, la cual llega al emisor antes que expire su temporizador de emisión. Ocurre contrariamente a la trama F2, pues se retransmite al recibir una confirmación negativa.

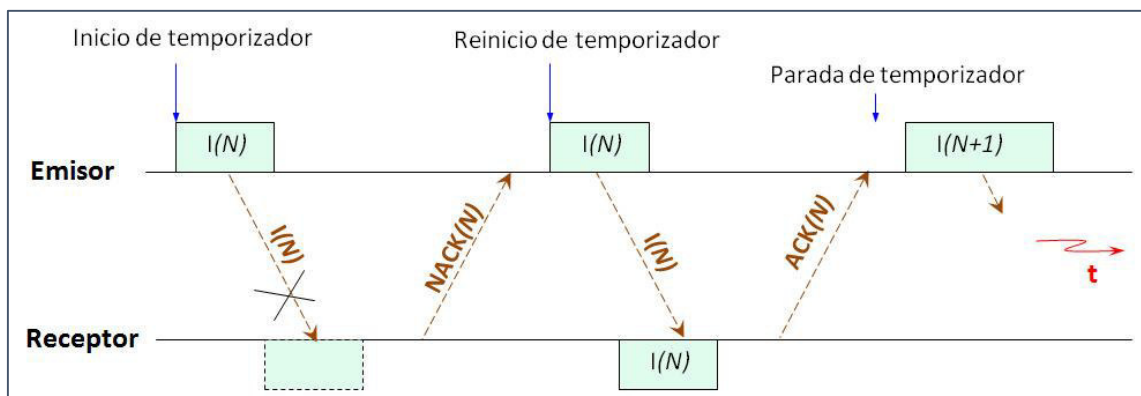


Figura N° 2.15 – Mecanismo básico SW

FUENTE. Elaboración propia

En la Figura N° 2.16, se muestra la temporización de una transmisión de trama bajo ARQ-SW.

Donde  $T_T$  es el tiempo total en la transmisión de dos tramas consecutivas; por tanto comprende todos los tiempos involucrados en la transmisión de la trama y la confirmación, desde el tiempo de propagación, serialización de trama y procesamiento.

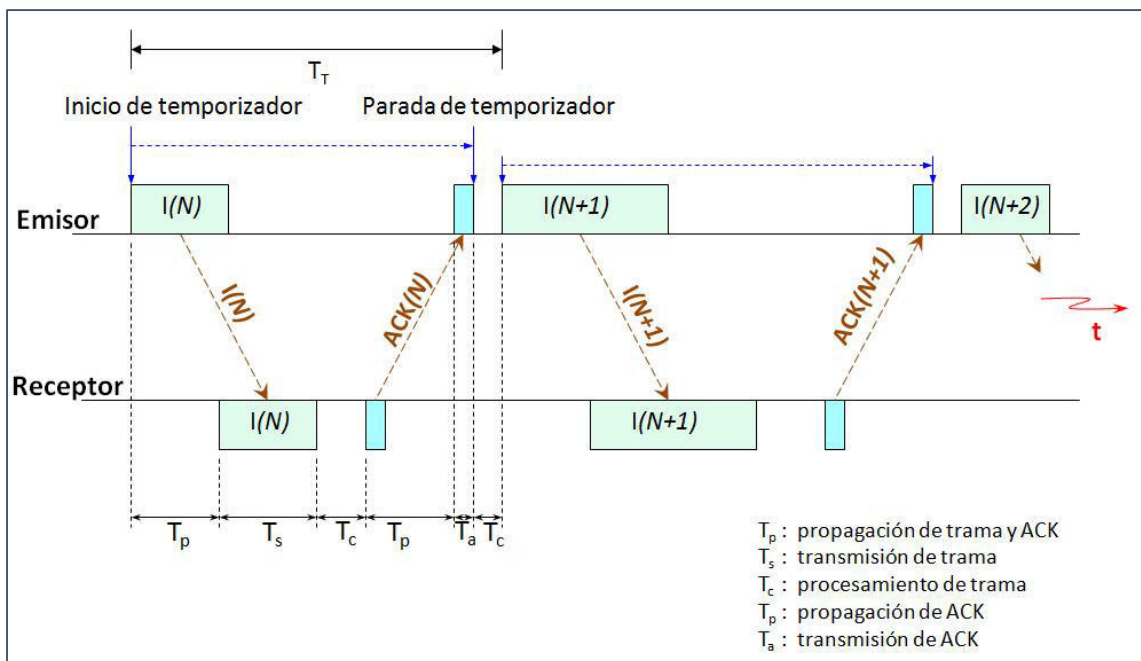


Figura N° 2.16 – Intervalo de operación SW

FUENTE. Elaboración propia

El rendimiento se realiza midiendo los parámetros de eficiencia de Throughput y Probabilidad de error de bits. Considerando que  $P$  es la probabilidad de detección de error de una trama recibida por el código de detección de error, el número medio de transmisiones que se requieren antes que una trama sea aceptada por el receptor es dado por:

$$N_t = \sum_{k=1}^{\infty} KP_k = \sum_{k=1}^{\infty} KP^{k-1}(1-P) = \frac{1}{1-P}$$

Mientras que la eficiencia de *Throughput* se puede expresar como:

$$n = \frac{1-P}{1+2\alpha}$$

En definitiva, el promedio de tiempo global de la transmisión para una trama aceptada estará dado como:

$$T_V = \sum_{k=1}^{\infty} KP_k T_T = \frac{T_T}{1-P}$$

#### 2.2.4.1.2 MECANISMOS DE VENTANA DESLIZANTE

Para superar la ineficiencia de los esquemas de repetición se puede implementar un protocolo de ventana deslizante donde la ventana se refiere a un subconjunto de tramas consecutivas.

##### a) EL ESQUEMA ARQ-GBN

Realiza la transmisión continua de tramas sin esperar la confirmación entre tramas. Claramente, se requiere un enlace full dúplex que permita el envío de tramas consecutivas sin recibir una confirmación. Al detectar una trama errónea, el receptor envía un NAK para esa trama y descarta esa trama y todas las sucesivas hasta que se reciba correctamente la trama errónea; lo cual significa que el emisor al recibir un NAK, retransmite la trama errónea y las siguientes.

Considerando  $k$  como el número de bits en el campo de numeración de la trama y  $N$  como el tamaño máximo de la ventana, se muestra en la Figura N° 2.17 con  $k=3$  y por lo tanto  $N=7$ . Así, el emisor puede transmitir secuencias de tramas numeradas como  $F_0, F_1, F_2, \dots, F_7$ . El receptor detecta un error en la trama  $F_3$  y retorna  $NAK_3$ , descarta tanto la trama  $F_3$  y las siguientes  $F_4, F_5$ , y  $F_6$  recibidas, las cuales han sido ya transmitidos por el emisor antes de recibir  $NAK_3$ .

Este mecanismo es más eficiente que el ARQ inactivo y presenta la ventaja de tener una secuencia correcta de las tramas aceptadas en el receptor, y se implementa en diversos protocolos de capa 2 y 4 como HDLC y TCP respectivamente.

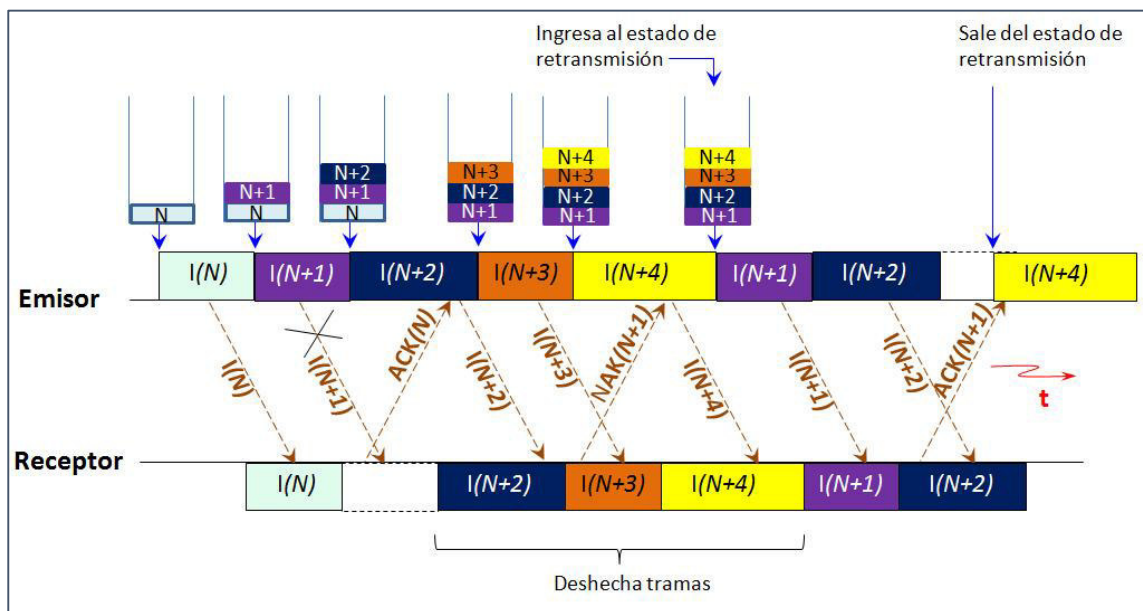


Figura N° 2.17 – Mecanismo básico GBN

FUENTE. Elaboración propia



Sin embargo, también presenta algunas desventajas como el requerir una numeración de tramas y su almacenamiento de  $N$  tramas esperando confirmación positiva. Además, en ausencia de fuente controlada, todas las tramas entrantes aún no aceptadas por la ventana deben almacenarse mientras esperan ser insertadas en la ventana. Habrá una ineficiencia debido al descarte de todas tramas que siguen a la trama errónea, aun cuando estén sin errores.

Cada trama errónea necesita la retransmisión de  $M$  tramas ( $M \leq N$ ), donde  $M$  depende del retardo de propagación de ida y vuelta y el tamaño de la trama. El número de veces que se transmite una trama corresponde a una trama particular que está siendo transmitida  $k$  veces:

$$g(k) = 1 + (k-1)M = (1-M) + kM$$

Así, el número medio de tramas transmitidas  $N_t$ , que son necesarias para transmitir exitosamente una trama se expresa como:

$$N_t = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)P^{k-1}(1-P) = \frac{1-P+PM}{1-P}$$

La eficiencia de *Throughput* se puede expresar como:

$$n_{GB} = \begin{cases} \frac{1-P}{1+2\alpha P}, N \geq 2\alpha + 1 \\ \frac{N(1-P)}{(1+2\alpha)(1-P+PN)}, N < 2\alpha + 1 \end{cases}$$

Suponiendo que los tiempos de procesado son despreciables, el tiempo medio de transmisión de una trama aceptada visto por el emisor se da como:

$$T_V = T_S + N_i T_T = T_S + \sum_{k=1}^{\infty} K P^k (1-P) T_T$$

$T_S$  es la duración actual de transmisión de una trama y  $T_T = T_S + 2T_P$  con  $\alpha = T_P/T_S$ . Así, el tiempo total  $T_T$  puede expresarse como:  $T_T = T_S(1+2\alpha)$  y el tiempo medio de transmisión de una trama es:

$$T_V = T_S + \frac{P T_T}{1-P} = T_S \left( \frac{1+2\alpha P}{1-P} \right)$$

## b) EL ESQUEMA ARQ-SR

Para superar la ineficiencia de la retransmisión innecesaria de tramas sin error, se restringe la retransmisión a sólo aquellas tramas que corresponden a tramas erróneas o dañadas que son confirmadas negativamente, también a tramas cuyo temporizador ha expirado.

Como se muestra en la Figura N° 2.18, el receptor detecta un error en la tercera trama F3 y, por tanto devuelve una confirmación negativa NAK3 al emisor. Sin embargo, debido a la naturaleza continua del mecanismo, las tramas siguientes F4, F5 y F6 también se envían y esperan en el receptor hasta la recepción correcta de la trama F3. Al recibir NAK3, el emisor transmite la trama actual (F6) y luego

retransmite F3 antes de enviar la siguiente trama F7 de la secuencia.

En la práctica, cada trama recibida correctamente antes de la aparición de una trama errónea denotada por F se entrega al usuario (es decir, a la capa física). A partir de entonces, todas las tramas libres de error se almacenan en el receptor, hasta que la trama errónea F se reciba correctamente. Luego esta trama F se inserta en el comienzo de la secuencia de buffer, que de esta manera puede suministrarse de manera segura para el usuario hasta la siguiente trama recibida con error.

Sin embargo, el reordenamiento se convierte en algo más complejo si otras tramas erróneas se reciben antes que la trama F se reciba finalmente sin error. Como consecuencia, se debe proveer al emisor un almacenamiento adecuado que también debe integrar la lógica apropiada para el envío de las tramas que están fuera de secuencia, lo cual es altamente exigente en las transmisiones de larga distancia como por ejemplo vía satélite.

La expresión para la eficiencia de Throughput se puede dar como:

$$n_{SB} = \begin{cases} 1 - P, N \geq 2\alpha + 1 \\ \frac{N(1 - P)}{1 + 2\alpha}, N < 2\alpha + 1 \end{cases}$$

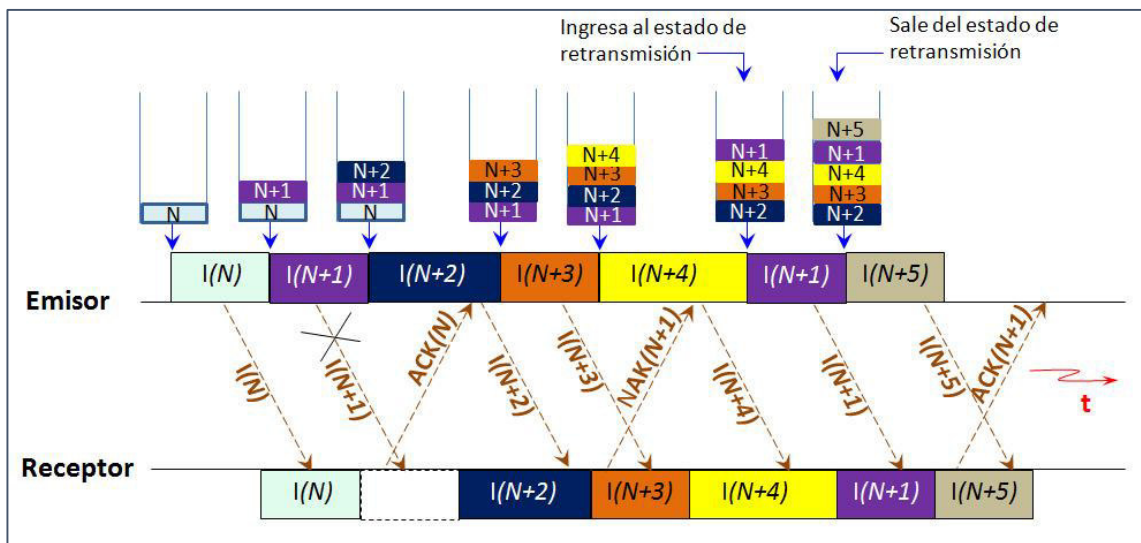


Figura N° 2.18 – Mecanismo básico SR

FUENTE. Fuente propia

Finalmente, en la Figura N° 2.19, se muestra la eficiencia de throughput para los mecanismos ARQ cuando se considera  $P=0.01$ .

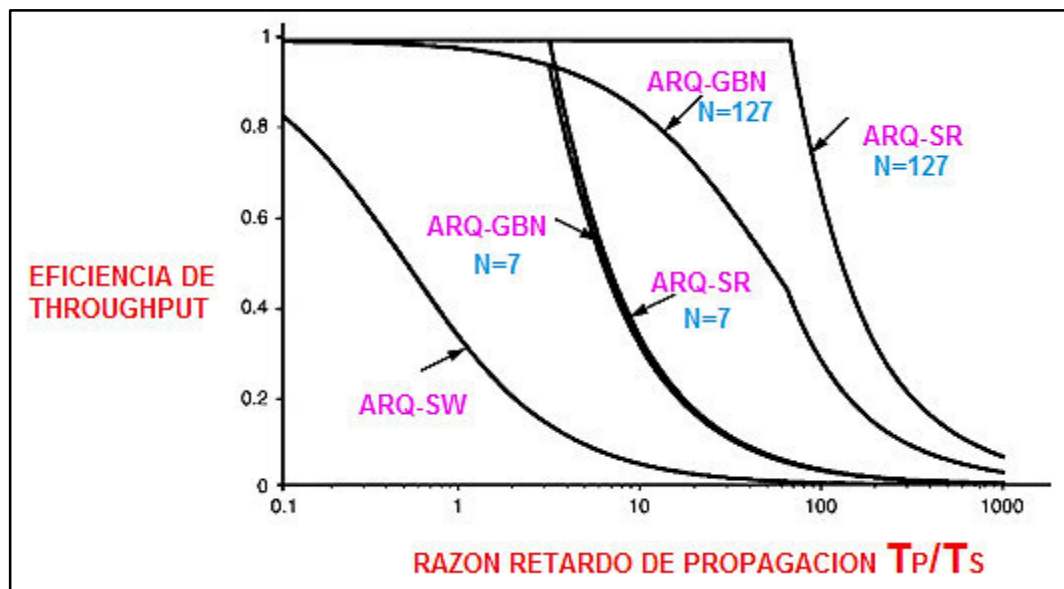


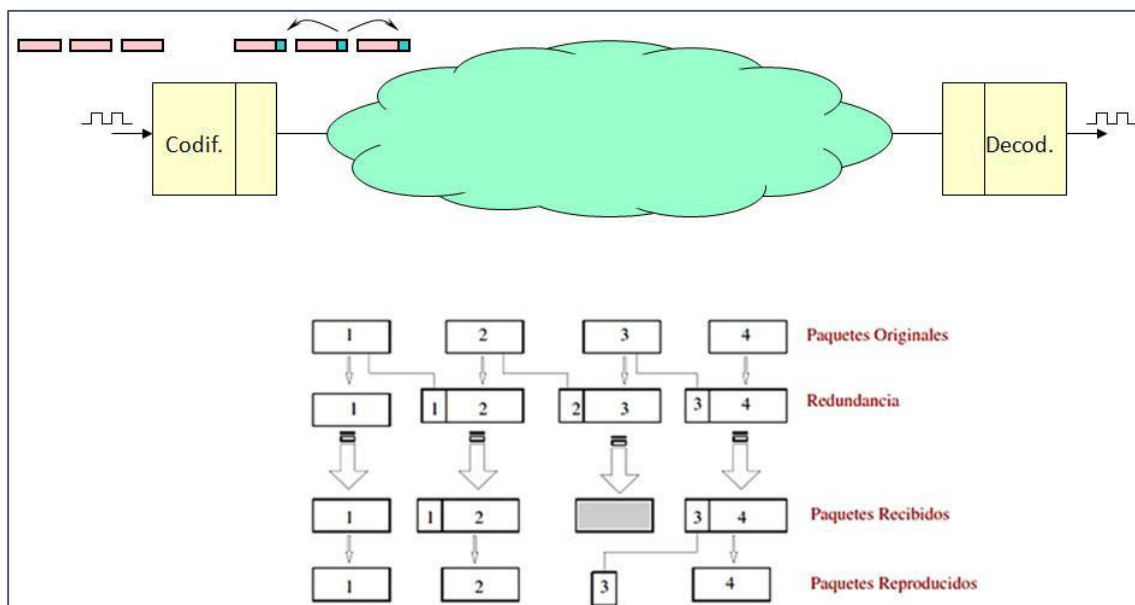
Figura N° 2.19 – Comparativa de mecanismo ARQ

FUENTE. Stallings, Data Communications

#### 2.2.4.2 CORRECCIÓN DE ERRORES PROACTIVA

Según Rosenberg (2000), existen varios tipos de FEC (Corrección de Errores Hacia Adelante), en general, este tipo de mecanismos consisten en enviar información redundante de menor calidad del paquete  $n$  en el paquete  $n+1$ , tal como muestra en la Figura N° 2.20. De ésta manera en caso de perderse el paquete  $n$  se puede recuperar la información al llegar el paquete  $n+1$ , lo cual disminuye la tasa de pérdidas de paquetes. Se observa también que la redundancia está codificada a una tasa menor que el paquete original. Si bien es cierto que no se recupera el paquete original, el reproducir un paquete a una menor tasa de codificación es mejor que no reproducir nada.

Si bien FEC disminuye las pérdidas, se debe tomar en cuenta que el uso del FEC conlleva aumentar el tamaño de cada paquete y con esto se incrementa el ancho de banda que se consume para la transmisión. Asimismo, en caso de perderse el paquete  $n$  se tendría que esperar a que llegue el paquete  $n+1$  para recuperarse de la pérdida, por lo tanto se necesita que el tiempo de espera aumente provocando un incremento del retardo de extremo a extremo.



**Figura N° 2.20 - Mecanismo FEC**

**FUENTE.** Elaboración propia

Los mecanismos FEC son más eficientes cuando la cantidad de pérdidas es pequeña y cuando son independientes, la razón de esto es que cuando hay pérdidas continuas, por ejemplo, si se pierde el paquete  $n$  y se pierde el paquete  $n+1$ , no hay manera de recuperar el paquete original o su copia. Para esto se puede modificar el mecanismo básico de FEC aumentando el número de redundancias en los paquetes subsiguientes, por ejemplo, se envía redundancia de  $n$  en los paquetes  $n+1$ ,  $n+2$ ,  $n+3$ , etc.

Muchos codificadores pueden recuperarse al perder pocos paquetes, sin embargo, cuando se presentan ráfagas de pérdidas, el deterioro en la calidad de la transmisión es muy notable, y el mecanismo FEC ofrece menos beneficios comparado con el mecanismo Interleaving. Para minimizar el daño por las ráfagas de pérdidas, los paquetes pueden intercalarse. De esta manera si existe una ráfaga de

pérdidas, las pérdidas en el receptor no serían consecutivas y por lo tanto serían más sencillas de ocultar, así, la probabilidad de recuperarse de las pérdidas aumentaría.

Las técnicas FEC's utilizan los códigos de RS (Reed-Solomon), que consisten en esquemas de detección y corrección de errores. Estos códigos proporcionan la corrección de gran alcance, tienen alta eficiencia de canal, y por lo tanto tienen una amplia gama de aplicaciones en comunicaciones y almacenamiento digital, por ejemplo:

- Los dispositivos de almacenamiento: disco compacto (CD), DVD, etc.
- Las comunicaciones inalámbricas o móviles: teléfonos celulares, enlaces de microondas, etc.;
- Las comunicaciones por satélite;
- La televisión digital;
- Módems de alta velocidad: ADSL, VDSL, etc.

#### **2.2.4.2.1 FUNDAMENTOS DE CÓDIGOS RS**

Los códigos de RS son códigos cíclicos no binarios con símbolos conformados de secuencias de  $m$  bits, donde  $m$  es un número entero positivo que tiene un valor mayor a 2. Los códigos RS( $n$ ,  $k$ ) en símbolos de  $m$  bits, existen para todos los  $n$  y  $k$  para los cuales:

$$0 < k < n < 2^m + 2$$

Donde  $k$  es el número de símbolos de datos que se codifican, y  $n$  es el número total de símbolos de código en el bloque codificado. Así:

$$(n, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t)$$

Donde  $t$  es la capacidad de corrección de error de símbolos del código, y  $n-k=2t$  es el número de símbolos de paridad. Se puede tener un código RS extendido con  $n=2m$  o  $n=2m+1$ .

Los códigos Reed-Solomon obtienen la distancia mínima del código más grande posible, para cualquier código lineal con las mismas longitudes de bloque de entrada y salida de codificador. De este modo, la distancia mínima del código está dado como:

$$d_{\min} = n - k + 1$$

El código es capaz de corregir cualquier combinación de  $t$  o menos errores, donde  $t$  se puede expresar como:

$$t = \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{n - k}{2} \right\rfloor$$

Donde  $\lfloor x \rfloor$  es el entero más grande que no exceda a  $x$ . Por ello, corregir  $t$  errores de símbolo de código requiere no más de  $2t$  símbolos de paridad. Para cada error, se usa un símbolo redundante para localizar el error y el



otro símbolo redundante es utilizado para encontrar su valor correcto.

#### 2.2.4.2.2 PROBABILIDAD DE ERROR R-S

Los códigos R-S son particularmente útiles para corrección de error de ráfagas, esto es, son efectivos para canales que tienen memoria. También, se pueden usar eficientemente en canales donde el conjunto de símbolos de entrada es grande. Una característica interesante del código R-S, es que se pueden añadir al código R-S de longitud  $n$ , dos símbolos de información sin reducir su distancia mínima. Este código R-S tendría longitud  $n+2$  y el mismo número de símbolos de verificación de paridad como el código original.

La probabilidad de error de símbolo decodificada R-S,  $P_E$ , en términos de la probabilidad de error de símbolo de canal,  $p$ , se puede expresar como:

$$P_E = \frac{1}{2^m - 1} \sum_{j=t+1}^{2^m-1} j \binom{2^m-1}{j} P^j (1-P)^{2^m-1-j}$$

La probabilidad de error de bit puede acotarse superiormente por la probabilidad de error de símbolo para tipos específicos de modulación. Para una modulación MFSK con  $M=2m$ , la relación sería:

$$\frac{P_B}{P_E} = \frac{2^{m-1}}{2^m - 1}$$

En la Figura N° 2.21 mostrada a continuación, se tiene  $P_B$  versus la probabilidad de error de símbolo del canal,  $p$ , para códigos R-S con  $n=31$  (31 símbolos de 5 bits por bloque de código).

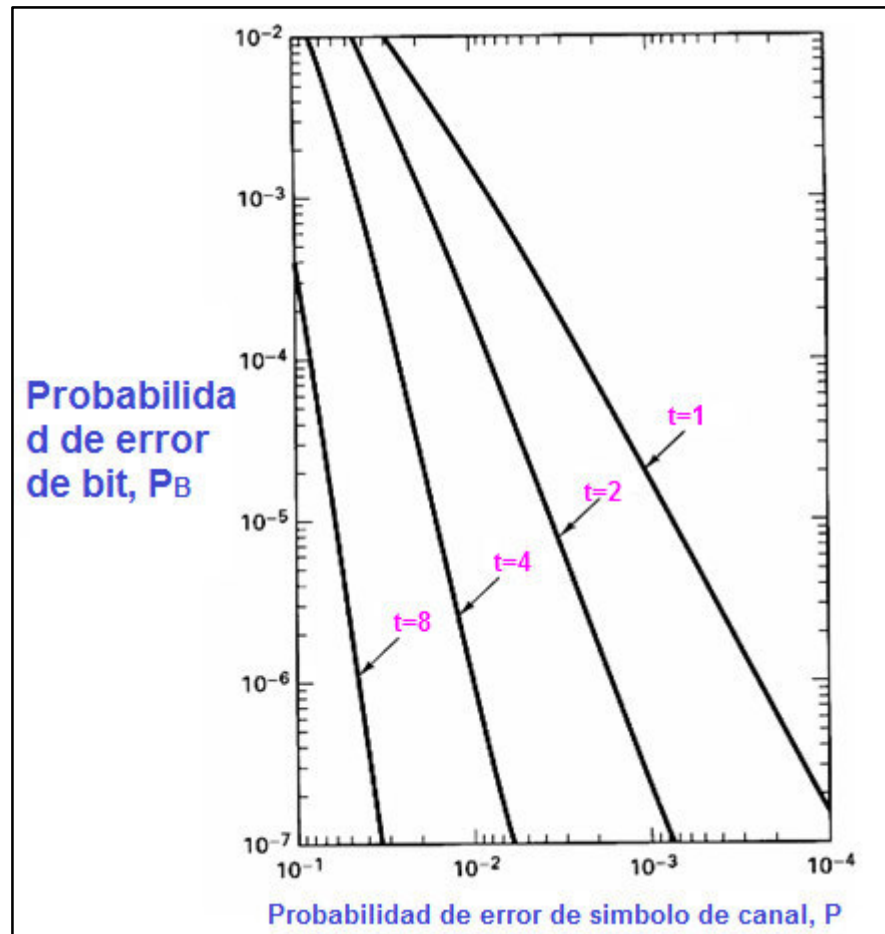


Figura N° 2.21 – Probabilidad de error R-S

FUENTE. Stallings, Data Communications

### 2.2.4.2.3 CÓDIGOS R-S Y EL RUIDO DE RÁFAGAS

Si se considera un código R-S  $(n, k) = (255, 247)$ , donde cada símbolo se compone de  $m=8$  bits. Puesto que  $n-k=8$ , este código puede

corregir errores de 4 símbolos en un bloque de código 255 símbolos en total. Por ejemplo, la presencia de una ráfaga de ruido que tiene una duración de 25 bits y alterando un bloque de datos durante la transmisión como se muestra en la Figura N° 2.22:

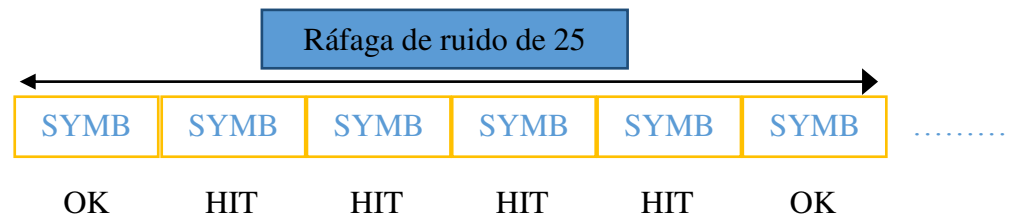


Figura N° 2.22 – Bloque R-S

FUENTE. Elaboración propia

Aquí, la ráfaga de ruido debe alterar exactamente 4 símbolos. El decodificador R-S para el código (255, 247) corregirá los errores de 4 símbolos sin tener presente el tipo de daño sufrido por el símbolo. Es decir, cuando el decodificador corrige un byte, reemplaza el byte incorrecto con uno correcto, sea el error causado por un bit dañado o todos los 8 bits dañados. Esto provee al código R-S una ventaja grande frente al ruido de ráfagas.

#### 2.2.4.2.4 RENDIMIENTO DE R-S EN FUNCIÓN DE TAMAÑO, REDUNDANCIA Y TASA DE CÓDIGO

Para que un código combata exitosamente los efectos de ruido, la duración del ruido tiene que representar un porcentaje relativamente pequeño

de la palabra código. Para asegurar que esto se dé en la mayor parte del tiempo, se debe promediar el ruido recibido en un largo periodo de tiempo, así los códigos de corrección de error son más eficientes conforme se incrementa el tamaño del bloque del código.

Así se tiene la Figura N° 2.23, donde la tasa del código ( $k/n$ ) se mantiene constante en  $7/8$ , mientras se incrementa su tamaño de bloque de  $n=32$  símbolos (con  $m=5$  bits por símbolo) a  $n=256$  símbolos (con  $m=8$  bits por símbolo). Así, el tamaño de bloque se incrementa de 160 bits a 2048 bits.

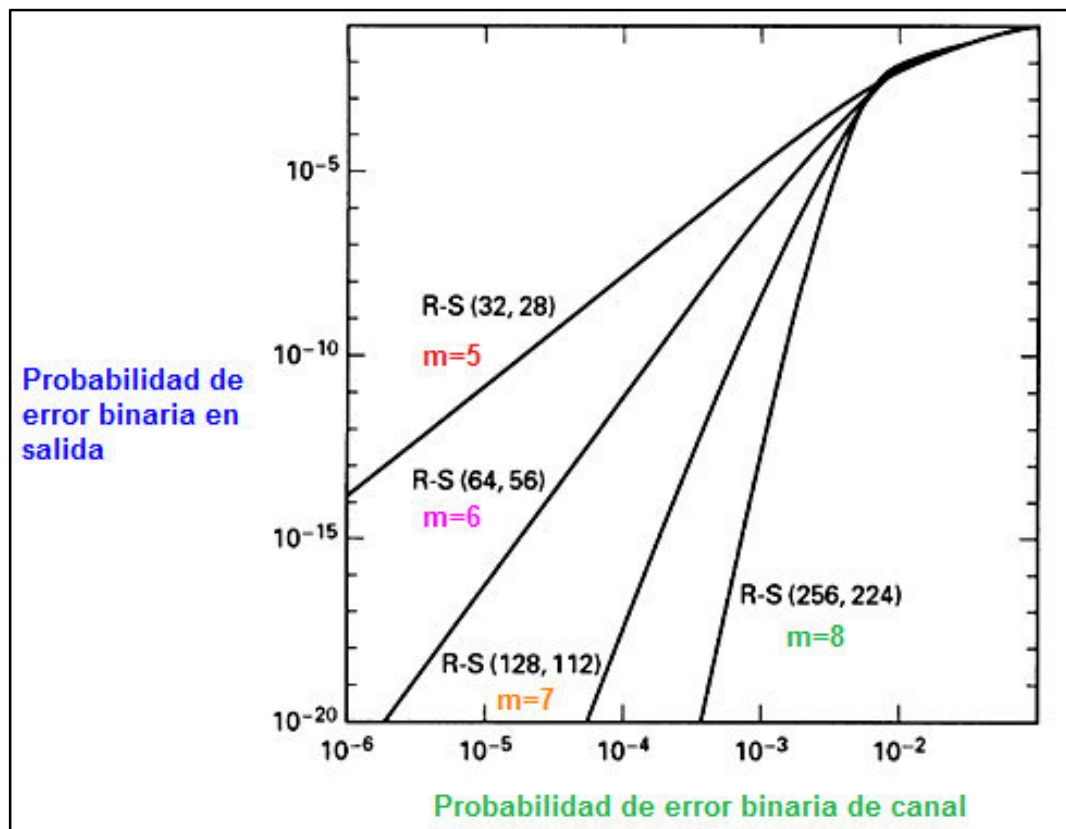


Figura N° 2.23 – Probabilidad de error R-S

FUENTE: Stallings, Data Communications

Conforme la redundancia del código R-S se incrementa, su implementación crece en complejidad (especialmente para dispositivos de alta velocidad). También, la expansión de ancho de banda debe crecer para las aplicaciones de comunicaciones de tiempo real. Sin embargo, el beneficio obtenido es la mejora en el rendimiento de error de bit, como puede verse en la Figura N° 2.24, donde la longitud del código  $n$  se mantiene a una constante 64, esto es  $RS(64, k)$ , mientras que el número de símbolos de datos disminuye de  $k=60$  a  $k=4$  (la redundancia se incrementa de 4 símbolos a 60 símbolos).

Aquí se representa las funciones de transferencia: probabilidad de error binario de salida versus probabilidad de error de símbolo de canal de entrada. Debido a que se considera un sistema o canal (solamente un entrada versus salida de un decodificador), podría pensarse que el rendimiento de error mejorado versus incremento de redundancia es una función monótona que proporciona continuamente una mejora del sistema. Sin embargo, este no es el caso para códigos que operan en un sistema de comunicaciones de tiempo real.

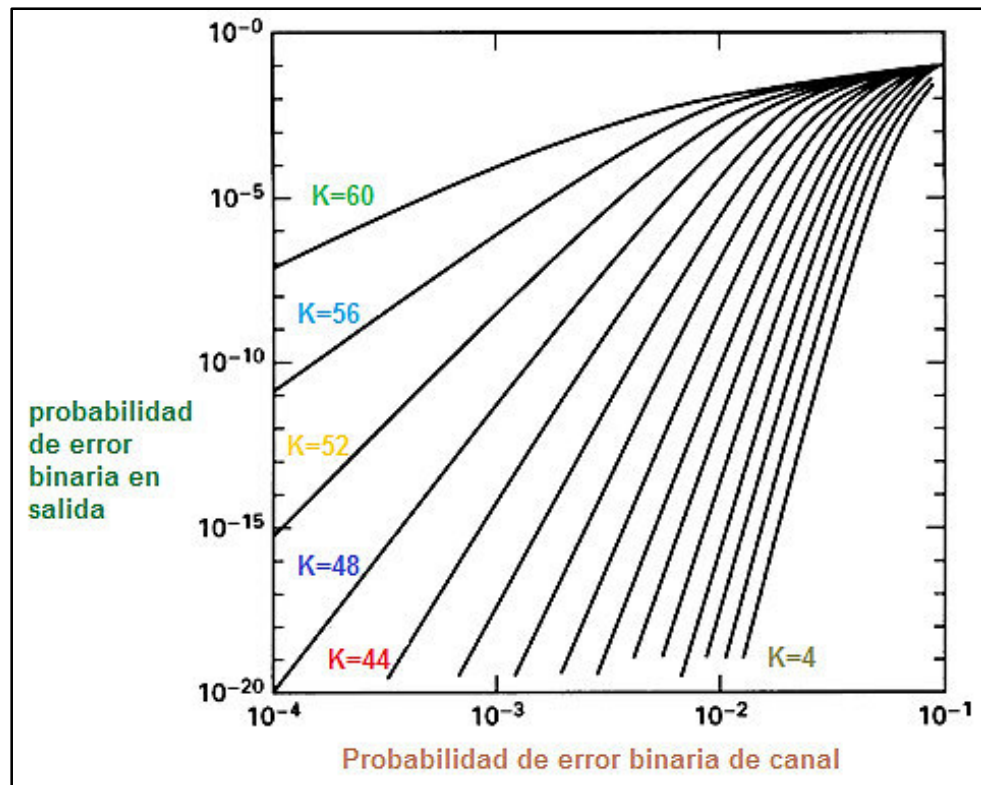


Figura N° 2.24 – Probabilidad de error R-S

FUENTE. Stallings, Data Communications.

Conforme varía la tasa del código desde un mínimo a un máximo (0 a 1), es interesante observar los efectos que se muestran en la Figura N° 2.25. Aquí, se obtienen las curvas de rendimiento para la modulación BPSK y un código RS(31, k) para diversos tipos de canales.

Esto refleja un sistema de comunicaciones de tiempo real, donde el precio pagado para la codificación de corrección de error es la expansión del ancho de banda por un factor igual a la inversa de la tasa del código. Se muestra que hay tasas de código óptimas que minimizan la relación de energía de bit a ruido ( $E_b/N_0$ ). La tasa óptima es alrededor de 0.6 a 0.7 para un canal Gaussiano, 0.5 para un canal

con desvanecimiento Rician y 0.3 para un canal con desvanecimiento Rayleigh.

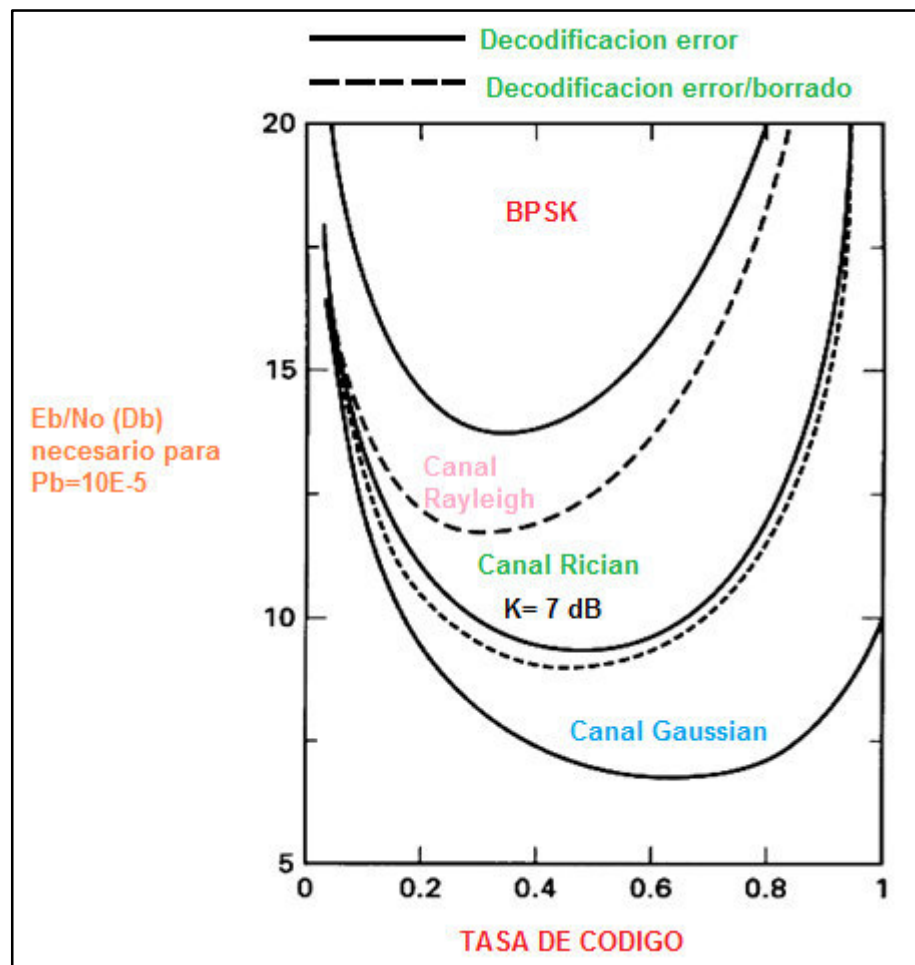


Figura N° 2.25 – Señal a ruido para diversos entornos  
FUENTE. Stallings, Data Communications.

### 2.2.4.3 CONCLUSIONES PRELIMINARES

La comunicación de VoIP, debido a su transmisión full dúplex de naturaleza interactiva y de tiempo real, requiere que los retardos sean mínimos. En ese sentido, la transmisión de paquetes de voz sobre un enlace IP operando con ARQ inactivo tendría aplicación en entornos de corto alcance; pero no en entornos de largo alcance donde los retardos son significativos y por tanto su efecto

sería negativo. Aún así generaría una reducción de eficiencia debido a su comportamiento semi-dúplex del mecanismo.

Respecto al uso de ARQ de ventana deslizante, en las situaciones donde se pueda tener diversos usuarios teniendo un efecto de tráfico multiplexado, será necesario tener un sistema de almacenamiento y ordenamiento de paquetes de voz que independientemente de la distancia emisor-receptor generaría un retardo de procesamiento y encolamiento que puede repercutir directamente en la calidad de la voz.

Los códigos RS, una clase útil de códigos de bloque no binarios, es particularmente útil para corregir errores de comportamiento a ráfagas. Debido a que la eficiencia de codificación se incrementa con la longitud del código, los códigos RS tienen especial atención. Pueden configurarse con largas longitudes de bloque con menor tiempo de decodificación que otros códigos de longitudes similares.

Dado el rendimiento obtenido, las aplicaciones de RS a las comunicaciones de VoIP pueden permitir una mejora sustancial en la calidad de servicio ya que la corrección de errores en el receptor alivia uno de los parámetros de QoS (pérdidas de paquetes debido a errores binarios).

### **2.2.5 ANALISIS DE PERDIDAS DE PAQUETES EN LAS REDES WLAN**

La operación habitual de una red LAN inalámbrica se encuentra en la modalidad DCF; siendo allí y bajo un entorno no ideal donde resultan pérdidas de paquetes cuyas causas y efectos deben ser analizados. En este caso, se realiza un modelo de cadena de



Markov multidimensional que refleja el efecto de las pérdidas de paquetes en el rendimiento de la red inalámbrica.

### 2.2.5.1 MODELO DE CADENA DE MARKOV DE UNA ESTACIÓN

Una red WLAN bajo DCF que opera en condiciones reales, puede tener estaciones que eventualmente no transmiten los paquetes con éxito. Estos eventos se pueden dar en situaciones donde ocurre la colisión de un paquete con otros y también cuando se dan errores en el canal de transmisión.

En lo que sigue, cada estación se asocia a un proceso de Markov bidimensional caracterizado por  $s(t)$  y  $b(t)$ , según Rama K. Challa, Saswat Chakrabarti, Debasish Datta (2009) y G. Bianchi (2000).

Donde  $s(t)$  es el proceso estocástico que representa la etapa de *backoff* en el instante  $t$ , y  $b(t)$  es el proceso estocástico que representa el contador del tiempo de *backoff*, cuyo valor entero se distribuye uniformemente en  $[0, CW_i-1]$ , donde  $CW_i$  representa la ventana de contención en la etapa  $i$ -ésima de *backoff*, ocurriendo un incremento unitario de la etapa por cada intento de transmisión fallido hasta un valor máximo  $m$ , mientras que la ventana de contención se duplica por cada etapa de *backoff* hasta el valor máximo  $2^m CW_{min}$  resultando para  $CW_{min} = W_0$ :

$$W_i = \begin{cases} 2^i W_0, & \text{Si } 0 \leq i \leq m \\ 2^m W_0, & \text{Si } i > m \end{cases}$$

Se asume que cada estación tiene  $m+1$  etapas de *backoff*. Cabe señalar que el mecanismo original de *backoff* considera a las pérdidas de paquetes debido a errores en el canal de transmisión y como producto de una colisión y por tanto duplica la ventana de contención. Por ello, para evitar una reducción de eficiencia en el sistema de transmisión frente a errores del canal se puede optar por mantener el mismo valor de la ventana previa a esta situación.

Como se muestra en la Figura N° 2.26, una estación en el estado  $(i, 0)$  se desplaza al estado  $(i+1, k)$  en el caso de una colisión sin efecto de captura de canal, y si hay captura de canal se desplaza al estado  $(0, k)$  si hubieran más paquetes; en caso contrario se desplaza al estado inactivo. Del estado  $(i, 0)$  la estación reingresa a la misma etapa de *backoff*  $(i, k)$  en el caso de una transmisión fallida debido a errores en el canal de transmisión.

También, en cada intento de transmisión cada paquete colisiona con la probabilidad  $P_{col}$  sin tener en cuenta los intentos anteriores, y los errores de transmisión ocurren con probabilidad  $P_{pi}$  debido a errores del canal. Se asume que una estación captura el canal con probabilidad  $P_{cap}$  en el caso de colisión.

La distribución estacionaria de la cadena es:

$$b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}$$

Donde:  $i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1)$

Se consideran las siguientes relaciones:

$$b_{i,0} = b_{i-1,0} \{P_{col}(1-P_{cap})\} + b_{i,0} \{(1-P_{col})P_{pl}\}$$

$$b_{i,0} = \left( \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}} \right)^i b_{0,0} \quad ; \quad i \in (0, m)$$

$$b_{m,0} \left\{ 1 - \left( \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}} \right) \right\} = b_{m'-1,0} \left( \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}} \right)$$

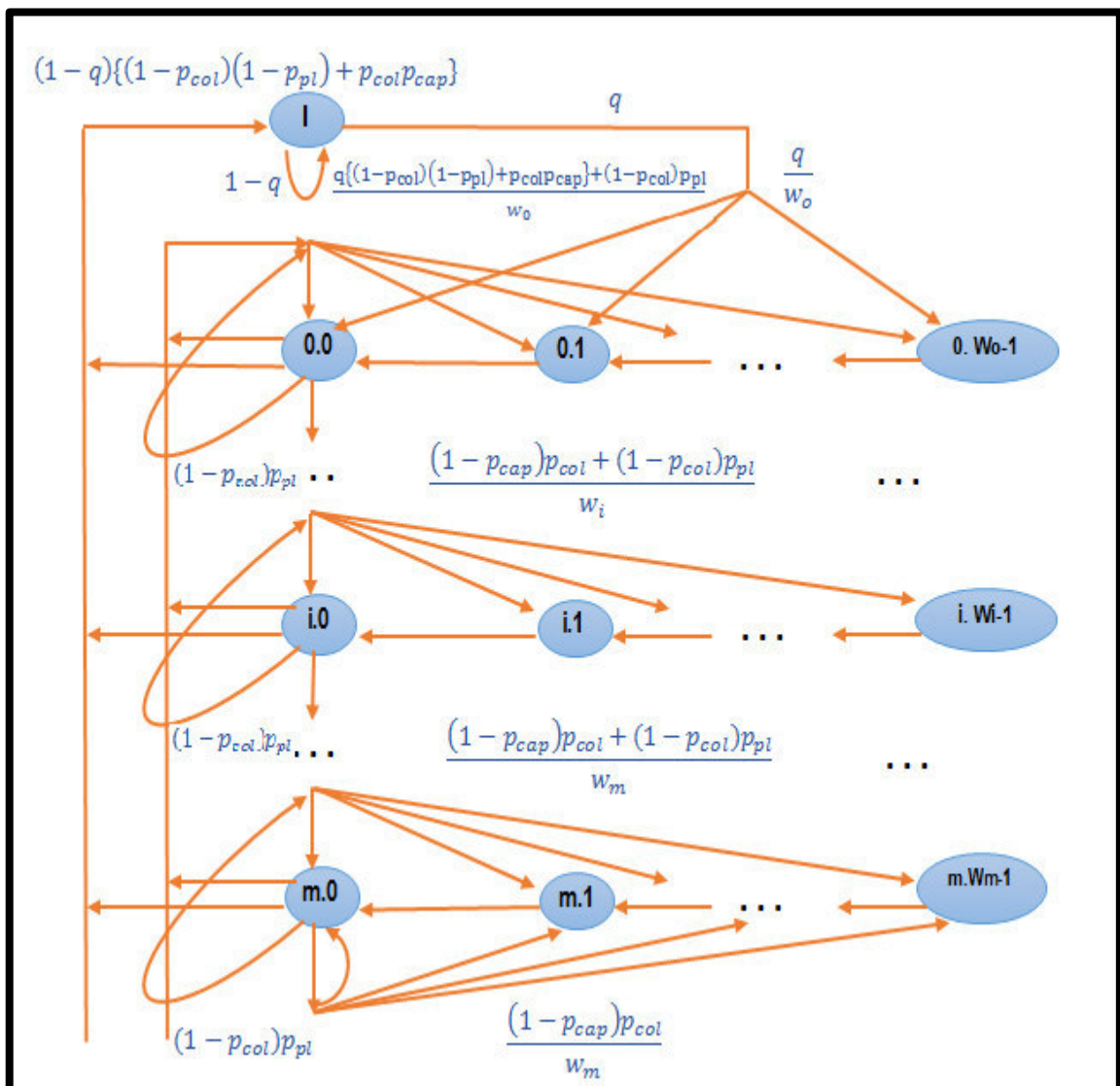


Figura N° 2.26 – Modelado de cadena Markoviana para una estación WLAN.

FUENTE. Elaboración propia

Así, se obtiene la relación:

$$b_{m,0} = \frac{\left( \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}} \right)^m b_{0,0}}{1 - \left( \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}} \right)}$$

El estado inactivo  $I$  ocurre cuando se dio una transmisión no fallida y no hay paquetes disponibles de información en la estación. En este estado se espera la llegada de un nuevo paquete de la aplicación.

La probabilidad de que una estación se encuentre en el estado inactivo para un buffer libre es:

$$b_{idle} = (1-q)\left[(1-P_{col})(1-P_{pl}) + P_{col}P_{cap} \sum_{i=0}^m b_{i,0}\right] + (1-q)b_{idle}$$

$$b_{idle} = \frac{(1-q)\left[(1-P_{col})(1-P_{pl}) + P_{col}P_{cap} \sum_{i=0}^m b_{i,0}\right]}{q}$$

Así se tiene:

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0}, \quad i \in (0, m), \quad k \in (0, W_{i-1})$$

Para la condición de normalización, la suma de probabilidades debe ser el 100%:

$$\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_{i-1}} b_{i,k} + b_{idle} = 1$$

$$\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_{i-1}} b_{i,k} + b_{idle} = \frac{b_{0,0}}{2} \left[ W_0 \left( \sum_{i=0}^{m-1} (2P)^i + \frac{(2P)^m}{1-P} \right) + \frac{1}{1-P} \right] + \frac{(1-q)[(1-P_{col})(1-P_{pl}) + P_{col}P_{cap}] \sum_{i=0}^m b_{i,0}}{q}$$

Donde:

$$P = \frac{P_{col}(1-P_{cap})}{1-(1-P_{col})P_{pl}}$$

También:

$$P_{col} = 1 - (1-\tau)^{n-1} - P_{cap}$$

Donde,  $\tau$  es la probabilidad que una estación transmita aleatoriamente cuando el tiempo de *backoff* es cero. Se utiliza un modelo de llegadas de *Poisson* para el análisis, con ello:

$$q = 1 - e^{-\lambda E\{T\}}$$

Donde,  $\lambda$  es la tasa de llegada de paquetes por unidad de tiempo, y  $E\{T\}$  es el tiempo de slot esperado:

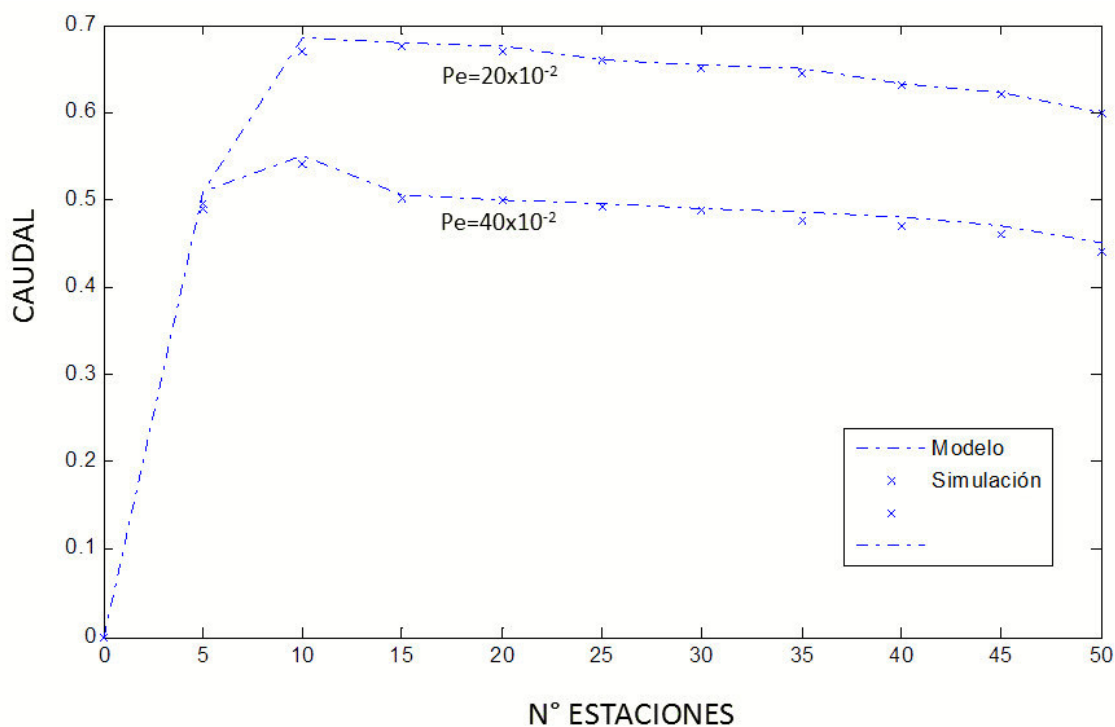
$$E\{T\} = (1-P_{tr})\sigma + P_{tr}(1-P_S)T_C + P_{tr}P_S P_{pl}T_e + P_{tr}P_S(1-P_{pl})T$$

Considerando las pérdidas de paquetes, la probabilidad de una transmisión con éxito será:

$$P_{success}^m(L) = (1 - P_{data}^m(L)) \cdot (1 - P_{ack}^m)$$

### 2.2.5.2 RESULTADOS DE LA SIMULACION

Para una funcionalidad no saturada, es decir que no siempre las estaciones tienen carga de datos para transmitir, la cual se define con una distribución de Poisson. En ese sentido, se tiene el resultado siguiente en la figura N° 2.27:



**Figura N° 2.27 – Caudal relativo al BER y tasa de llegada de 20 paq./sg.**

**FUENTE:** Elaboración propia

Se muestra el comportamiento del caudal para el método de acceso básico como una función de las estaciones que compiten por el acceso, para diferentes umbrales de captura y valores de BER.

El resultado muestra que el canal con BER bajo conduce a una mejora del rendimiento de la red y por tanto mayor probabilidad de garantía de calidad a las aplicaciones de los usuarios. También, se muestra que el rendimiento de la red disminuye para valores altos de umbrales de captura.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACION

Investigación aplicada.

#### 3.2 NIVEL DE INVESTIGACION

Descriptivo y explicativo.

#### 3.3 METODO DE INVESTIGACION

Método cualicuantos (cuantitativo y Cualitativo).

#### 3.4 DISEÑO DE INVESTIGACION

Es de tipo Pre-Experimental, con 1 solo grupo con Pre-test y Post-test.

La investigación se hace en una muestra:

$$M= O_1, x , O_2$$

Dónde:  $O_1$  = Se aplica un Pre-test al inicio (estrategia A).

$X$  = Se aplica las estrategias de solución (estrategia B y C).

$O_2$  = Se aplica un Post-test al final.

### **3.5 POBLACION Y MUESTRA**

#### **3.5.1 POBLACION**

Todos los servicios o aplicaciones de tráfico multimedia de tiempo real, que los usuarios pueden acceder desde una red WLAN.

#### **3.5.2 MUESTRA**

La aplicación de telefonía IP basado en SIP usado por los usuarios móviles en una red WLAN.

### **3.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

#### **TÉCNICAS:**

- Observación.
- Captura de parámetros de calidad de servicio en una comunicación de voz.

#### **INSTRUMENTOS:**

- Cuaderno de notas.
- Simulador de redes de datos: plataforma OPNET.

### **3.7 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS**

Se realiza un modelo de simulación para una comunicación de voz entre un usuario móvil y un usuario fijo, se considera un modelo de tráfico de voz, se usa con CODEC de voz AMR, se considera un modelo de errores binarios de Bernoulli para el canal inalámbrico, un mecanismo de control de error ARQ-SW. También se considera los métodos objetivos como E-Model y PESQ así como el método subjetivo como el MOSc para medir la calidad de voz.

### **3.8 TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

Los resultados de la simulación se obtienen promediando los resultados de 30 ensayos con diferentes semillas aleatorias para evitar el impacto de la pérdida de paquetes o localización de errores binarios. Cada prueba se realiza correspondiente a 10.000 unidades PDU.



## CAPÍTULO IV

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

Los mecanismos de recuperación de errores de paquetes, tales como ARQ en redes inalámbricas son importantes, pues pueden reducir las pérdidas de paquetes debido a errores binarios. En lo que sigue se tratará de encontrar algunos parámetros de rendimiento para mejorar el ARQ y por ende la calidad de voz percibida por el usuario en un entorno de VoIP inalámbrica.

#### **4.1 PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE SOLUCION:**

##### **4.1.1 IMPACTO DEL MECANISMO DE RETRANSMISIÓN EN LA CALIDAD DE VOZ**

Cuando la calidad de un enlace inalámbrico es pobre, la retransmisión de tramas MAC pueden recuperar efectivamente los paquetes dañados que contienen errores binarios. Sin embargo, los mecanismos de retransmisión pueden añadir retardos grandes que afectan a las aplicaciones de tiempo real como VoIP, la cual es sensible al retardo. Un mecanismo simplex de retransmisión afectaría negativamente a la calidad de voz, entonces es posible contar con un compromiso entre pérdida de paquetes y retardo para una variedad de mecanismos de retransmisión.

#### 4.1.2 ARQ CON RETARDO DE REPRODUCCIÓN RESTRINGIDO

Para una interacción adecuada con el nivel físico el ARQ opera a nivel MAC y la memoria intermedia de reproducción opera a diversos niveles para incluir las limitaciones de la aplicación. Si se emplea una memoria intermedia de reproducción adaptativa en un sistema de VoIP sobre WLAN, es posible decidir al inicio de cada ráfaga el retardo de reproducción (balance de retardo de paquete).

Puesto que el procedimiento de retransmisión está únicamente restringido por un límite de reintentos máximo fijo, un elevado límite de reintentos que supere el balance de retardo de paquetes disponible, puede conducir a retransmisiones innecesarias y posponer los paquetes subsiguientes, mientras que un límite de reintentos bajo puede finalizar prematuramente el procedimiento de retransmisión con suficiente balance de retardo.

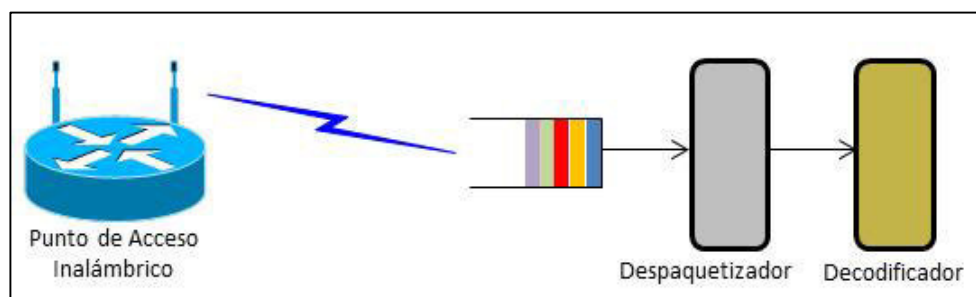
Considerando que se tiene una cola de transmisión en el emisor, un elevado retardo de retransmisión puede hacer que los paquetes entrantes se acumulen en la cola y rápidamente suban los retardos de encolamiento o pérdidas.

Por último, en la arquitectura de protocolos actual, los paquetes que fallan las validaciones en la capa de transporte o enlace son descartados, a pesar que se puede considerar útiles a los paquetes de voz ruidosos en capas superiores, según Florian Hammer, Peter Reichl, Tomas Nordstrom, Gernot Kubin (2003).

De lo comentado anteriormente, es necesario considerar una arquitectura de protocolos donde el mecanismo de retransmisión no solo se encuentre incorporado en el mecanismo del canal de transmisión sino en la capa de enlace ARQ y memoria intermedia de reproducción y realicen un trabajo interrelacionado. De esta manera:

- a) El mecanismo de retransmisión estaría restringido al balance de retardo de paquetes disponible.
- b) Respecto a la paquetización, la voz no está cubierta en el checksum de los paquetes de la capa de enlace o transporte. Asimismo, se realizaría un procedimiento de combinación para obtener un paquete menos ruidoso de sus copias retransmitidas.
- c) Se estima el retardo de entrega separadamente en el canal inalámbrico y se limita el retardo medio entre llegadas de la cola de transmisión.

Bajo el modelo señalado, la MAC del receptor presenta cada paquete recibido a la capa superior, esté dañado o no. En la capa de aplicación, la memoria intermedia de reproducción puede finalizar la retransmisión del paquete en su instante de reproducción para evitar retransmisiones innecesarias. Si un paquete alterado no se recupera por el mecanismo de retransmisión, se combinan las copias ruidosas recibidas mediante un módulo de combinación de paquetes para obtener una versión más fiable, la cual es luego decodificada y reproducida, como muestra la Figura N° 4.1.



**Figura N° 4.1 – Escenario de receptor VoIP inalámbrico**

**FUENTE. Elaboración propia**

### 4.1.3 MEMORIA DE REPRODUCCIÓN DEPENDIENTE DE ARQ

Suponiendo que las llegadas de los paquetes de voz en el emisor siguen un proceso markoviano, donde además se cuenta con una cola de transmisión por flujo de longitud muy grande, de modo que las pérdidas en ella no existan; con ARQ-SW, el sistema de colas de transmisión en el emisor se puede aproximar como un sistema M/M/1 con distribución de *Poisson* en las llegadas de paquetes y distribución exponencial de las salidas de los paquetes.

Si  $\alpha$  es el retardo medio entre llegadas y  $s$  el retardo medio de salidas de paquetes, entonces se tiene:

$$\lambda = \frac{1}{a} \qquad \mu = \frac{1}{s}$$

Donde,  $\lambda$  es la tasa media de llegadas, y  $\mu$  es la tasa media del servicio. También, el retardo medio de espera en el sistema de colas se puede expresar como:

$$E[T] = \frac{1}{1-\rho} * \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

Cuando  $s \rightarrow \infty$ ,  $E[T] \rightarrow \infty$ , lo cual significa que si el retardo medio de entrega en el canal inalámbrico no se restringe al retardo medio entre llegadas de los paquetes entrantes,  $E[T]$  subirá rápidamente.

Del mismo modo la ocupación del sistema de colas (incluyendo la memoria de almacenamiento y el servicio de emisión) por los paquetes se puede expresar como:

$$E[N] = \frac{\rho}{1-\rho}$$

El proceso de evaluación del retardo de los paquetes en la memoria en mención contempla diversos elementos como se muestra en la Figura 4.2.

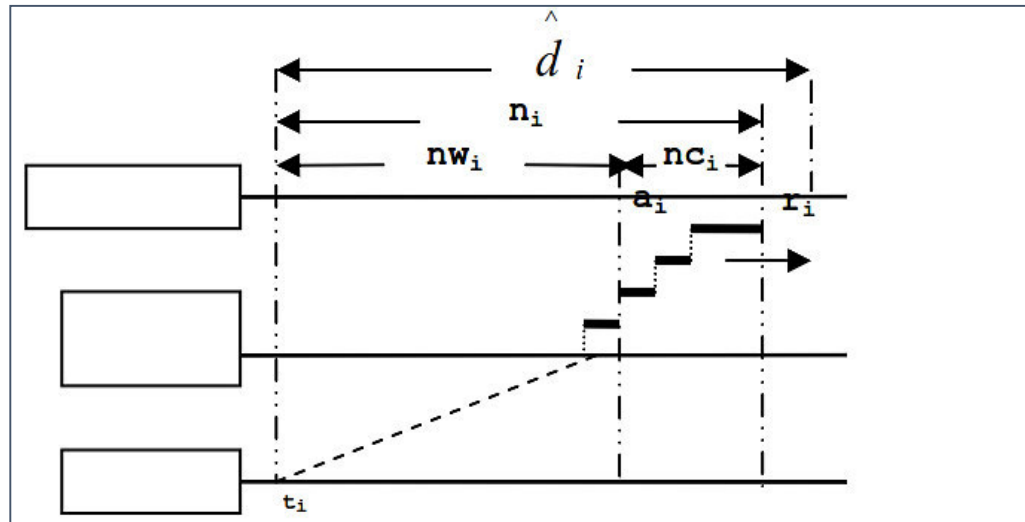


Figura N° 4.2 – Tiempos de transmisión

FUENTE. Elaboración propia

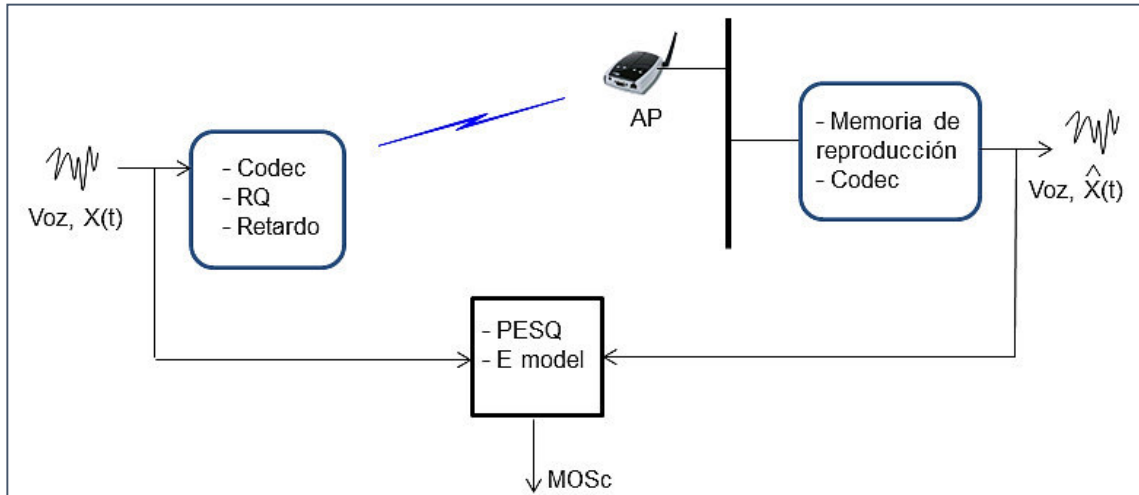
El retardo de red  $n_i$  se puede determinar de la siguiente expresión:

$$n_i = nW_i + nC_i = \begin{cases} nW_i + r_i - a_i, & r_i - a_i < \sigma_i \\ nW_i + \sigma_i, & r_i - a_i \geq \sigma_i \\ nW_i, & r_i = a_i \end{cases}$$

#### 4.1.4 MODELO DE SIMULACION

Como se muestra en la Figura N° 4.3, el modelo de simulación utilizado bajo la plataforma OPNET posee los siguientes componentes: un modelo de tráfico, el codificador/decodificador AMR, la memoria intermedia de reproducción, y una red

inalámbrica que utiliza ARQ-SW en capa 2 bajo un modelo de error binario de *Bernoulli*.



**Figura N° 4.3 – Escenario de simulación**

**FUENTE.** Elaboración propia

#### 4.1.4.1 MODELO DE CANAL INALÁMBRICO

Se utiliza un modelo de Bernoulli para errores binarios, los cuales conducen a paquetes alterados en el payload y la cabecera de paquete. La probabilidad de tener paquetes de capa física dañados por errores de bit puede calcularse como:

$$PER = 1 - (1 - BER)^{ph+pl}$$

Donde,  $ph$  es la sobrecarga del paquete a nivel físico; que en las simulación se emplea 784 bits para  $ph$ : 24, 34, 20, 8, 12 Bytes en la capa física, MAC, IP, UDP y RTP respectivamente. También,  $pl$  es la zona de datos; que se considera de 32 Bytes para una trama de voz AMR 12.2 kbps.

Si  $\omega$  es el retardo de reproducción estimado, y  $R_\omega$  el correspondiente límite de reintento máximo restringido por  $\omega$ , se puede calcular la probabilidad de que un paquete se recupere después de  $R_\omega$  veces de retransmisión como sigue:

$$PKR = (PER \dots R_\omega - 1)(1 - PER)$$

Asimismo, la probabilidad de tener errores binarios en la cabecera del paquete será:

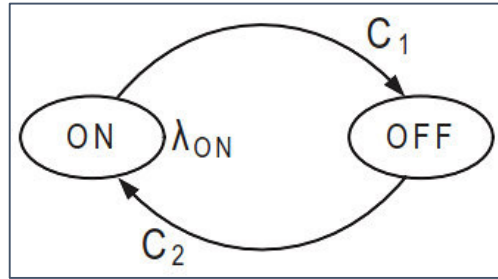
$$PHE = 1 - (1 - BER)^{pl} \left( \frac{1}{1 + pl} \right)$$

Si un paquete siempre contiene errores binarios en su cabecera en  $R_w$  veces de retransmisión, la voz transportada no se podrá utilizar. La probabilidad de este caso será:

$$PLS = PHE^{R_w}$$

#### 4.1.4.2 MODELO DE VOZ

El modelo de tráfico de voz se puede considerar como representado por el modelo *on-off*, en el cual se tiene dos estados de una cadena con generación (voz) e inhibición (periodos de silencio). El tiempo de retención en los dos estados se considera que sigue una distribución exponencial. En la siguiente Figura N° 4.4, se muestra la cadena de *Markov* de un modelo on-off genérico.



**Figura N° 4.4 – Modelo on-off genérico**

**FUENTE. Elaboración propia**

Las probabilidades de que la cadena se encuentre en los estados ON y OFF son respectivamente:

$$P_{ON} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad P_{OFF} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

El valor de C1 es la tasa de probabilidad de transición entre los estados ON y OFF, C2 es la tasa de probabilidad transición en la dirección inversa. Por otro lado, estando en el estado ON el modelo genera paquetes de datos de acuerdo a la distribución de Poisson con tasa de llegada de  $\lambda_{ON}$ . Por lo tanto, el tiempo entre llegadas se distribuye exponencialmente de acuerdo a una función de distribución exponencialmente distribuida:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_{ON} * t}$$

Para la presente simulación se utiliza un promedio de 1,0 s (ON) y 1,5 s (OFF).

Se utiliza en la simulación el método de evaluación de calidad de voz conversacional, el cual combina PESQ y E-Model para medir la calidad de la voz percibida, los resultados están representados por MOSc (*Conversational*



*Mean Opinion Score*). Cabe señalar que bajo este método, los detalles de este método se pueden encontrar en el capítulo 2. En este método, el impacto de los errores de bits en la carga útil, las pérdidas de paquetes y retardos todos contribuyen a la degradación de la calidad de voz final evaluada.

## 4.2 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

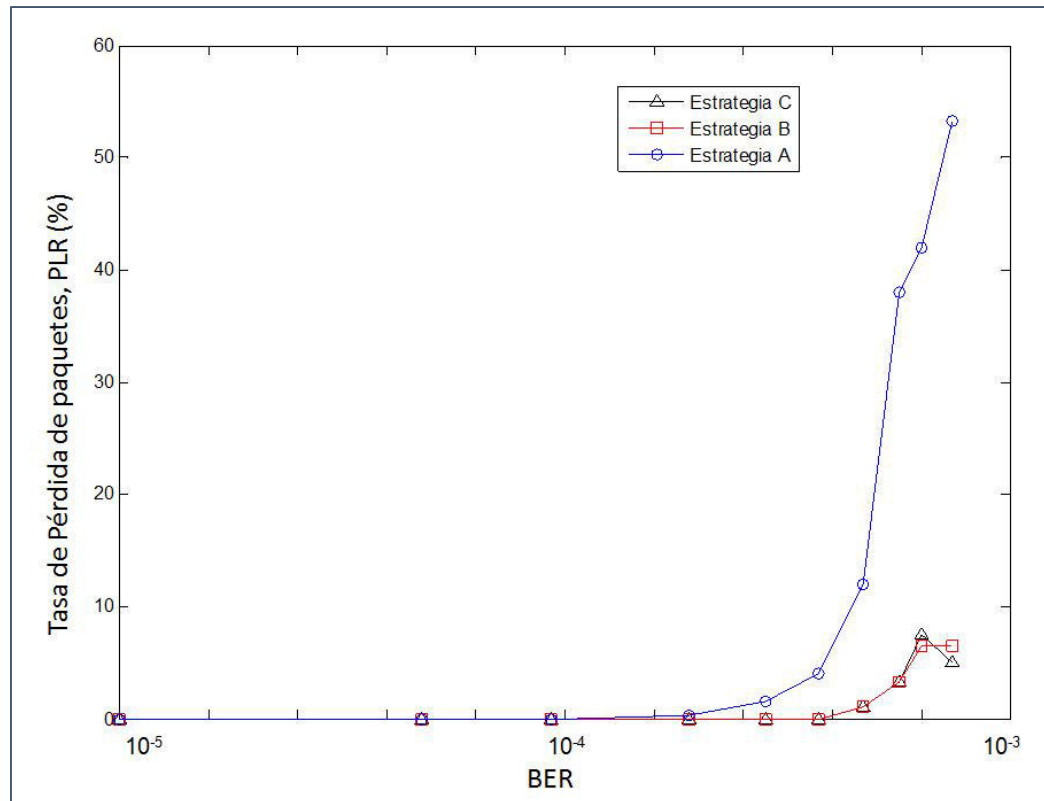
Se considera tres estrategias en el estudio de simulación:

- **Estrategia A:** Memoria de reproducción “adaptativa” y SW-ARQ.
- **Estrategia B:** ARQ restringido al retardo de reproducción con memoria de reproducción “adaptativa”.
- **Estrategia C:** ARQ restringido al retardo de reproducción con memoria de reproducción dependiente del ARQ.

Los resultados de la simulación se obtienen promediando los resultados de 30 ensayos con diferentes semillas aleatorias para evitar el impacto de la pérdida de paquetes o localización de errores binarios. Cada prueba se realiza correspondiente a 10.000 unidades PDU.

### 4.2.1 TASA DE PERDIDA DE PAQUETES VS BER DEL CANAL

Como se aprecia en la Figura N° 4.5, se obtiene la pérdida de paquetes para las diversas estrategias.



**Figura N° 4.5 – Pérdidas de paquetes vs. BER**

**FUENTE.** Elaboración propia

### **DISCUSION DE RESULTADOS:**

Según se incrementa los errores la A descarta muchos paquetes dañados que no se pueden recuperar antes de su reproducción. La B y C tienen el mismo comportamiento sobre las pérdidas de paquetes. Ambos solamente descartan los paquetes que no pueden alcanzar al receptor antes de su tiempo de reproducción. Finalmente, B y C descartan menos paquetes que A, aún cuando el canal sea muy ruidoso.

#### **4.2.2 RETARDO DE EXTREMO A EXTREMO VS JITTER**

La figura N° 4.6 muestra el retardo de extremo a extremo en función del BER del canal inalámbrico, para diversas configuraciones del jitter.

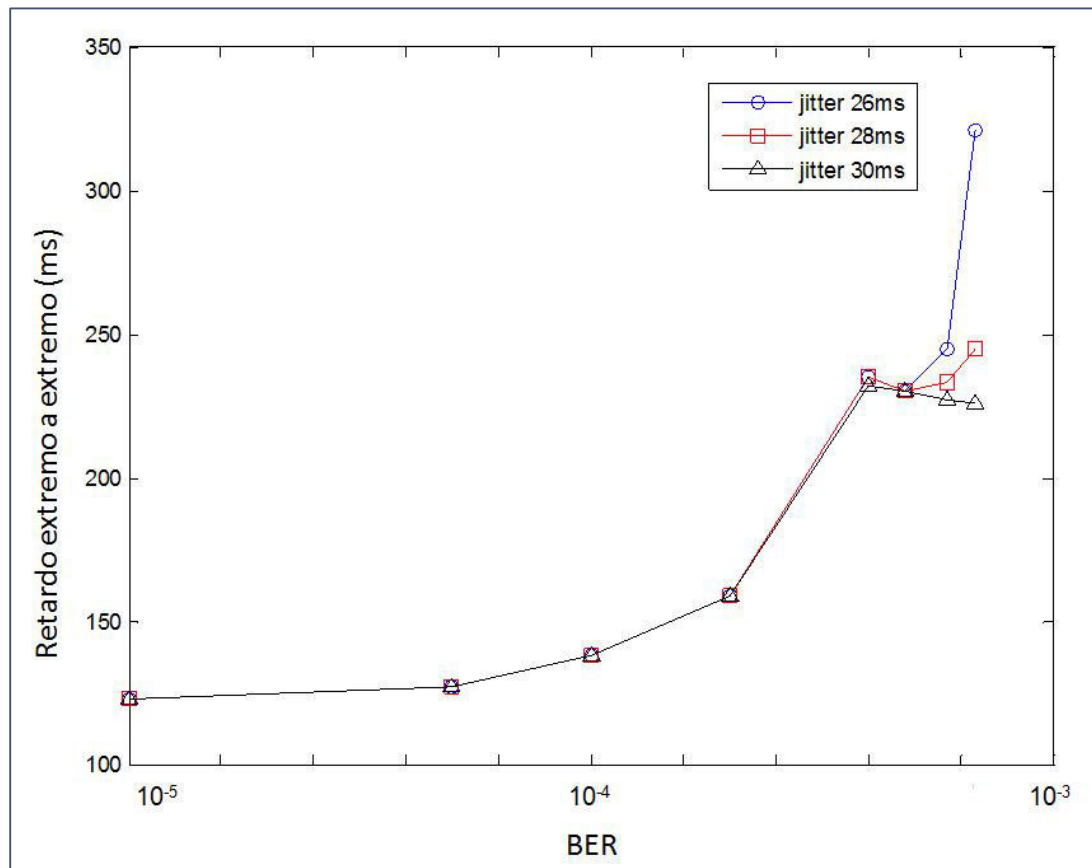


Figura N° 4.6 – Retardo de paquetes vs. jitter

FUENTE. Elaboración propia

### DISCUSION DE RESULTADOS:

Considerando un retardo de 100ms de red cableada se obtiene el retardo total, que aumenta para la estrategia A como consecuencia del modelo de cola que no evita acumulaciones de retardo.

#### 4.2.3 RETARDO DE EXTREMO A EXTREMO VS BER DEL CANAL

Del mismo modo, en la Figura N° 4.7, se muestra el retardo de extremo a extremo en función del VER del canal inalámbrico, para las estrategias A, B y C.

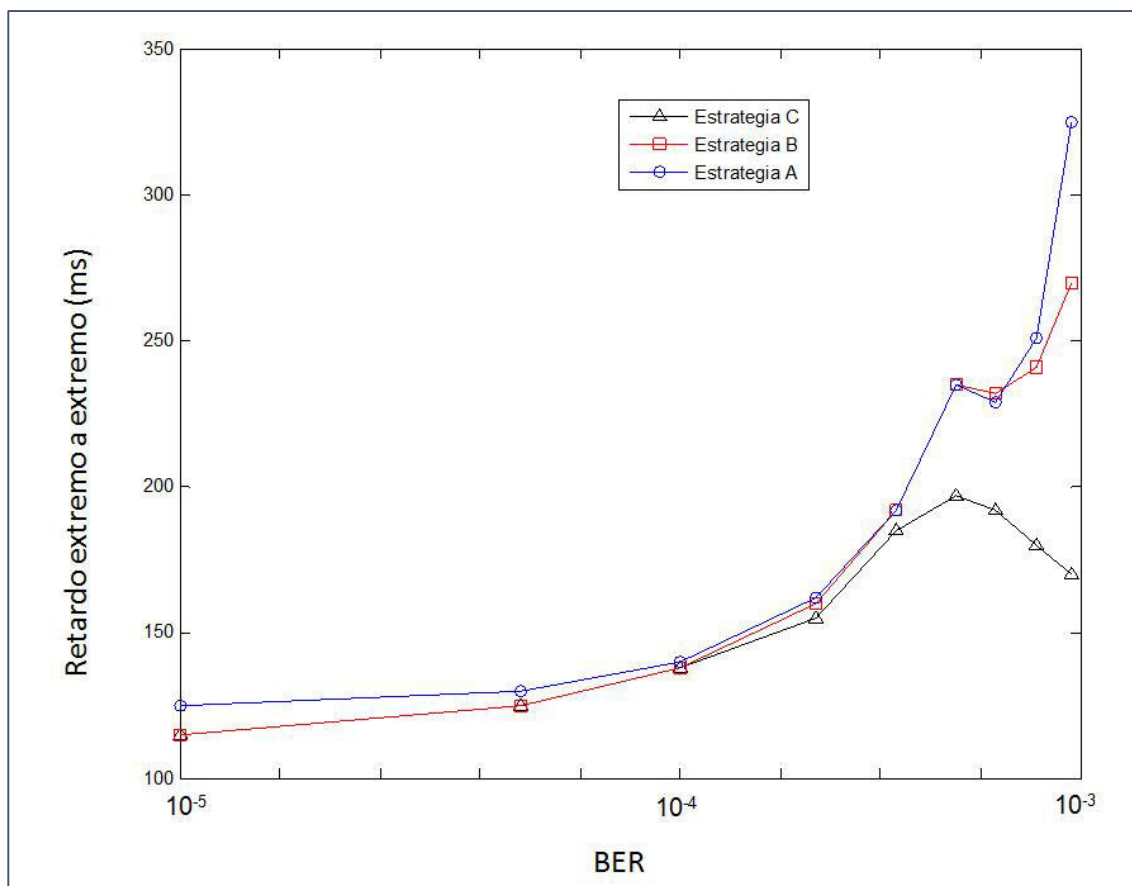


Figura N° 4.7 – Retardo de paquetes vs. BER

FUENTE. Elaboración propia

#### DISCUSION DE RESULTADOS:

Se visualiza que el retardo extremo a extremo se incrementa con el aumento de BER. B realiza ligeramente mejor que A cuando la BER empeora, pues B tiene la capacidad de interrumpir la retransmisión innecesaria. La C supera a A y B con una mejor respuesta pues evita acumulaciones de retardo de colas.

#### 4.2.4 RETARDO DE EXTREMO A EXTREMO VS BER DEL CANAL

Del mismo modo, en la Figura N° 4.8, se muestra el MOS<sub>c</sub> en función del VER del canal inalámbrico, para las estrategias A, B y C.

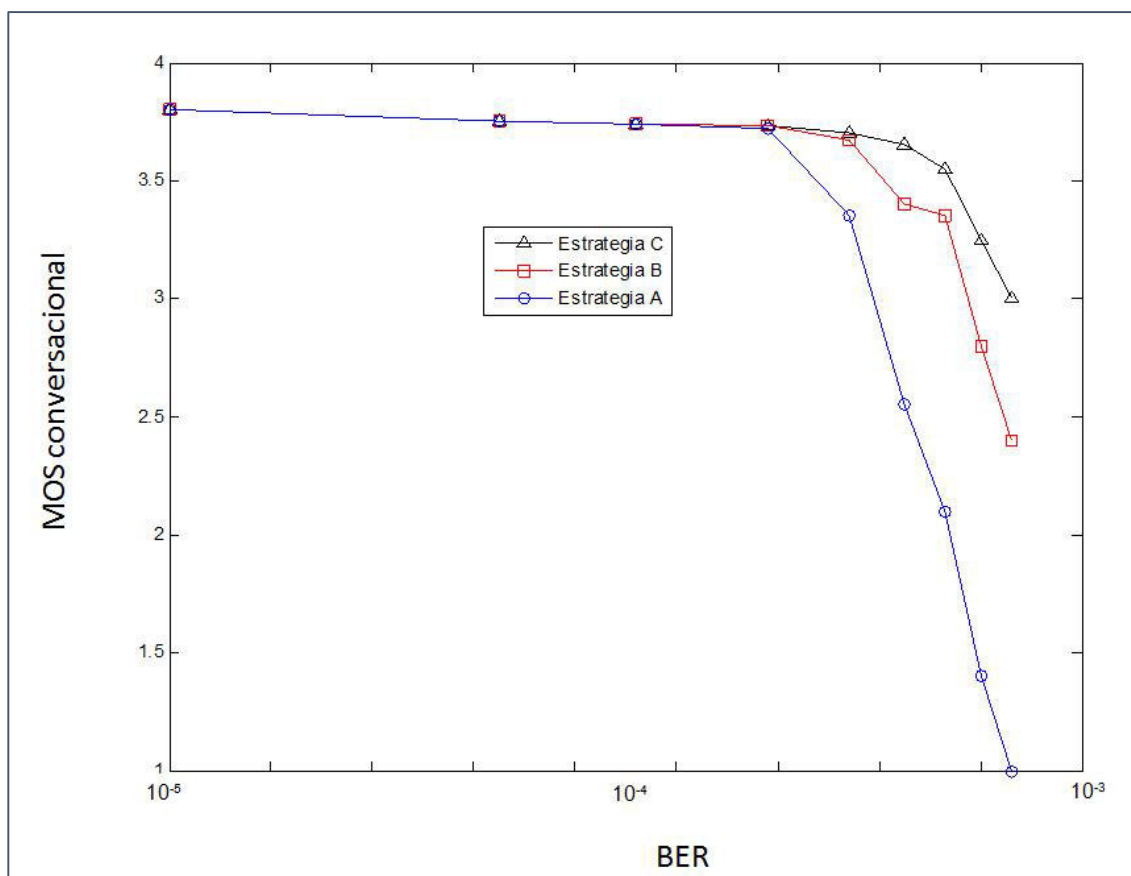


Figura N° 4.8 – MOSc vs. BER

FUENTE. Elaboración propia

### DISCUSION DE RESULTADOS:

Se muestra el resultado global de la calidad de voz para las estrategias A, B y C. A y B decaen significativamente después de una tasa de errores de  $10^{-4}$ . C soporta mejor los errores del canal inalámbrico.

### 4.3 CONCLUSIONES PRELIMINARES

Se ha realizado una investigación respecto a los problemas que genera el uso de ARQ-SW en WLAN para VoIP. Se realiza una propuesta de uso del ARQ con restricción sobre el retardo de reproducción y memoria de reproducción dependiente de ARQ.

Mediante las simulaciones, se encuentra que se mejora la calidad de voz percibida a través del MOSc. Los errores de la conexión inalámbrica se han representado por el modelo de error de Bernoulli. Al respecto, cabe señalar que se puede también utilizar modelos de error de múltiples estados para simular errores de transmisión en el canal inalámbrico.

Se ha obtenido que la estrategia C planteada logra una mejora en la calidad, señalada como parámetro MOSc, manteniendo el valor de 3.8 a condiciones del canal inalámbrico peores de  $10^{-4}$ .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de la presente investigación conlleva a ciertas conclusiones propiamente de los resultados mientras que por un lado hay algunos trabajos adicionales que podrían añadirse posteriormente en otra etapa de investigación o desarrollar otros aspectos de investigación partiendo como base la presente.

### 7.1 CONCLUSIONES

- La calidad de la voz que percibe un usuario es importante para un servicio de VoIP sobre redes LAN inalámbricas, más aún cuando los sistemas actuales de comunicaciones móviles brindan servicios IP continuo y por tanto posibilidades de múltiples servicios incluyendo VoIP mediante el uso de Softphone que en un entorno corporativo, campus o residencial es conveniente añadirle el soporte sobre WLAN.
- Se ha identificado diversos elementos que degradan la calidad de la voz que percibe un usuario como la pérdida de paquetes, variación de retardo, latencia extremo a extremo, errores binarios en el canal de transmisión. Por ello, en el presente trabajo se ha investigado particularmente los problemas que el mecanismo ARQ de WLAN ocasiona en la calidad de la voz, dado que las redes WLAN recuperan hasta cierto punto las tramas transmitidas, que en el caso de datos es conveniente, pero no ocurre lo mismo en el caso de voz o video.
- Se ha propuesto un mecanismo de operación donde el procedimiento de retransmisión del ARQ se hace dependiente del retardo de reproducción disponible en el receptor. En ese sentido, la

simulación desarrollada muestra que se logra una mejora en el rendimiento.

- Dentro de los mecanismos de aseguramiento de calidad existentes en el entorno WLAN se encuentra la retransmisión de paquetes. Sin embargo, esta genera una disminución de la calidad, dado que el retardo se incrementa; esto es crítico en situaciones donde la latencia del enlace y los nodos es grande.
- En una red WLAN, las pérdidas de los paquetes se dan por dos fuentes: el protocolo de comunicación opera regularmente en modo distribuido y por tanto genera efectos de captura, por otro lado el ruido y el desvanecimiento del canal de transmisión induce a errores.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- La presente investigación se ha centrado en el impacto de las técnicas de control de error de WLAN sobre la calidad percibida en VoIP. En posteriores trabajos se recomienda utilizar otras estrategias complementarias para incrementar la mejora de la calidad percibida por el usuario así como utilizar diversos codecs para establecer el impacto en la calidad en función de las mismas y fijar las diferencias de estrategias a utilizar en cada caso.
- Una mejora en la calidad podría llevarse a cabo teniendo conocimiento de los parámetros de QoS proporcionadas por los diversos niveles de protocolos, asimismo teniendo presente los requerimientos de calidad del usuario. En ese sentido, se recomienda plantear otras estrategias que probablemente sean adaptativas a los cambios de la comunicación en curso.
- Se recomienda para una futura investigación, modelar la comunicación WLAN incluyendo otros parámetros como los diversos estándares de RF.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Veeraraghavan, N. Cocker, and T. Moors, "Support of voice services in IEEE 802.11 wireless LANs", *Proc. Infocom*, Anchorage, Alaska, (April 2001).
- [2] J. Yu, M. Choi, D. Qiao, and S. Choi, "Supporting VoIP Services in IEEE 802.11e WLANs," in Proc. QShine'09, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Nov. 2009.
- [3] ITU-T, "ITU-T G.114 - One-way transmission time," Tech. Rep., September 2003.
- [4] N. Hegde, A. Proutiere, and J. Roberts, "Evaluating the voice capacity of 802.11 WLAN under distributed control," *IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*, pp. 1 – 6, September 2005.
- [5] D. P. Hole and F. A. Tobagi, "Capacity of an IEEE 802.11b wireless LAN supporting VoIP," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 1, pp. 196 – 201, June 2004
- [6] H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, "Providing statistical QoS guarantee for voice over IP in the IEEE 802.11 wireless LANs," *IEEE Wireless Communications*, vol. 13, no. 1, pp. 36 – 43, February 2006.
- [7] Alex P. da Silva, Julio F. Pimentel, Francisco R. P., Cavalcanti, Vicente A. de Sousa Jr., "A New Call Admission Control Algorithm for VoIP in IEEE 802.11 Wireless LANs", *JOURNAL OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS*, VOL. 21, NO. 3, 2006.

- [8] Razvan Beuran, "VoIP over Wireless LAN Survey", Report IS-RR-2006-005, Internet Research Center - Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST), 2006.
- [9] H Sanneck, N Tuong L Le et al, Selective Packet Prioritization for Wireless Voice over IP, 4th Int Sym Wireless Personal Multimedia Communication, Denmark, 2001
- [10] C.Hoene, I.Carreras, A.Wolisz, 2001, Voice over IP: Improving the Quality over Wireless LAN by Adopting a Booster Mechanism – An Experiment Approach. Proc. SPIE 2001 - Voice over IP (VoIP) Technology, pp. 157- Denver, Colorado, USA.
- [11] Florian Hammer, Peter Reichl, Tomas Nordstrom, Gernot Kubin, Corrupted Speech Data Considered Useful, in Proceeding First ISCA Tutorial and Research Workshop on Auditory Quality of Systems, Mont Cenis, Germany, April 2003
- [12] M. Veeraraghavan, N. Cocker, and T. Moors, Support of voice services in IEEE 802.11 wireless LANs, Proc. Infocom, Anchorage, Alaska, April 2001
- [13] L Sun, E.C. Ifeachor, 2003, Prediction of Perceived Conversational Speech Quality and Effects of Playout Buffer Algorithms, Proc. of IEEE ICC 2003
- [14] J. Rosenberg, L. Qiu and H. Schulzrinne, Integrating Packet FEC into Adaptive Voice Playout Buffer Algorithms on the Internet, Proc. of IEEE Infocom 2000, vol.3, pp.1705-1714
- [15] Wenyu Jiang, Henning Schulzrinne, Comparison and Optimization of Packet Loss Repair Methods on VoIP Perceived Quality under Bursty Loss, NOSSDAV 2002

- [16] Ponnusamy Kumar A. Krishnan, Throughput Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function Considering Erroneous Channel and Capture Effects, International Journal of Automation and Computing, 2011, pp. 236-243.
  
- [17] Rama K. Challa, Saswat Chakrabarti, Debasish Datta, An Improved Analytical Model for IEEE 802.11 Distributed Coordination Function under Finite Load, Int. J. Communications, Network and System Sciences, 2009, pp. 169-247.
  
- [18] G. Bianchi, Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, March 2000, pp. 535-547.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Arquitectura de protocolos:**

Modelo de protocolos que permite la comunicación entre terminales.

**TCP/IP:**

Protocolo de control de la transmisión/protocolo internet.

**IP:**

Protocolo internet.

**Tolerancia a fallos:**

Una red tolerante a fallas es la que limita el impacto de una falla del software o hardware y puede recuperarse rápidamente cuando se produce dicha falla.

**Escalabilidad:**

Una red puede expandirse rápidamente para admitir nuevos usuarios y aplicaciones sin afectar el rendimiento del servicio enviado a los usuarios actuales.

**Calidad de servicio (QoS):**

Las transmisiones de voz y video requieren un nivel de calidad aceptable y un envío ininterrumpido en la red.

**Seguridad:**

Cuando el intercambio de información en la red es forma privada y confidencial.

**Dispositivos finales:**

Constituyen la interfaz entre la red humana y la red de comunicación.

**Dispositivos intermediarios:**

Proporcionan conectividad y garantizan que los datos fluyan a través de la red.

**Red de área local (LAN):**

Una red que cubre una única área geográfica y proporciona servicios y aplicaciones a personas dentro de una estructura organizacional común, como una empresa, campus o una región.

**Red de área local inalámbrica WLAN:**

Es un sistema de comunicación inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de éstas. Usan tecnologías de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Estas redes van adquiriendo importancia en muchos campos, como almacenes o para manufactura, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central.

**Servidores de red:**

Cualquier dispositivo que responde a una solicitud de aplicaciones de cliente. Contiene información para ser compartida con muchos sistemas de cliente.

**Ethernet:**

El estándar 802.3, es una tecnología full-dúplex de comunicación de datos de gran ancho de banda.

**Backbone:** Red troncal.

**CSMA/CD:** Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Acceso múltiple con detección de portadora y de colisiones).

**FTP:** File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Ficheros).

**FCC:** Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

**IP:** Internet Protocol (Protocolo de Internet).

**ISP:** Internet Service Provider (Proveedor de servicios de Internet).

**Latencia:** Suma de retardos temporales dentro de una red.

**SMNP:** Simple Management Network Protocol (Protocolo Simple de Gestión de Red).

**Switch:** Conmutador.

**VOIP:** Voz sobre IP.

**IANA Internet Assigned Number Authority.** Autoridad de Asignación de Números en Internet. Se trata de la entidad que gestiona la asignación de direcciones IP en Internet.

**IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Asociación Norteamericana. IEEE 802.3 Protocolo para la red LAN de la IEEE que especifica una implementación del nivel físico y de la subcapa MAC, en la capa de enlace de datos. El IEEE 802.3 utiliza CSMA/CD a una variedad de velocidades de acceso sobre una variedad de medios físicos.

**IETF Internet Engineering Task Force.** Grupo de Tareas de Ingeniería de Internet. Asociación de técnicos que organizan las tareas de ingeniería principalmente de telecomunicaciones en Internet. Por ejemplo: mejorar protocolos o declarar obsoletos otros.

**INTERNET.** Conjunto de redes y ruteadores que utilizan el protocolo TCP/IP y que funciona como una sola gran red.

**INTRANET** Se llaman así a las redes tipo Internet pero que son de uso interno, por ejemplo, la red corporativa de una empresa que utilizara protocolo TCP/IP y servicios similares como WWW. IP Internet Protocol. Protocolo de Internet. Bajo este se agrupan los protocolos de internet. También se refiere a las direcciones de red Internet.

**ISDN Integrated Services Digital Network.** Red Digital de Servicios Integrados. Servicio provisto por una empresa de comunicaciones que permite transmitir simultáneamente diversos tipos de datos digitales conmutados y voz.

**ISP Internet Service Provider.** Proveedor de Servicios Internet.

**ITU International Telecommunications Union.** Unión Internacional de Telecomunicaciones. Forma parte de la CCITT. Organización que desarrolla estándares a nivel mundial para la tecnología de las telecomunicaciones.

