

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED DE DATOS DE  
LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

JAIRO SEBASTIAN RODRÍGUEZ QUIROGA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA  
2.017

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED DE DATOS DE  
LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

JAIRO SEBASTIAN RODRÍGUEZ QUIROGA

Tesis en modalidad Profundización presentada como requisito para optar al título  
de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Telecomunicaciones

Director:

Ing. Daniel Jaramillo Ramírez, PhD.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA  
2.017

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	3
LISTA DE FIGURAS .....	5
LISTA DE TABLAS .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
1. MARCO TEÓRICO .....	9
1.1. Evaluación de Desempeño .....	9
1.2. Caracterización de tráfico .....	10
1.3. Distribución de Probabilidad .....	11
1.3.1. Distribución Normal .....	11
1.3.2. Distribución Exponencial .....	12
1.3.3. Distribución Weibull .....	12
1.3.4. Distribución Rayleigh .....	12
1.3.5. Distribución Uniforme .....	13
1.3.6. Distribución Gamma .....	13
1.4. Teoría de Colas .....	13
1.5. Red de Colas .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
3. ESPECIFICACIONES .....	18
3.1. Red CORE Pontificia Universidad Javeriana .....	18
3.2. Identificación tráfico interno y externo de la Red .....	20
3.3. Caracterización de tráfico .....	20
3.4. Análisis de colas .....	20
3.5. Análisis de cuellos de botella .....	22
3.6. Análisis red de colas .....	23
4. DESARROLLOS .....	26
4.1. Procesamiento de información .....	26
4.2. Simulación modelo de colas .....	27
4.3. Simulación modelo red de colas .....	29

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
5.1. Tipo de tráfico en la red.....	31
5.2. Caracterización de tráfico .....	32
5.2.1. Caracterización CORE A - CORE B.....	33
5.2.2. Caracterización CORE A - Distribución .....	35
5.2.3. Caracterización CORE B - Distribución .....	37
5.2.4. Caracterización CORE B – Alcatel .....	39
5.3. Tráfico UDP versus TCP .....	41
5.4. Modelo de colas .....	44
5.4.1. Modelo de colas CORE A - CORE B .....	44
5.4.1.1. Interfaz 1 (AB_Q1) .....	45
5.4.1.2. Interfaz 2 (AB_Q2) .....	46
5.4.1.3. Interfaz 3 (AB_Q3) .....	47
5.4.1.4. Interfaz 4 (AB_Q4) .....	48
5.4.2. Modelo de colas CORE A – Distribución.....	50
5.4.2.1. Interfaz 1 (CA_Q1) .....	50
5.4.2.2. Interfaz 2 (CA_Q2) .....	51
5.4.2.3. Interfaz 3 (CA_Q3) .....	53
5.4.2.4. Interfaz 4 (CA_Q4) .....	54
5.4.3. Modelo de colas CORE B - Distribución.....	55
5.4.3.1. Interfaz 1 (CB_Q1) .....	55
5.4.3.2. Interfaz 2 (CB_Q2) .....	56
5.4.3.3. Interfaz 3 (CB_Q3) .....	57
5.4.3.4. Interfaz 4 (CB_Q4) .....	58
5.4.4. Modelo de colas CORE B – Alcatel.....	59
5.4.4.1. Interfaz 1 (ALU_Q1).....	60
5.4.4.2. Interfaz 2 (ALU_Q2).....	61
5.5. Cuellos de botella.....	62
5.6. Modelo de red de colas sobre la red.....	63
CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Red de Jackson.....	15
Figura 2 - Topología lógica de Red Universidad.....	19
Figura 3 - Modelo de red analizado.....	19
Figura 4 - Modelo de Red de Colas .....	24
Figura 5 - Diagrama de Flujo Captura .....	27
Figura 6 - Diagrama del modelo de colas .....	28
Figura 7 - Diagrama de flujo de modelo de colas .....	29
Figura 8 - Diagrama de flujo simulación red de colas .....	30
Figura 9 - Tráfico IN.....	31
Figura 10 - Tráfico OUT .....	31
Figura 11 - Tráfico interno y externo durante el día.....	32
Figura 12 - Tiempo entre paquetes CORE A - CORE B.....	34
Figura 13 - Tamaño de paquetes CORE A - CORE B .....	35
Figura 14 - Tiempo entre paquetes CORE A - Distribución .....	36
Figura 15 - Tamaño de paquetes CORE A -Distribución.....	37
Figura 16 - Tiempo entre Paquetes CORE B - Distribución.....	38
Figura 17 - Tamaño entre Paquetes CORE B – Distribución.....	39
Figura 18 - Tiempo entre paquetes CORE B – Alcatel .....	40
Figura 19 - Tamaño de Paquetes CORE B – Alcatel .....	41
Figura 20 - Tráfico por protocolo .....	42
Figura 21 – Volumen de datos por protocolo durante el día (Giga Bytes) .....	43
Figura 22 - Throughput durante un día (Mbps) .....	43
Figura 23 - Tráfico por Aplicación.....	44

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Descripción nomenclatura colas .....	23
Tabla 2 - Tráfico Interno y Externo en CORE A.....	31
Tabla 3 - Comparación tráfico UDP vs. TCP.....	41
Tabla 4 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB_Q1 .....	45
Tabla 5 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB_Q1.....	45
Tabla 6 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB_Q2 .....	46
Tabla 7 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB_Q2.....	47
Tabla 8 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB_Q3 .....	48
Tabla 9 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB_Q3.....	48
Tabla 10 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB_Q4.....	49
Tabla 11 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB_Q4 .....	49
Tabla 12 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA_Q1.....	50
Tabla 13 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA_Q1 .....	51
Tabla 14 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA_Q2.....	52
Tabla 15 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA_Q2 .....	52
Tabla 16 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA_Q3.....	53
Tabla 17 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA_Q3.....	53
Tabla 18 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA_Q4.....	54
Tabla 19 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA_Q4 .....	54
Tabla 20 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB_Q1 .....	55
Tabla 21 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB_Q1 .....	56
Tabla 22 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB_Q2.....	57
Tabla 23 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB_Q2 .....	57
Tabla 24 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB_Q3.....	58
Tabla 25 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB_Q3.....	58
Tabla 26 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB_Q4.....	59
Tabla 27 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB_Q4 .....	59
Tabla 28 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola ALU_Q1.....	60
Tabla 29 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola ALU_Q1 .....	60
Tabla 30 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola ALU_Q2.....	61
Tabla 31 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola ALU_Q2.....	61
Tabla 32 - Tiempo de respuesta por cada cola.....	63
Tabla 33 - Tabla de probabilidades.....	64
Tabla 34 - Resultados obtenidos en cálculo de la Red de Colas.....	64
Tabla 35 - Resultados obtenidos en simulación de la Red de Colas M/M/1 .....	66
Tabla 36 - Resultados obtenidos en simulación de la Red de Colas G/G/1.....	67

## INTRODUCCIÓN

Para mantener y administrar una red de datos, es indispensable manejar una calidad de servicio óptima para el uso de esta. Por tal razón es que, a las redes de comunicaciones, se les debe realizar una evaluación de desempeño que asegure su correcta operación, por medio de métricas y del conocimiento de sus patrones de funcionamiento. La evaluación del desempeño de una red, es la cuantificación del servicio entregado por esta<sup>1</sup>.

Una red de datos que exige tanta demanda de servicio como en la Pontificia Universidad Javeriana, se debe monitorear su desempeño y conocer el tipo de tráfico que está cursando sobre esta. Cada semestre, esta red abarca una cantidad de usuarios superior a la del semestre inmediatamente anterior, lo que le implica que es de gran importancia poder detectar los puntos más débiles de la red (cuellos de botella), que llevan a la congestión o hasta el colapso de la red, al no ser corregida en el momento adecuado. Estas correcciones no se han realizado de la mejor forma o conscientemente, ya que el departamento de DTI de la Universidad no ha realizado análisis profundos de la red, ya sea por falta de recursos en tiempo o personal, estas razones han motivado la realización de este trabajo.

Este trabajo de grado, consistió en realizar la caracterización del tráfico que cursa en un instante de tiempo, por los nodos de *CORE* de la red de datos de la Pontificia Universidad Javeriana, analizando su desempeño y así poder detectar el principal punto débil de la red.

La red de datos de la Pontificia Universidad Javeriana, a nivel de los equipos de *CORE*, es muy simple ya que se cuenta con 2 enrutadores que soportan toda la red. Estos equipos se comunican entre sí, son el eje principal de los accesos a la red de toda la universidad y son el medio con el cual se tiene acceso a Internet.

En el desarrollo del trabajo realizado se debió identificar la cantidad de tráfico interno y externo que cursa sobre la red, para reconocer la causa de congestión sobre los nodos de *CORE* que fueron objeto del estudio.

Al realizar la caracterización del tamaño de paquetes y el tiempo entre paquetes, se logró analizar su comportamiento en un instante de tiempo, donde se presenta el mayor tráfico de datos sobre la red. Observando cómo al ser elementos de *CORE*,

---

<sup>1</sup> Jean-Yves Le Boudec. Performance Evaluation Of Computer And Communication Systems. Version 2.3 of May 19 – 2015, p. 24

estos dos componentes tienen un comportamiento que refleja las fuentes del tráfico transportado sobre estos elementos.

Haciendo uso y aplicando la teoría de colas para el desarrollo del trabajo planteado, más adelante en este documento, se expondrá lo encontrado de forma detallada y para cada uno de los elementos estudiados para esta red. Adicionalmente a esto, se darán a conocer los detalles de cómo interactúan entre sí estas colas, al formar una red de colas. Este documento está dividido en los siguientes capítulos:

1. Marco Teórico, se realiza una breve explicación de los temas de evaluación de desempeño, caracterización de tráfico, distribuciones de probabilidad, teoría de colas y redes de colas.
2. Especificaciones, en este capítulo se da a conocer cómo se trabajó y los métodos utilizados para alcanzar los objetivos planteados, especificando las condiciones en las que se utilizó y se obtuvo la información.
3. Desarrollos, se explica brevemente los desarrollos realizados para la modelización y trato de los datos obtenidos.
4. Análisis de resultados, se dan a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo realizado, y posterior análisis para entender a lo que se llegó.
5. Conclusiones, se exponen las conclusiones de todos los hallazgos obtenidos en el desarrollo de este trabajo.



## 1. MARCO TEÓRICO

Se han realizado varios estudios de caracterización y evaluación de desempeño del tráfico en redes de datos de universidades. En un análisis efectuado por los departamentos de ciencias computacionales de las Universidades de Maryland y de California (Estados Unidos), realizaron la caracterización de flujos de una red de datos inalámbrica, analizando los flujos estáticos y los flujos *roaming*, para desarrollar modelos de evaluación de desempeño en el contexto inalámbrico<sup>2</sup>.

Otros estudios se han efectuado a pequeña escala. Por ejemplo, se toma un solo *router* o un segmento de red y en otros se simula una red robusta, generando flujos de tráfico y así buscar una aproximación al estado de la red objeto de estudio.

En la Pontificia Universidad Javeriana, hasta donde pudimos consultar, no se ha desarrollado un estudio de este tipo, donde la red de datos sea objeto de análisis. Lo que se plantea en este trabajo es tomar los datos de los nodos de *CORE* y realizar un análisis del estado actual de la red.

### 1.1. Evaluación de Desempeño

En una red es importante conocer varios aspectos, para asegurar su correcto funcionamiento. Por lo cual se debe tener en cuenta la carga de trabajo de una red, la cual caracteriza la cantidad y la naturaleza de solicitudes presentadas al sistema y las métricas de desempeño que son las cantidades medibles que capturan las variables de interés de la red.

Además de estos dos aspectos, es importante conocer el porqué del estudio de la evaluación de desempeño de la red o en otras palabras el objetivo de este. El objetivo de una evaluación de desempeño puede ser una comparación de alternativas de diseño o realizar el dimensionamiento de un sistema.

Luego de definir la métrica, la carga y el objetivo de la evaluación de desempeño, es necesario establecer una lista de factores, los cuales son todos los elementos del sistema (red) o carga que afecta el desempeño de este. Por lo general tiende a focalizarse únicamente en el factor de interés, sin embargo, es importante conocer

---

<sup>2</sup> Xiaoqiao (George) Meng, Starsky H.Y. Wong, Yuan Yuanz, Songwu Lu (2.004). Characterizing Flows in Large Wireless Data Networks. University of California & University of Maryland. MobiCom '04 Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking.

todos los factores que afectan la medición del desempeño, se deseen o no estos factores.

Se debe tomar un método de solución que en este caso será una medición del sistema real. Este método es difícil de ejecutar sin perturbar el sistema. Se debe realizar en sistemas ya existentes o de lo contrario no sería posible hacer uso de este. Por lo tanto, lo más recomendable es que se haga de forma pasiva, que se basa en el análisis de protocolos de los paquetes capturados y la medición basada en protocolos de gestión de red<sup>3</sup>.

La evaluación de desempeño se simplifica si se tienen en cuenta los patrones de desempeño. Un patrón que es el más significativo en el objetivo de este estudio son los **cuellos de botella**. En las redes o sistemas, en general el desempeño es dado por el comportamiento de los componentes más débiles, llamados cuellos de botella. Estos son una parte crítica en el desempeño de una red, por lo general su diagnóstico se enfoca en ancho de banda, tiempo de retraso o tasa de pérdida. Estos dependen de todos los parámetros del sistema y de la carga. Un componente puede ser el cuello de botella en algunas condiciones, pero en otras no. Particularmente, al eliminar un cuello de botella permitiría que otro aparezca.

Para realizar un diagnóstico de cuello de botella, se pueden clasificar en dos métodos, no matemático y matemático. Los métodos no matemáticos se basan en realizar pruebas y coleccionar datos de la red, con el fin de consolidar la información y producir un resultado final. Estos métodos no matemáticos son sensibles al cambio de tiempo, ya que la información en la red analizada puede cambiar abruptamente en cambio los métodos matemáticos pueden superar las falencias anteriores, ya que son basados totalmente en las matemáticas, pero el modelo es tan idealizado que no puede ser llevado a redes reales<sup>4</sup>.

## 1.2. Caracterización de tráfico

La caracterización de tráfico es una labor importante, necesaria y esencial para entender y resolver los problemas de desempeño de las redes. El objetivo es desarrollar un entendimiento de la naturaleza del tráfico y modelos manejables que capturen las propiedades importantes de los datos y puedan llevar a una predicción de desempeño precisa.

Los principales usos de la caracterización de tráfico son para: planeación de red, diseño y gestión de capacidad, predicción de desempeño, gestión de tráfico en

---

<sup>3</sup> Haitao Wang, L. S. (2013). Study On Network Measurement Technologies And Performance Evaluation Methods. Jiangsu, China: IEEE.

<sup>4</sup> Juan Li, Y. Q. (2011). A New Method of Network Bottleneck Diagnosis. Beijing: 12th IFIP/IEEE 1M 2011: Poster Session.

tiempo real y control de red. Estos usos requieren de caracterizaciones de tráfico diferentes.

El tráfico puede ser visto en diferentes niveles:

- a) Sesión
- b) Conversación TCP (Desde el SYN hasta el FIN/ACK)
- c) Conexión/Flujo
- d) Paquetes
- e) Byte

La forma más simple y general de caracterizar el tráfico de una red es a nivel de paquetes, en donde los flujos se expresan en términos de tiempo entre paquetes y tamaño de paquetes.

### **1.3. Distribución de Probabilidad**

La distribución de probabilidad, es una función que es asignada a cada evento, que es definido en una variable aleatoria, de la probabilidad de que dicho evento ocurra. Una distribución de probabilidad puede ser de dos tipos de variables, variables continuas y variables discretas.

Las variables discretas son las que toman únicamente ciertos valores enteros, que son tomados de un conteo realizado. Las variables continuas son las que resultan de una medición realizada y pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo.

Con la ayuda de las distribuciones de probabilidad, se logra modelizar datos capturados, que permiten realizar un análisis de colas y de cuellos de botella de la red. Las distribuciones de probabilidad son la base para poder desarrollar el trabajo propuesto.

A continuación, se listan y se explican, algunas de las distribuciones más significativas en el transcurso del documento. Estas distribuciones son las que más se ajustan en los datos capturados, a pesar que se presentan algunas otras más.

#### **1.3.1. Distribución Normal**

La distribución Normal es también conocida como Gaussiana. Esta distribución es de variable continua. La función de densidad es simétrica y con forma de campana. La función de densidad de esta distribución está dada por la siguiente función:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Su notación se escribe de la siguiente forma:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

### 1.3.2. Distribución Exponencial

La distribución Exponencial, es una distribución continua, la cual es un caso particular de una distribución Gamma, con parámetro  $k = 1$ .

La función de densidad de esta distribución, está dada por la siguiente función:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

Su notación se escribe de la siguiente forma:

$$X \sim Ex(\lambda)$$

### 1.3.3. Distribución Weibull

La distribución Weibull, es una distribución continua de cola pesada. Su función de densidad está dada de la siguiente forma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\alpha-1} e^{-(x/\lambda)^\alpha} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Su notación está dada de la siguiente forma:

$$X \sim W(\alpha, \lambda)$$

### 1.3.4. Distribución Rayleigh

La distribución Rayleigh, es una distribución continua y de cola pesada. Esta distribución es igual a una distribución Weibull con parámetro  $\alpha = 2$ . Su función de densidad está dada de la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{x}{\theta^2} e^{-\frac{x^2}{2\theta^2}}$$

Su notación está dada de la siguiente forma:

$$X \sim R(\theta)$$

### 1.3.5. Distribución Uniforme

La distribución Uniforme, es una distribución de variables aleatorias continuas, donde todos sus valores son igualmente probables. Tiene un dominio que se define por los parámetros  $a$  y  $b$ , que corresponden a sus valor mínimo y máximo.

Su función de densidad es de la forma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x < a, x > b \end{cases}$$

Su notación está dada de la siguiente forma:

$$X \sim U(a, b)$$

### 1.3.6. Distribución Gamma

La distribución Gamma, es una distribución continua y sesgada. Esta distribución permite producir una gran cantidad de formas distributivas sesgadas.

La función de densidad está dada de la siguiente forma:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{\alpha-1}}{(\alpha-1)!}$$

Su notación se escribe de la siguiente forma:

$$X \sim G(\alpha, \lambda)$$

## 1.4. Teoría de Colas

Las colas son omnipresentes en toda red de datos de paquetes existente. Están al interior de cualquier elemento de una red (*routers, switches, servers, access points,*

etc.). Este es el lugar donde las políticas para compartir son implementadas a través de la programación de paquetes y la gestión activa de paquetes. Generalizando, un conjunto de flujos de datos compartiendo una misma conexión (*link*) es vista como una cola virtual debido a la restricción de capacidad del enlace<sup>5</sup>.

Los sistemas de colas son caracterizados por procesos complejos de entradas, distribución del tiempo de servicio, número de servidores, tamaño de buffer y disciplinas de servicio. Estos procesos y disciplinas no siempre son muy tratables analíticamente, por lo cual se hace uso de modelos de colas más simples.

Para identificar un modelo de colas nos debemos basar en la notación de Kendall. Esta notación nos describe la información de: (1) proceso de llegada, (2) distribución del tiempo de servicio, (3) número de servidores, (4) el tamaño del buffer, (5) tamaño de población y (6) disciplina de servicio. Se deben escribir de la siguiente manera:

***{1}/{2}/{3}/{4}/{5}/{6}***

Donde para los campos {1} proceso de llegada y {2} distribución del tiempo de servicio:

M → Markovian – Poisson para el proceso de llegadas o exponencial para la distribución del tiempo de servicio.

D → Determinístico.

G → General (proceso cualquiera).

GI → General e independiente.

E → Distribución Erlang.

H → Distribución Hiperexponencial.

Para los campos {3} cantidad de servidores, {4} que nos representan tamaño de buffer y {5} tamaño de población, son números enteros.

Para el campo {6} disciplina de servicio:

FIFO → Primero en llegar, primero en salir.

LIFO → Último en llegar, primero en salir.

PS → *Processor Sharing*. (Zukerman, 2000)

*Random* → Aleatorio.

---

<sup>5</sup> Thomas Bonald, M. F. (2011). Network Performance Analysis. London, UK: ISTE.

## 1.5. Red de Colas

Una red de colas es cuando varios sistemas (de colas) se conectan entre sí. Estos sistemas de colas son los elementos de red, que al interconectarlos forman una red. Los modelos de red de colas se pueden clasificar en dos grupos: (1) redes de colas abiertas y (2) redes de colas cerradas. En las redes cerradas los clientes permanecen siempre en la red, no hay clientes nuevos que se unan y ningún cliente abandona la red. En las redes abiertas, nuevos clientes que provengan fuera de la red se pueden unir a cualquier cola y cuando completen el servicio pueden abandonar la red.

Un modelo de redes de colas abiertas, son las redes de Jackson. En este modelo la tasa de llegada y salida es la misma, ya que el tráfico no se pierde en las colas de esta red. Las colas para este modelo, siguen un proceso de Poisson y con buffer infinito, por tal razón las colas que aplica para este modelo son  $M/M/1$ ,  $M/M/k$  o  $M/M/\infty$ .

Este modelo, tiene en cuenta arribos externos a la red  $r$ , los cuales también son procesos de Poisson y llegan a cualquiera de las colas. Estos procesos pueden ser  $r_j = 0$ , pero al menos una de las colas debe tener  $r_j > 0$ , para que el modelo sea válido.

En la Figura 1 se ilustra el modelo de redes de Jackson:

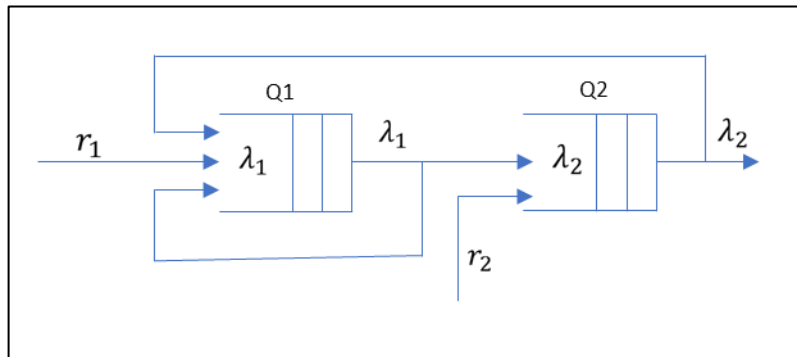


Figura 1 - Red de Jackson

En esta figura, se puede observar como la cola Q1, tiene una tasa de arribo  $\lambda_1$ , la cual es la suma de las tasas de arribo por la probabilidad que lleguen a esta cola, más una tasa de arribo externa  $r_1$ . En una cola sin congestión la tasa de arribo es igual a la tasa de salida.

En palabras más simples, la tasa de entrada de una cola se da por la suma de todas las tasas que tienen una probabilidad de llegar a esta cola.

En una red de datos se puede aplicar como, cada salto que podría llegar a tener un paquete durante su paso en la red. Donde se asume que el tráfico que llega a la red o a cada cola, viene de un proceso externo a la red y hace tránsito por la red, para así alcanzar un destino que se encuentra fuera de la red.



## 2. OBJETIVOS

### Objetivo General

Realizar la caracterización del tráfico que cursó por los nodos de *CORE* de la red de datos de la Pontificia Universidad Javeriana, analizando su desempeño y así detectar posibles cuellos de botella presentes en la red.

### Objetivos Específicos

- 1) Identificar la cantidad de tráfico interno y externo que cursan sobre la red, para reconocer la causa de congestión sobre los nodos de *CORE* que son objeto del estudio.
- 2) Realizar la caracterización del tamaño de paquetes y el tiempo entre paquetes, analizando su comportamiento en varios instantes del día.
- 3) Realizar un análisis de cuellos de botella presentes sobre la red.
- 4) Implementar modelos de colas sobre los nodos del *CORE*.
- 5) Comparar los resultados de análisis de colas y con los datos obtenidos por mediciones de tráfico, para un nodo del *CORE*.
- 6) Realizar un modelo de red de colas sobre la red.

### 3. ESPECIFICACIONES

#### 3.1. Red *CORE* Pontificia Universidad Javeriana

Para entender el trabajo desarrollado y los resultados alcanzados en el trabajo propuesto, se debe partir que la topología real de la red no constaba de 5 equipos como se informó al momento de proponer el trabajo de grado. Realmente la red se basa en dos nodos principales, que soportan toda la red y forman tres áreas en la red:

- El *CORE A* que está compuesto por tres equipos, que a nivel lógico se representan como un solo equipo. Estos equipos son Ingeniería, Hospital y Ático. Este equipo del *CORE A* se encuentra conectado con varios equipos de red, que forman parte de la distribución en esta parte de la red.
- El *CORE B* está compuesto por dos equipos, que al igual que en el *CORE A*, a nivel lógico se representan como un solo equipo. Estos dos equipos son Central y Biblioteca. Siguiendo lo descrito del *CORE A*, este también se encuentra conectado con los equipos de distribución y se comunica con el *CORE Alcatel*.
- El *CORE Alcatel* es la antigua red *CORE* de la Universidad, en la cual solo se encuentra en funcionamiento con un solo equipo de red, el cual se encarga de comunicar el Datacenter y proveer de la salida a Internet de la Universidad.

Para el desarrollo de este trabajo, no se tuvieron en cuenta los demás elementos de red que no hacían parte del *CORE*, como lo son los equipos de distribución y de acceso.

A continuación, en la Figura 2, se muestra el diagrama existente para la red de datos de la Universidad, suministrado por el grupo de DTI de la Universidad y en el cual se basó el desarrollo de este trabajo:



Figura 2 - Topología lógica de Red Universidad

Para la realización y desarrollo de este trabajo, se tomó la red de la siguiente forma:

- *CORE A* -Distribución, equipo Arboleda.
- Enlaces *CORE A* - *CORE B*.
- *CORE B* – Distribución, equipo Biblioteca.
- Enlaces *CORE B* – Alcatel, equipo Datacenter (salida a Internet).

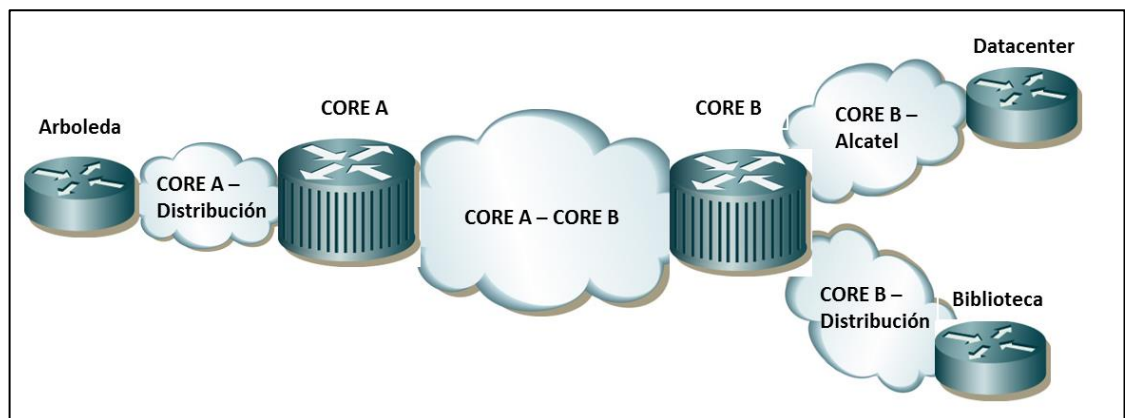


Figura 3 - Modelo de red analizado

Para cada nube representada en la Figura 3, se modelizaron 4 colas a excepción del *CORE* Alcatel, el cual únicamente se modelizaron dos colas.

### **3.2. Identificación tráfico interno y externo de la Red**

Para la identificación del tráfico interno y externo, se realizó con ayuda del gestor de red IMC, que permitió extraer la información necesaria para alcanzar parcialmente el objetivo planteado para este punto. El gestor de red presentó muchas fallas y desde que se otorgó el ingreso a la plataforma, únicamente se logró extraer la información de red del *CORE* A – Distribución, las demás áreas no fueron posibles de analizar por dichas fallas.

El gestor IMC, es el gestor superior de los elementos de red de la Universidad del fabricante HP, el cuál provee la información de estadísticas e información de las interfaces de los elementos.

### **3.3. Caracterización de tráfico**

En la realización de la caracterización de tráfico, se hicieron capturas para las cuatro partes de la red, en las que se dividió esta. Estas capturas se realizaron en horario de alto tráfico que según datos tomados del gestor de los equipos IMC, debía ser un día entre semana en el periodo de 11:00 a 12:00. Por el volumen de información capturada, las demás capturas oscilaron entre 10 minutos y 30 minutos. El computador usado para este propósito, no soportaba mucho tiempo de captura y el procesamiento de la información, que al final en promedio ocupaba 17 Giga Bytes en espacio de disco duro, tomaba entre 8 y 10 horas por captura. Por esta razón y por disponibilidad del personal del área de DTI de la Universidad y del autor de este documento, solo se tomó una captura por cada dos interfaces, en cada una de las partes de la red.

La caracterización del tráfico se realiza con ayuda del software de Matlab, el cual permite realizar el ajuste a distribuciones de manera de prueba y error.

### **3.4. Análisis de colas**

Se realiza el análisis de colas para las cuatro partes de la red, únicamente para el tráfico TCP y modelizando 4 colas por parte, a excepción del *CORE* B – Alcatel, el cual sólo mantiene activa una interfaz, la cual se modeliza con 2 colas.

Para cada cola se realizó el modelo a una cola tipo G/G/1, esto debido a que las tasas de arribo y de servicio, son procesos generales. La disciplina de servicio para

el modelo de colas es FIFO (primero en llegar, primero en salir), esto, basado en la información suministrada por el personal de DTI de la Universidad.

Para cada una de las colas G/G/1 se realizó el cálculo de:

- $L_q$ : Número medio de usuarios en la cola.
- $L$ : Número medio de usuarios en el sistema.
- $W_q$ : Tiempo medio de espera en la cola.
- $W$ : Tiempo medio de espera en el sistema.
- $C_a$ : Coeficiente de variación de la tasa de llegadas.
- $C_s$ : Coeficiente de variación de la tasa de servicio.
- $\rho$ : Utilización del servidor.

Se hicieron uso de las siguientes ecuaciones:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Donde,

$\lambda$ : Tasa de llegadas

$\mu$ : Tasa de servicio

$$C_a = \frac{\sigma_a}{\lambda}$$

Donde,

$\sigma_a$ : Desviación estándar de tasa de llegadas

$$C_s = \frac{\sigma_s}{\mu}$$

Donde,

$\sigma_s$ : Desviación estándar de tasa de llegadas

$$L_q = \left[ \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \right] \times \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$L = \lambda W$$

### 3.5. Análisis de cuellos de botella

Para el análisis de cuellos de botella, se debió realizar primero el análisis de colas para cada nodo. Esto con el objetivo de obtener la información necesaria de cada cola y poder encontrar el eslabón más “débil” en la red.

Con esto, lo que se toma es el tiempo promedio total en el sistema (para cada cola), de la siguiente manera:

$$R = \sum_{k=1}^n V_k R_k, \text{ El tiempo total de respuesta}$$

Donde,

$V_k$  : Número de visitas de un paquete en la cola k.

$R_k$  : Tiempo de respuesta medio de la cola k.

A continuación, en la Tabla 1 se da la lista de las colas con su descripción, a manera de guía y mejor entendimiento de la nomenclatura usada en el documento:

Cola	Descripción
CA_Q1	Cola que va del CORE A hacia Distribución
CA_Q2	Cola que va del CORE A hacia Distribución
CA_Q3	Cola que va de Distribución al CORE A
CA_Q4	Cola que va de Distribución al CORE A
AB_Q1	Cola que va del CORE B al CORE A
AB_Q2	Cola que va del CORE B al CORE A
AB_Q3	Cola que va del CORE A al CORE B
AB_Q4	Cola que va del CORE A al CORE B
CB_Q1	Cola que va del CORE B hacia Distribución
CB_Q2	Cola que va del CORE B hacia Distribución
CB_Q3	Cola que va de Distribución al CORE B
CB_Q4	Cola que va de Distribución al CORE B
ALU_Q1	Cola que va del CORE Alcatel a CORE B
ALU_Q2	Cola que va del CORE B a CORE Alcatel

Tabla 1 - Descripción nomenclatura colas

### 3.6. Análisis red de colas

Para la realización del modelo de una red de colas, de la red en estudio, se realiza la conexión de las colas y se definen los caminos que podría llegar a tomar un paquete, según la lógica en la que opera la red.

Como la red de *CORE* de la Universidad, está conformada por dos enrutadores, el modelo de red de colas para esta red, se plantea interconectando las colas según el sentido y el volumen de tráfico que manejan.

Para este modelo, se hizo uso de los datos históricos de los enrutadores, con ayuda del gestor de red IMC y así definir el sentido del tráfico, por donde se envía la información en la red. La red de colas modelada, tiene cinco procesos externos, que inyectan tráfico y cinco salidas por donde el tráfico es entregado a los usuarios finales.

En la Figura 4 se ilustra cómo fue modelada la red de colas:

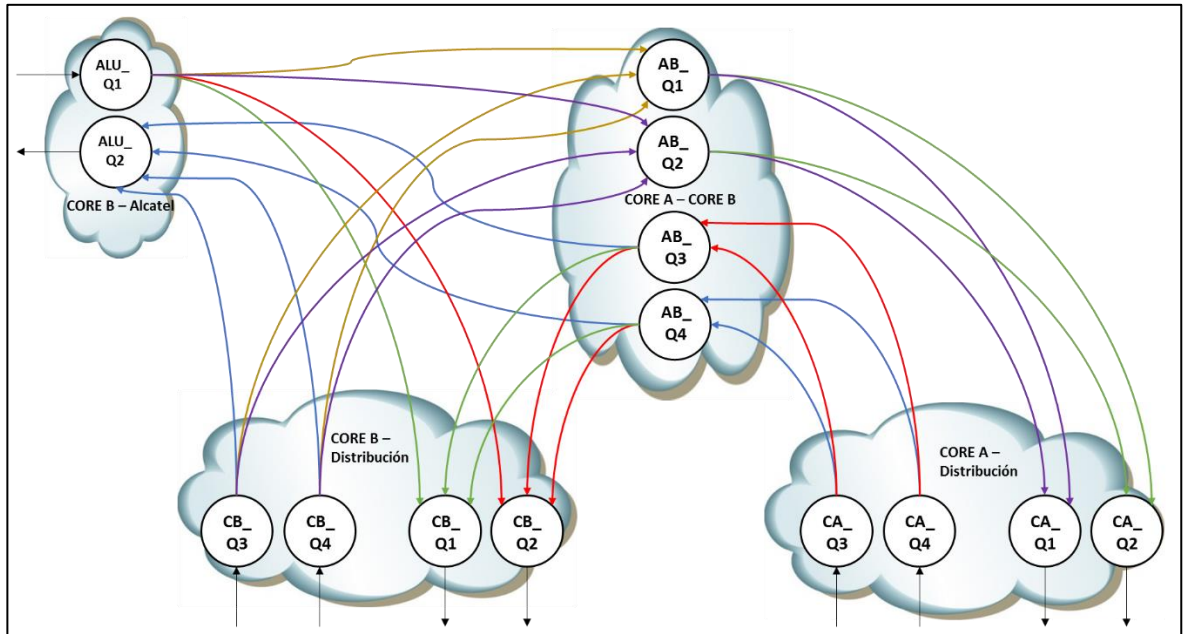


Figura 4 - Modelo de Red de Colas

Se realiza el modelo de red de colas, basado en redes de Jackson abiertas. En este modelo se asume que todos los paquetes salen de la red y hay ingreso de paquetes desde el exterior de la red.

El modelo aplicado es una red de Jackson Abierta, donde se realizó el cálculo de los siguientes parámetros de la red:

$$\lambda_j = r_j + \sum_{i=1}^n P_{ij} \lambda_i; \text{ Tasa de arribo de la cola } j$$

Dónde,

$r_j$  : Tasa de arribo externa.

$P_{ij}$  : Probabilidad de pasar de la cola  $j$  a la cola  $i$ .

$\lambda_i$  : Tasa de arribo de la cola  $i$ .

$n$  : Número de colas en la red.

$$\rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}; \text{ Utilización de la cola } j$$



Dónde,

$\mu_j$ : Tasa de servicio de la cola

$$E[Q_j] = \frac{\rho_j}{1 - \rho_j}; \text{ Tamaño medio de la cola } j$$

$$E[D_j] = \frac{E[Q_j]}{\lambda_j}; \text{ Tiempo medio en la cola } j$$

$$E[D] = \frac{\sum_{j=1}^n E[Q_j]}{\sum_{j=1}^n r_j}; \text{ Tiempo total medio en la red}$$

$$P(Q_j = 0) = \prod_{j=1}^n (1 - \rho_j); \text{ Probabilidad de que la cola este vacía}$$

## **4. DESARROLLOS**

### **4.1. Procesamiento de información**

Para trabajar con la información capturada de Wireshark, se debió convertir el archivo PCAP, a un archivo CSV para poder procesarlo desde Matlab y así poder trabajar con la información capturada.

Por la cantidad de información capturada se realiza un programa de captura, este programa se realiza en ciclos, ya que a medida que la variable de almacenamiento crecía, más lento era el proceso. En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo de este programa:

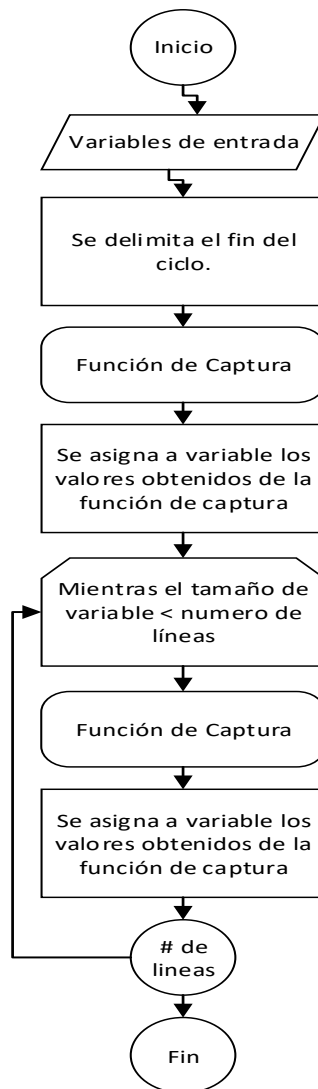


Figura 5 - Diagrama de Flujo Captura

## 4.2. Simulación modelo de colas

En el modelamiento cada cola, tiene múltiples fuentes con distintos procesos de llegada y servicio (tamaño de paquete). Para poder realizar el modelo, primero se crea una base de datos con la información de la captura realizada, permitiendo manejar mejor los datos, esta base de datos se crea en MySQL. Con la información en la base de datos, se pudo extraer con mayor facilidad con las condiciones necesarias. Luego con la información extraída de la base de datos, se procesa nuevamente en Matlab y se realiza el ajuste a una distribución estadística.

La distribución estadística obtenida es la suma de varias distribuciones, por lo cual, al momento de simular las colas, se deben incluir varias fuentes con cada

distribución, que sumándolas resultaba la distribución estadística para los procesos de llegada y de servicio.

En la Figura 6, se ilustra lo anteriormente expuesto.

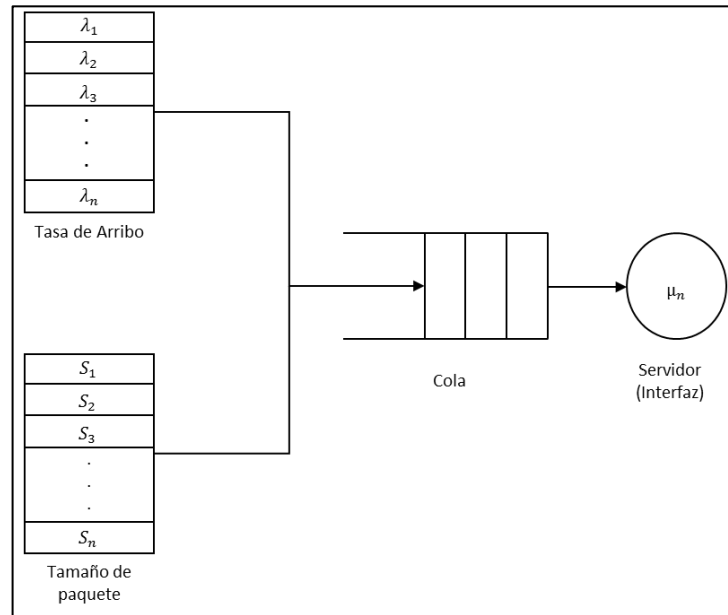


Figura 6 - Diagrama del modelo de colas

El programa para la simulación y modelo de colas, tiene el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 7. El diagrama de flujo se realiza de forma resumida y únicamente dando a conocer los pasos que realiza el programa creado.

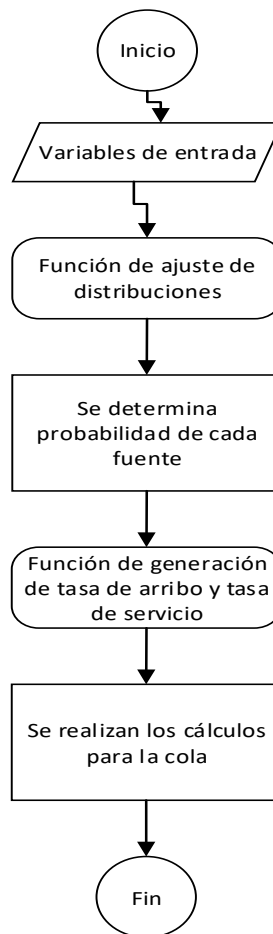


Figura 7 - Diagrama de flujo de modelo de colas

### 4.3. Simulación modelo red de colas

Para realizar el modelo de colas se realizan dos simulaciones, la lógica de cada programa es la misma para ambas simulaciones, solo se tienen en cuenta funciones distintas para que la simulación sea para colas M/M/1 (es decir, llegadas con proceso poissoniano, tiempo de servicio exponencial, un servidor con buffer infinito) o G/G/1 (es decir, llegadas y tiempo de servicio generales, un servidor con buffer infinito).

El diagrama de flujo que muestra cómo funciona el programa de simulación de la red colas, se muestra en la Figura 8.

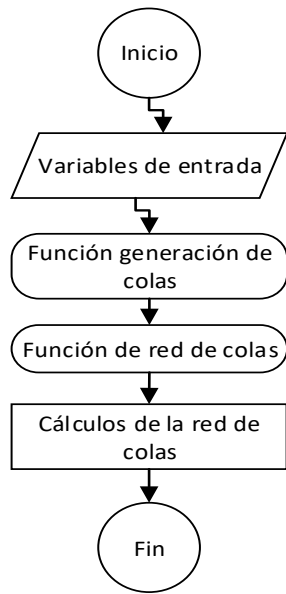


Figura 8 - Diagrama de flujo simulación red de colas

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Tipo de tráfico en la red

Se obtuvo una gran cantidad de información relacionada, con el tráfico que cursa sobre esta parte de la red. Se logró deducir que el mayor porcentaje de tráfico es interno y un porcentaje relativamente bajo es externo.

En la siguiente tabla se observa cómo se reparte volumen de tráfico entre interno y externo, ya sea tráfico entrante o saliente en esta parte de la red para un día entre semana:

Tipo de Trafico	Tráfico In (GB)	Tráfico Out (GB)	Tráfico In (%)	Tráfico Out (%)	Trafico (%)
Interno	3716,87665	1469,26863	97,84%	65,68%	85,92%
Externo	82,04817	767,60119	2,16%	34,32%	14,08%

Tabla 2 - Tráfico Interno y Externo en CORE A

A continuación, se muestra el porcentaje de tráfico interno y externo, visto por sentido en esta parte de la red, en forma gráfica para una mejor interpretación:



Figura 9 - Tráfico IN

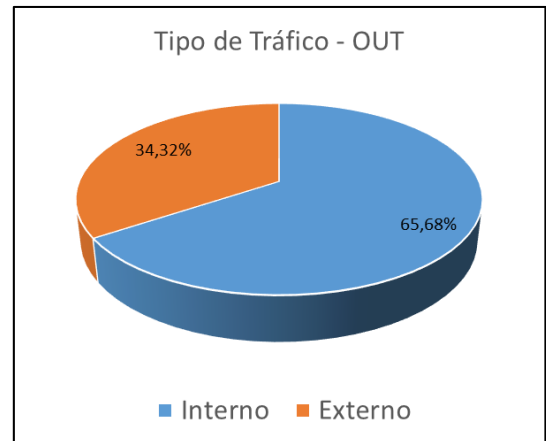


Figura 10 - Tráfico OUT

La gran mayoría del tráfico sobre esta parte de la red, está relacionado con el tráfico interno de la universidad. Este tráfico según lo indicado por el departamento DTI de la Universidad, es normal y corresponde a equipos de seguridad.

Se observa que el tráfico externo aumenta a partir de las 6:00 a.m. y disminuye a las 10:00 p.m. El tráfico interno mantiene un típico por encima de 120 GB por cada hora y que al igual que el tráfico externo, este aumenta en el periodo entre las 6:00 a.m. y las 10:00 p.m.

En la Figura 11, se muestra cómo se comporta el tráfico en la universidad durante un día. Se recuerda que esta información únicamente corresponde al CORE A. La información se muestra en volumen de datos:

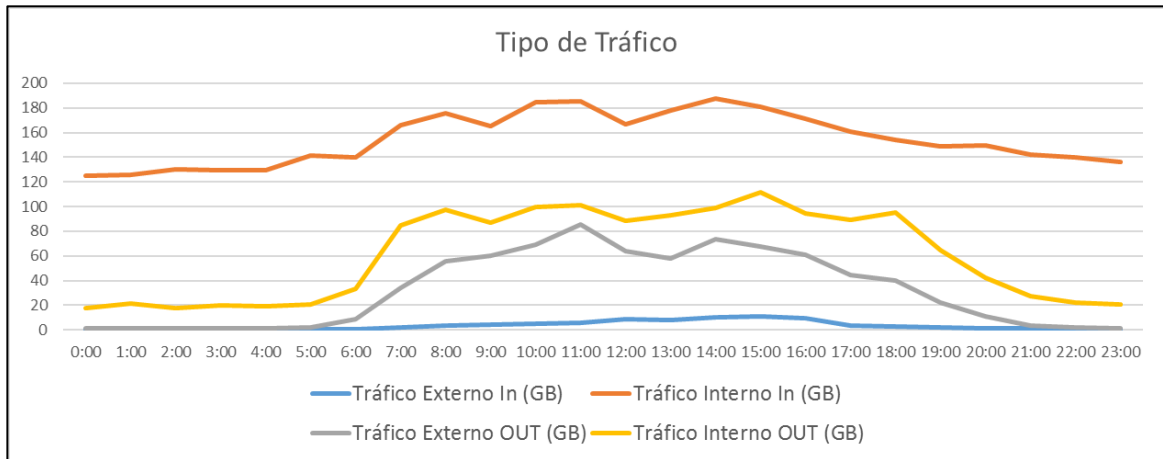


Figura 11 - Tráfico interno y externo durante el día

## 5.2. Caracterización de tráfico

Para realizar la caracterización de tráfico se realizó usando una metodología, que consta de realizar una captura de datos de los equipos por medio del *sniffer* Wireshark, procesar la información con Matlab y realizando la modelización, con ayuda de una herramienta dentro de Matlab que se llama *Distribution Fitting Tool*. Esta aplicación permite realizar el ajuste a una distribución, para los datos capturados de la forma de prueba y error. Es decir, que los datos se pudieron ajustar a varias distribuciones de probabilidad y observar cuál se ajustaba mejor, a los datos capturados.

Para cada una de las partes de la red, se obtiene la distribución estadística de tiempo entre paquetes y tamaño de paquetes. Se hace de manera unificada, sin discriminar por interfaz. Las distribuciones del tamaño del paquete se cortan abruptamente en 1500, ya que se debe tener en cuenta que la MTU (Unidad Máxima de Transferencia) de Ethernet es de 1500 Bytes.

Las muestras obtenidas que no se tienen en cuenta en la caracterización, se trabajan como fuentes de valores fijos y se tienen en cuenta al momento de realizar el modelo de colas.



### 5.2.1. Caracterización CORE A - CORE B

En esta parte de la red, se realiza una captura sobre 2 interfaces (de 16 en total) entre los enrutadores del CORE A y el CORE B. La captura se realiza por un periodo de 1.600 segundos, capturando 17'479.190 paquetes.

Para realizar la caracterización de tiempo entre paquetes, el 74,53 % de la información, que equivalen a 13'027.499 muestras, que son de un tiempo igual o menor a 5  $\mu$ s, se manejan como una fuente de valor fijo, con el valor promedio de estas muestras. Adicional se tiene otra fuente con el valor promedio de las muestras mayores a 500  $\mu$ s, equivalentes al 0,4 % de la información total, tomando así un total de 4'380.024 muestras (25,07%) para realizar su caracterización.

Para el tiempo entre paquetes, se tiene una distribución estadística compuesta por la suma de cuatro distribuciones, una distribución Gamma, una distribución Weibull y dos distribuciones Normales:

$$X \sim G(\alpha, \lambda) + W(\alpha, \lambda) + N_1(\mu_1, \sigma_1^2) + N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$$

$G(\alpha, \lambda)$ , con  $\alpha = 12.4852$  y  $\lambda = 2.84436e-06$

$W(\alpha, \lambda)$ , con  $\alpha = 1.24668e-4$  y  $\lambda = 1.87681$

$N_1(\mu_1, \sigma_1^2)$ , con  $\mu_1 = 9.99784e-05$  y  $\sigma_1^2 = 7.79523e-11$

$N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$ , con  $\mu_2 = 2.01599e-4$  y  $\sigma_2^2 = 1.98702e-10$

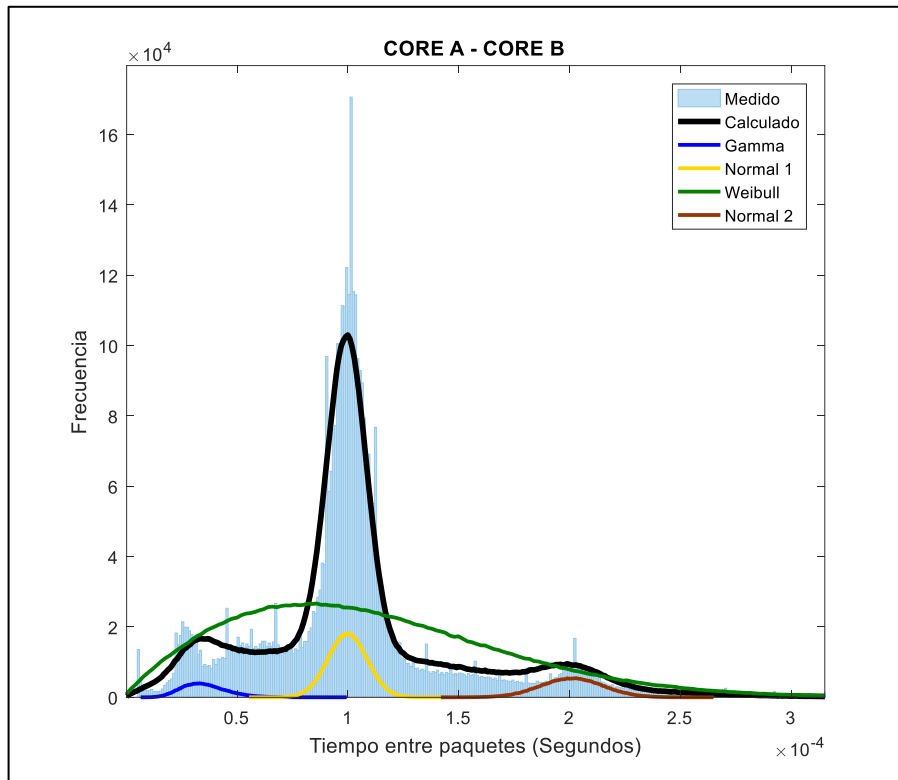


Figura 12 - Tiempo entre paquetes CORE A - CORE B

En el caso para el tamaño de los paquetes, un 94% de las muestras son fuentes de valores fijos, que en su mayoría corresponden a paquetes fragmentados, lo que ocasionaba que el análisis se desviara a solo a valores de 1500 Bytes. La distribución obtenida para el tamaño de los paquetes, es la suma de una distribución Exponencial, con dos distribuciones Normales:

$$X \sim Ex(\lambda) + N_1(\mu_1, \sigma_1^2) + N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$$

$Ex(\lambda)$ , con  $\lambda = 616$

$N_1(\mu_1, \sigma_1^2)$ , con  $\mu_1 = 174.052$  y  $\sigma_1^2 = 1766.06$

$N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$ , con  $\mu_2 = 1006.25$  y  $\sigma_2^2 = 58013.5$

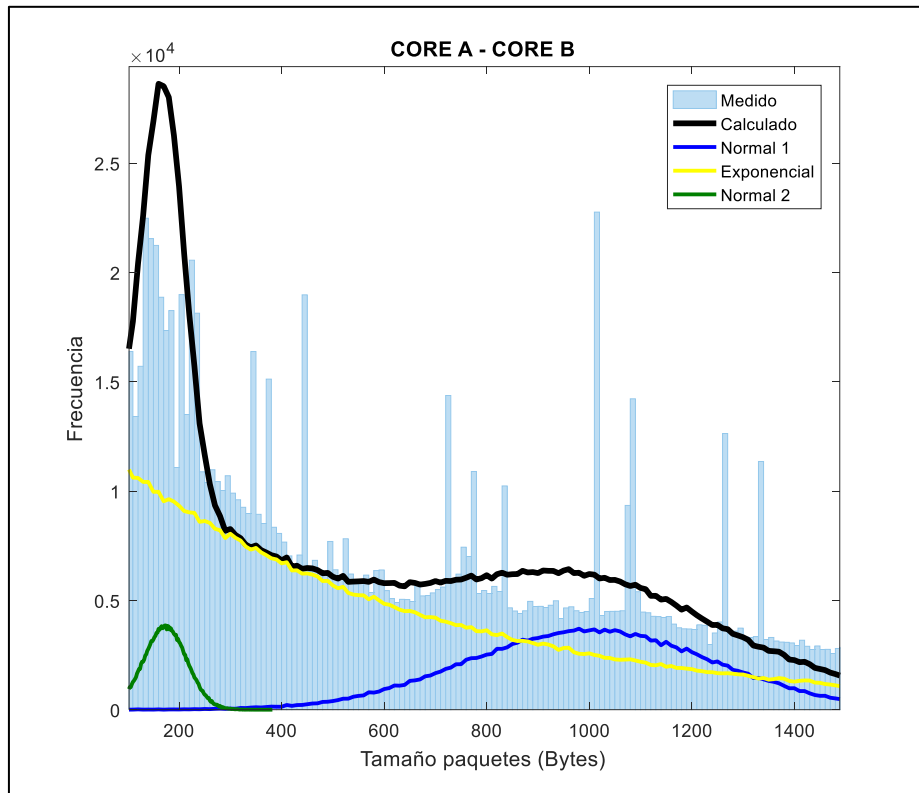


Figura 13 - Tamaño de paquetes CORE A - CORE B

### 5.2.2. Caracterización CORE A - Distribución

Esta parte de la red está compuesta por las interfaces, que interconectan el enrutador del CORE A, con los enrutadores de distribución, que en total son 6, nombrados por las ubicaciones donde se encuentran desplegados. Estos equipos son Arboleda, Arrupe, Artes, Barón, Briceño y Giraldo.

Para esta parte de la red, se realizó una captura para 2 interfaces entre el CORE A y la distribución, que corresponde al equipo Arboleda. La captura se llevó a cabo durante 1.259 segundos y se capturaron 18'.635.791 paquetes.

Al igual que en el punto anterior, para la caracterización del tiempo entre paquetes, se tiene una fuente de valor fijo de un gran porcentaje de muestras, debido al proceso de fragmentación sobre los enrutadores. El tiempo entre llegadas, producto de la fragmentación es muy bajo y al momento de realizar la caracterización, actúa como una fuente que tiene un tiempo entre llegadas determinístico. El porcentaje que conforma esta fuente fija es del 79,54%. La distribución obtenida es la suma de una distribución Normal y una distribución Weibull:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) + W(\alpha, \lambda)$$

$N(\mu, \sigma^2)$ , con  $\mu = 1.00085e-4$  y  $\sigma^2 = 9.23706e-11$

$W(\alpha, \lambda)$ , con  $\alpha = 1.24668e-4$  y  $\lambda = 1.925$

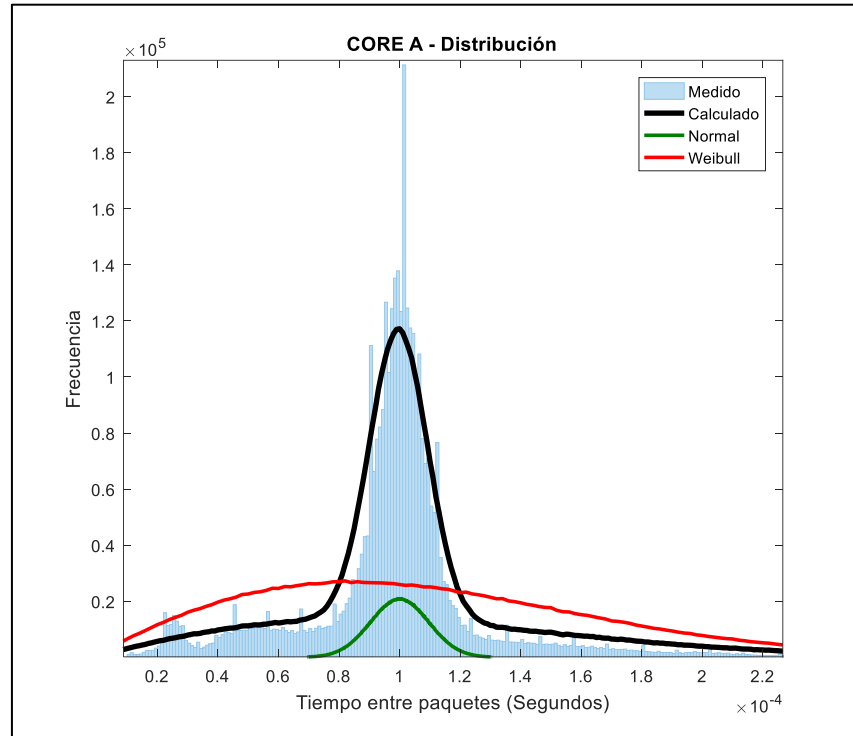


Figura 14 - Tiempo entre paquetes CORE A - Distribución

Al realizar la caracterización del tamaño de paquetes, el 97% de las muestras conforman varias fuentes de valores fijos, el número de muestras de este tipo (paquetes de un tamaño igual a 1500 Bytes), es muy grande. Esta fuente de tráfico será en su gran mayoría una fuente de tamaño fijo de 1500 Bytes y la cantidad restante (el otro 3% de las muestras) será caracterizada por las distribuciones aproximadas en la Figura 15. La distribución obtenida en este análisis corresponde a la suma de una distribución Normal, una distribución Rayleigh y una distribución Uniforme:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) + R(\theta) + U(a, b)$$

$N(\mu, \sigma^2)$ , con  $\mu = 159.687$  y  $\sigma^2 = 3056.68$

$R(\theta)$ , con  $\theta = 541.865$

$U(a, b)$ , con  $a=1010$  y  $b=1500$

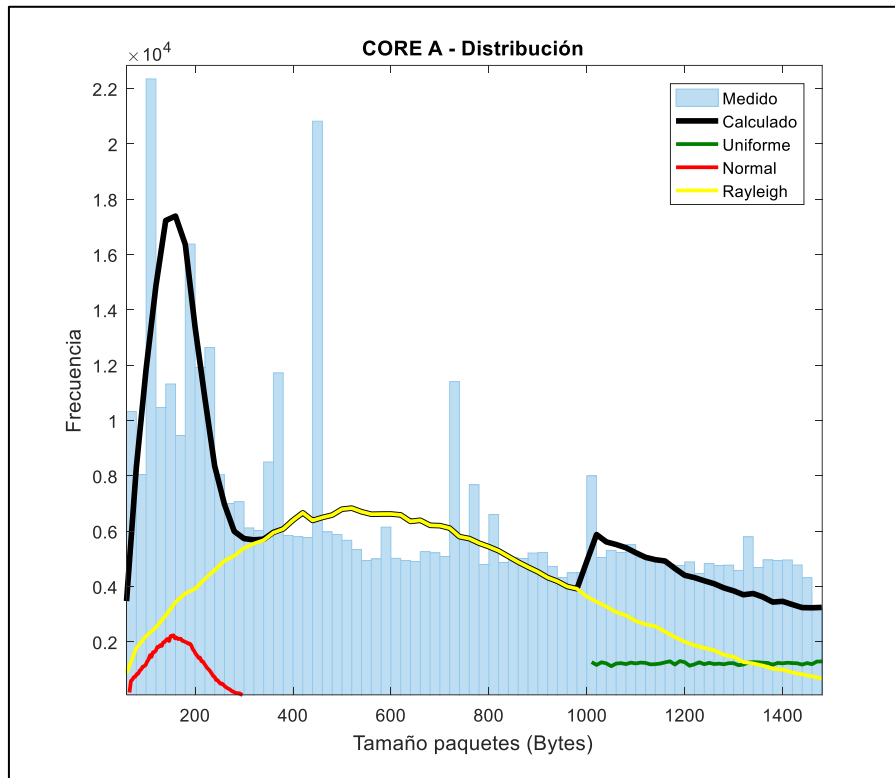


Figura 15 - Tamaño de paquetes CORE A -Distribución

### 5.2.3. Caracterización CORE B - Distribución

Esta parte de la red está conformada por los enlaces del enrutador del CORE B y la distribución, que la conforman 2 equipos y 4 interfaces que son los desplegados en las ubicaciones del edificio Central y Biblioteca.

En esta parte de la red se realizó la captura de las dos interfaces de la Biblioteca, que conectan con el enrutador del CORE B. Esta captura se realizó de 950 segundos, capturando un total de 22'009.348 paquetes.

Para caracterizar el tiempo entre paquetes, se tiene que el 72% de las muestras corresponden a fuentes de valores fijos, como se presentó durante el análisis de toda la red en estudio, se presenta una gran cantidad de paquetes fragmentados y altos tiempos que se atribuyen al equipo de cómputo con el que se realizó la captura. Las muestras omitidas son las que presentan un tiempo menor o igual a 15  $\mu$ s y mayores a 250  $\mu$ s. La distribución obtenida es la suma de 4 distribuciones, conformadas por dos distribuciones Normales, una distribución Weibull y una Rayleigh:

$$X \sim R(\theta) + N_1(\mu_1, \sigma_1^2) + N_2(\mu_2, \sigma_2^2) + W(\alpha, \lambda)$$

$R(\theta)$ , con  $\theta = 2.94279e-05$

$N_1(\mu_1, \sigma_1^2)$ , con  $\mu_1 = 1.03198e-4$  y  $\sigma_1^2 = 1.90747e-10$

$N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$ , con  $\mu_2 = 1.00133e-4$  y  $\sigma_2^2 = 3.9241e-11$

$W(\alpha, \lambda)$ , con  $\alpha = 2.08673e-4$  y  $\lambda = 9.64342$

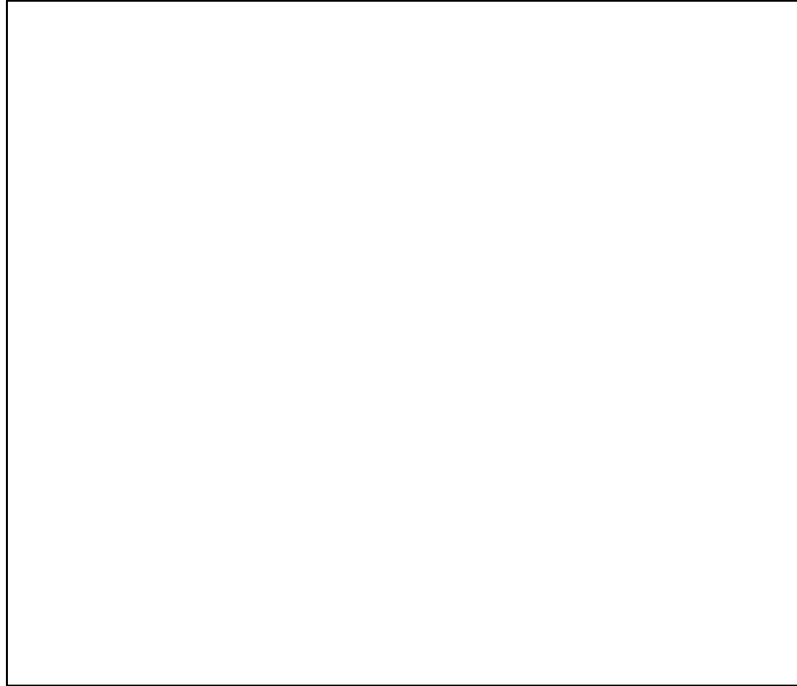


Figura 16 - Tiempo entre Paquetes CORE B - Distribución

Para la caracterización del tamaño de paquetes, el 77,91% de las muestras corresponden a fuentes de valores fijos, paquetes de tamaño muy pequeños, inferiores a 67 Bytes y muy grandes, superiores a 1.460 Bytes. La distribución obtenida para este análisis, es la suma de una distribución Normal y una distribución Weibull:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) + W(\alpha, \lambda)$$

$N(\mu, \sigma^2)$ , con  $\mu = 136.34$  y  $\sigma^2 = 1112.32$

$W(\alpha, \lambda)$ , con  $\alpha = 295.242$  y  $\lambda = 1.19522$

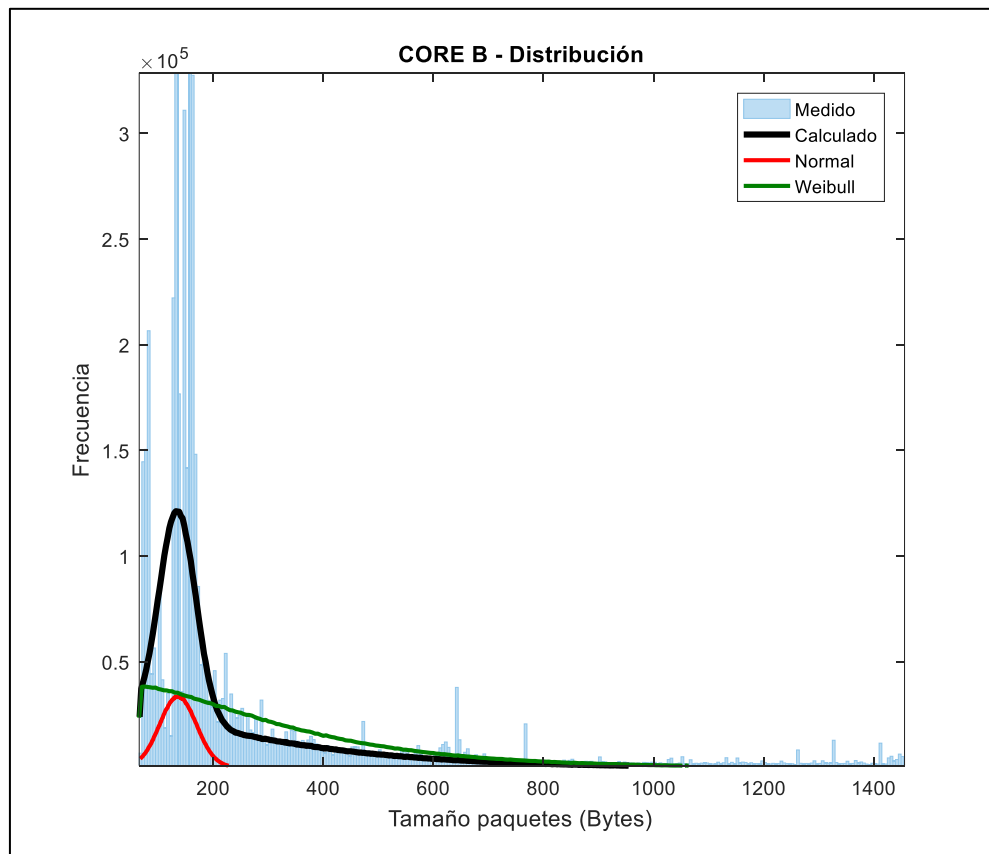


Figura 17 - Tamaño entre Paquetes CORE B – Distribución

#### 5.2.4. Caracterización CORE B – Alcatel

Esta parte de la red está compuesta, por los enlaces del enrutador del CORE B que conectan con el equipo Alcatel, el cual cuenta con la salida a Internet de la universidad. Esta salida se encuentra contratada con el proveedor de servicios ETB y tiene una capacidad de servicio contratada de 1,2 Gbps.

La captura de esta parte de la red, se realizó a una de las dos interfaces que comunican al enrutador del CORE B con el enrutador Alcatel. La captura se realizó por un tiempo de 600 segundos y se capturaron 6'603.113 paquetes.

En la caracterización del tiempo entre paquetes, se tiene que el 88,33% forman parte de fuentes de valores fijos, que corresponde a tiempos entre paquetes inferiores a 10  $\mu$ s. La distribución obtenida, es la suma de una distribución Rayleigh y 5 distribuciones Normales:

$$X \sim N_1(\mu_1, \sigma_1^2) + R(\theta) + N_2(\mu_2, \sigma_2^2) + N_3(\mu_3, \sigma_3^2) + N_4(\mu_4, \sigma_4^2) + N_5(\mu_5, \sigma_5^2)$$

$$N_1(\mu_1, \sigma_1^2), \text{ con } \mu_1 = 3.56384e-5 \text{ y } \sigma_1^2 = 1.2322e-10$$

$R(\theta)$ , con  $\theta = 4.41848e-5$

$N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$ , con  $\mu_2 = 6.86363e-5$  y  $\sigma_2^2 = 3.8776e-11$

$N_3(\mu_3, \sigma_3^2)$ , con  $\mu_3 = 1.01358e-4$  y  $\sigma_3^2 = 5.49242e-11$

$N_4(\mu_4, \sigma_4^2)$ , con  $\mu_4 = 2.6095e-5$  y  $\sigma_4^2 = 5.64129e-12$

$N_5(\mu_5, \sigma_5^2)$ , con  $\mu_5 = 4.53019e-5$  y  $\sigma_5^2 = 1.89683e-11$

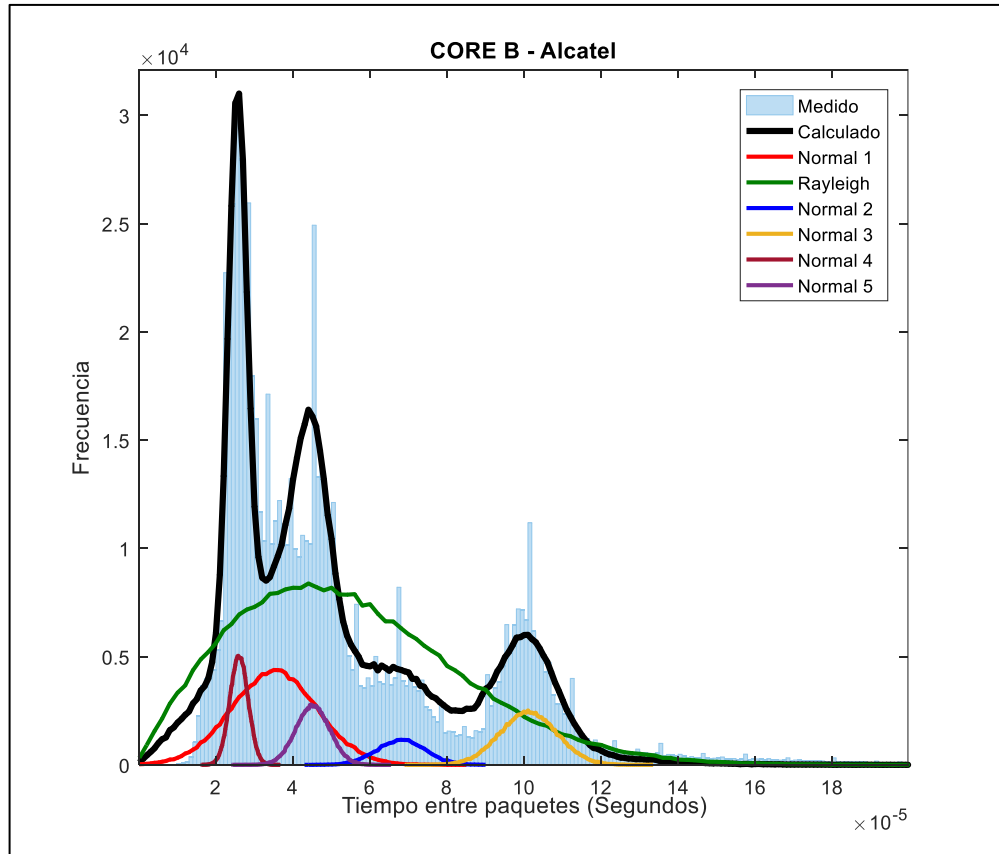


Figura 18 - Tiempo entre paquetes CORE B – Alcatel

En el caso de la caracterización del tamaño de paquetes, se tiene que el 57,6% son fuentes de valores fijos. El 42,4% restante de las muestras, se obtiene una distribución que está conformada por la suma de una distribución Normal Logarítmica y una Normal:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) + \text{LogN}(\mu, \sigma^2)$$

$N(\mu, \sigma^2)$ , con  $\mu = 147,685$  y  $\sigma^2 = 190,044$

$\text{LogN}(\mu, \sigma^2)$ , con  $\mu = 4,21124$  y  $\sigma^2 = 154,602$



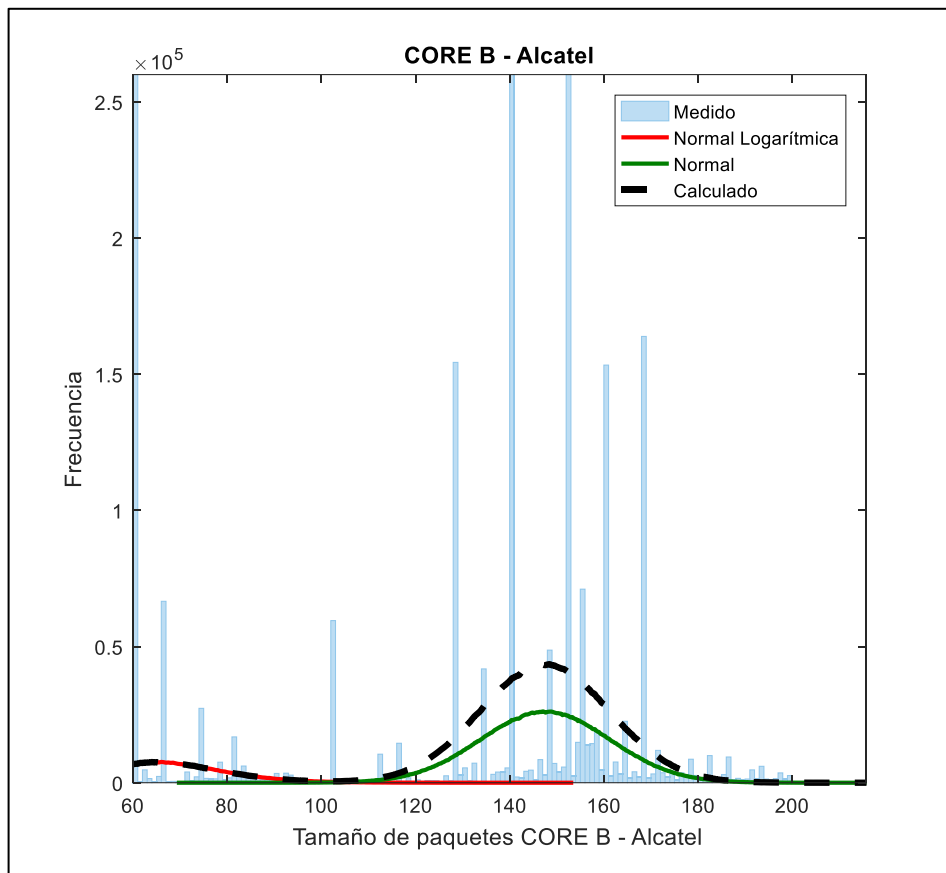


Figura 19 - Tamaño de Paquetes CORE B – Alcatel

### 5.3. Tráfico UDP versus TCP

La mayor parte del tráfico que cursa sobre la distribución de este nodo, está relacionada con TCP y seguido por el protocolo de encapsulamiento GRE, el protocolo UDP es de muy poco tráfico en relación con los dos primeros. Aunque no se tenía como meta la medición del protocolo GRE, se incluyó por tener gran cantidad del tráfico cursado sobre la red. El protocolo GRE (Protocolo Genérico de Encapsulamiento), es un protocolo creado por Cisco Systems, el cual permite establecer túneles a través de Internet, y encapsular varios protocolos hasta de capa 3, entre los que están OSPF, RIP, ARP y MPLS.

Protocolo	Tráfico (GB)	Porcentaje %
UDP	183,88	3
TCP	4.397,18	72
GRE	1.490,59	25

Tabla 3 - Comparación tráfico UDP vs. TCP

En la Figura 20, se puede observar cómo se reparte el tráfico de estos tres protocolos, donde se puede evidenciar la gran mayoría del protocolo TCP versus los demás.

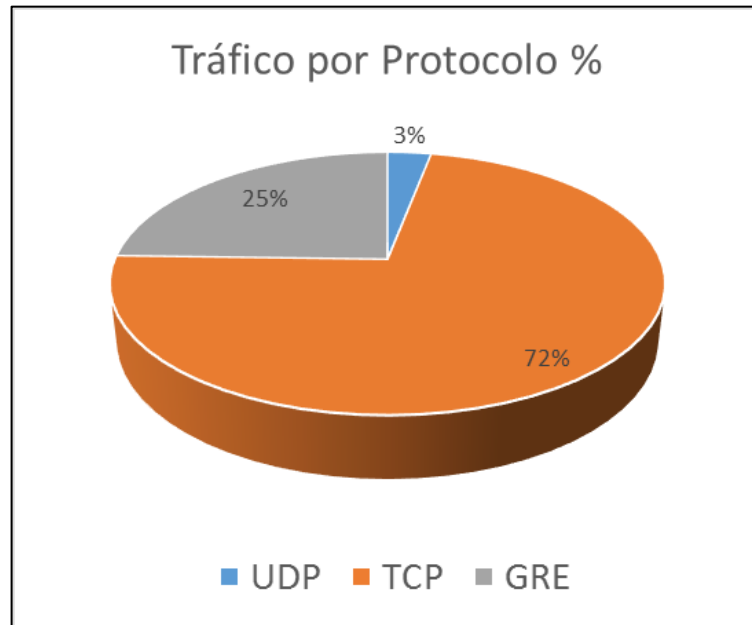


Figura 20 - Tráfico por protocolo

Como se puede observar en la Figura 21, el tráfico durante el día, los protocolos de UDP y GRE, aumentan cuando inicia la jornada de estudio en la universidad. Se observa un crecimiento en el tráfico TCP en el mismo horario, pero este último maneja un tráfico mínimo de 144 GB durante el día, en el que se relaciona con lo indicado por el departamento DTI de la Universidad, en que es normal y corresponde a equipos de seguridad y plataformas de servicio de la Universidad.

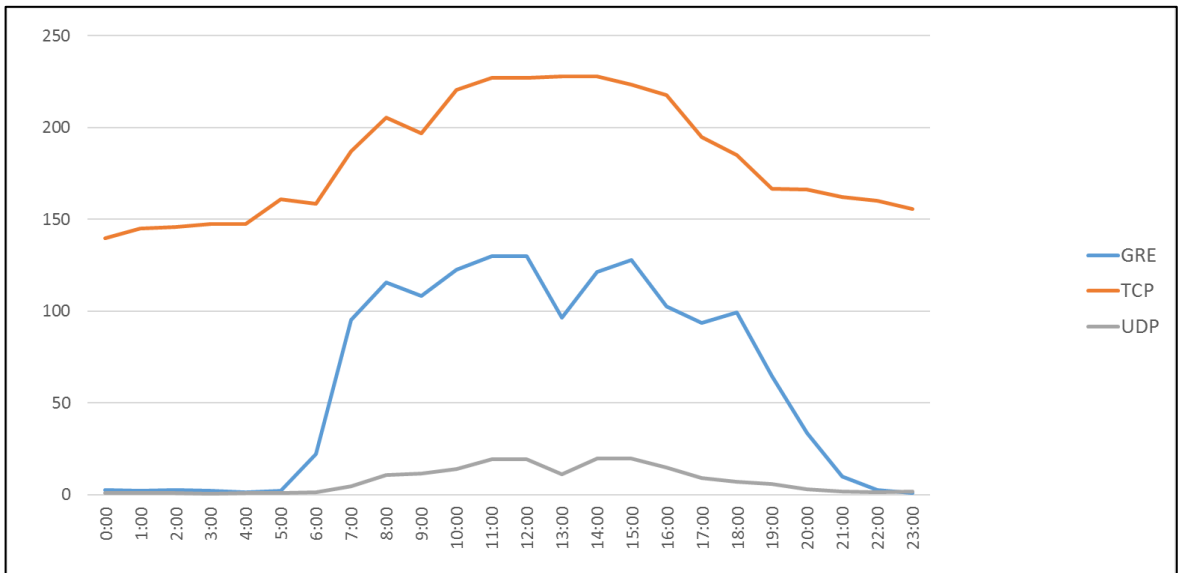


Figura 21 – Volumen de datos por protocolo durante el día (Giga Bytes)

A manera de poder entender mejor este volumen de tráfico, en la Figura 22 se muestra cómo está repartido tráfico por protocolo, con su respectivo sentido y *throughput*.

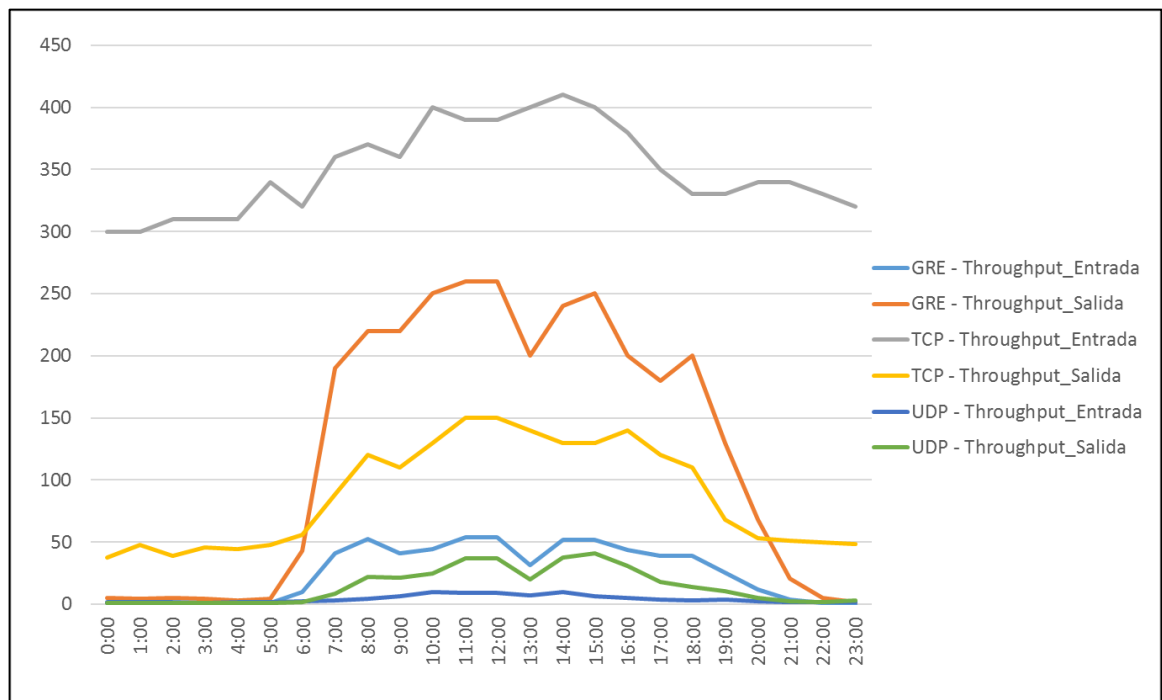


Figura 22 - *Throughput* durante un día (Mbps)

Como se puede evidenciar mejor, esta parte de la red mantiene un *throughput* de cerca de 300 Mbps de salida y cerca de 50 Mbps de entrada. El *throughput* del

protocolo GRE, únicamente se presenta en horario normal de clases de la Universidad.

Esta comparación se realizó con ayuda del gestor de red IMC, el cual como se explicó en el principio del documento, presentó muchos fallos en su funcionamiento y se únicamente se logró obtener información del CORE A – Distribución.

En la Figura 23, se observa como la mayor parte del tráfico (74%) corresponde a aplicaciones http y https, se observa un 24% del total de tráfico para aplicaciones no conocidas sobre TCP. Se presentan muchos más protocolos, pero al tener muy poca presencia en los datos analizados, no se incluyen en el gráfico.

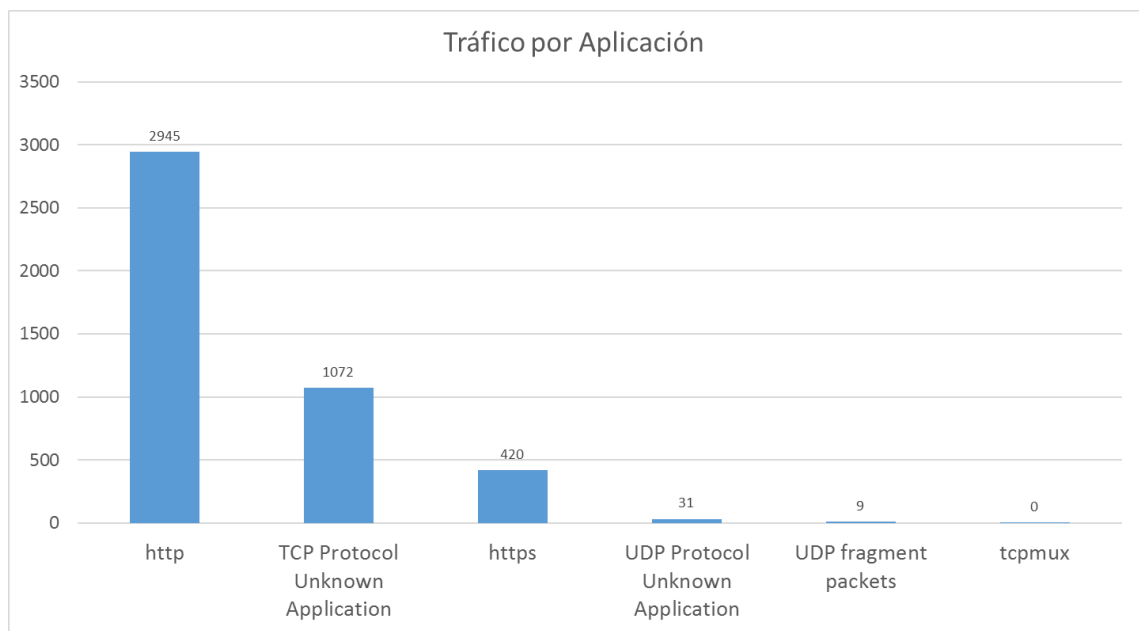


Figura 23 - Tráfico por Aplicación

## 5.4. Modelo de colas

A continuación, se dan a conocer los resultados del modelo de colas realizado para cada interfaz de cada parte de la red estudiada.

### 5.4.1. Modelo de colas CORE A - CORE B

En esta parte de la red se toma la cantidad de 17'090.857 paquetes TCP, que corresponden al 97,8 % del total de la muestra capturada, de 2 interfaces. Los demás paquetes capturados corresponden a UDP con un 0,5 % y el 1,7 % restante corresponde a RTP, ARP, entre otros.

Al ser 2 interfaces, se realiza el modelo de 4 colas, ya que cada interfaz maneja procesos de recepción (Rx) y transmisión (Tx), que son independientes entre sí y se ven como 2 colas en el lado A hacia B y 2 colas en el lado B hacia A.

#### 5.4.1.1. Interfaz 1 (AB\_Q1)

Esta cola se toma como una de las dos interfaces que salen del CORE B y entra al CORE A. Esta cola tiene cinco fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en las que dos se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 250  $\mu$ s y menores o iguales a 10  $\mu$ s. Las otras tres son distribuciones Normales y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,016866	$\geq 2,5e-4$
2	0,797246	$\leq 1e-5$
3	0,108435	$W(6.8873e-05, 2.0628)$
4	0,019363	$N(2.72032e-05, 1.11325e-11)$
5	0,05809	$N(9.98857e-05, 4.13135e-11)$

Tabla 4 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB\_Q1

El tamaño de los paquetes, se obtienen de once fuentes que proporcionan distintos valores. Donde dos son el promedio de paquetes mayores o iguales a 1514 Bytes y menores o iguales a 65 Bytes, cuatro fuentes determinísticas y cinco fuentes con distribuciones Exponencial, Normal, Weibull y Uniforme.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,821845	$\geq 1514$
2	0,000682	$\leq 65$
3	0,008725	112
4	0,156982	194
5	0,001211	1334
6	0,001202	234
7	0,000486	$Ex(136.407)$
8	0,002917	$N(766.677, 5712.49)$
9	0,000583	$N(1139.25, 5073.25)$
10	0,003889	$W(550.506, 3.02983)$
11	0,001478	$U(940, 1500)$

Tabla 5 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB\_Q1

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 8,6746e5$$

$$\mu = 1,8547e6$$

$$\rho = 0,4677$$

$$L_q = 1,2348$$

$$W_q = 1,4234e-6$$

$$W = 1,9626e-6$$

$$L = 1,7025$$

Para esta cola se tiene que se llega a una utilización de 46%, el número de paquetes en la cola y el sistema es de 2.

#### 5.4.1.2. Interfaz 2 (AB\_Q2)

Esta cola se toma como la segunda de las dos interfaces que salen del CORE B y entra al CORE A. Esta cola tiene seis fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toma como el promedio de paquetes menores o iguales a 10  $\mu$ s. Las otras cinco son distribuciones Normal, Exponencial y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,191825	$Ex(2.19889e-06)$
2	0,132293	$N(1.01592e-4, 9.96953e-11)$
3	0,066147	$N(2.0264e-4, 3.78227e-11)$
4	0,330733	$W(1.26254e-4, 2.15542)$
5	0,066147	$N(3.42411e-5, 4.65137e-11)$
6	0,212856	$\leq 1e-5$

Tabla 6 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB\_Q2

El tamaño de los paquetes, se obtienen de nueve fuentes que proporcionan distintos valores. Donde dos son el promedio de paquetes mayores o iguales a 1510 Bytes y menores o iguales a 100 Bytes, seis fuentes determinísticas y una fuente con distribución Burr.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,479592	$\geq 1510$
2	0,394149	$\leq 100$
3	0,024186	1470
4	0,006518	1266
5	0,007025	1085
6	0,008897	1018
7	0,00397	837
8	0,002143	770
9	0,07352	<i>Burr</i> (129,148 , 17.1903 , $6.589e - 2$ )

Tabla 7 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB\_Q2

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 1,3286e6$$

$$\mu = 8,6593e6$$

$$\rho = 0,1534$$

$$L_q = 185,2039$$

$$W_q = 1,3940e - 4$$

$$W = 1,3952e - 4$$

$$L = 185,3573$$

En esta cola se tiene una utilización de 15%, el número de paquetes en la cola y en el sistema es de 186. El valor de números de paquetes en el sistema, a pesar que es muy superior a la cola anterior se tiene una utilización mucho más baja. Esto, como se puede observar en la tabla de fuentes de tamaño de paquetes, se tiene q hay un gran porcentaje de paquetes muy pequeños, lo cual su tiempo de servicio es muy bajo.

#### 5.4.1.3. Interfaz 3 (AB\_Q3)

Esta cola se toma como una de las dos interfaces que salen del CORE A y entra al CORE B. Esta cola tiene cinco fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toma como el promedio de paquetes menores o iguales a 500  $\mu$ s. Las otras cuatro son distribuciones Normal, Exponencial y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,47621	$\leq 0,5e-3$
2	0,14186	$Ex(1.83002e - 6)$
3	0,145497	$N(1.02233e - 4 , 7.13836e - 11)$
4	0,036374	$N(2.03955e - 4 , 2.52517e - 11)$
5	0,200059	$W(1.52364e - 4 , 2.00744)$

Tabla 8 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB\_Q3

El tamaño de los paquetes se obtiene de cuatro fuentes que proporcionan distintos valores. Donde una es el promedio de paquetes mayores o iguales a 1500 Bytes, dos fuentes determinísticas y una fuente con distribución Uniforme.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,908259	$\geq 1500$
2	0,07947	946
3	0,004781	378
4	0,007489	$U(60 , 1500)$

Tabla 9 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB\_Q3

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 3,4832e5$$

$$\mu = 8,8289e5$$

$$\rho = 0,3945$$

$$L_q = 7,9189$$

$$W_q = 2,2734e-5$$

$$W = 2,3867e-5$$

$$L = 8,3134$$

En esta cola se observa una utilización de 39%, con 9 paquetes en el sistema.

#### 5.4.1.4. Interfaz 4 (AB\_Q4)

Esta cola se toma como la segunda de las dos interfaces que salen del CORE A y entra al CORE B. Esta cola tiene ocho fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toma como el promedio de paquetes menores o iguales a 650  $\mu s$ . Las otras siete son distribuciones Normal, Exponencial y Weibull.



Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,1048	$\geq 6,5e-4$
2	0,168376	$Ex(2.14416e - 6)$
3	0,224502	$N(1.02005e - 4 , 9.50792e - 6)$
4	0,098219	$N(2.03462e - 4 , 1.6819e - 10)$
5	0,014031	$N(3.06455e - 4 , 9.47846e - 11)$
6	0,018241	$N(4.1089e - 4 , 8.14407e - 11)$
7	0,021047	$N(6.19356e - 4 , 1.65274e - 10)$
8	0,350784	$W(2.16711e - 4 , 1.49874)$

Tabla 10 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola AB\_Q4

El tamaño de los paquetes, se obtienen de cuatro fuentes que proporcionan distintos valores. Donde dos son el promedio de paquetes mayores o iguales a 1514 Bytes y menores o iguales a 65 Bytes, siete fuentes determinísticas y dos fuentes con distribuciones Normal Logarítmica y Valor Extremo.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,841225	$\geq 1514$
2	0,00487	$\leq 65$
3	0,053181	946
4	0,024397	1230
5	0,014592	1013
6	0,010987	729
7	0,003666	1011
8	0,001037	662
9	0,000698	443
10	0,038629	$\log N(529.765 , 0.5796)$
11	0,006718	$EV(1445.86 , 58.1065)$

Tabla 11 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola AB\_Q4

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 4,5420e5$$

$$\mu = 9,1819e5$$

$$\rho = 0,4947$$

$$L_q = 12,4943$$

$$W_q = 2,7508e - 5$$

$$W = 2,8597e-5$$

$$L = 12,9890$$

En esta cola se presenta una utilización del 49%, y se tienen 13 paquetes en el sistema.

#### 5.4.2. Modelo de colas CORE A – Distribución

En esta parte de la red se toma la cantidad de 17'091.407 paquetes TCP, que corresponden al 91,7 % del total de la muestra capturada, los cuales conforman dos interfaces. Los demás paquetes corresponden a RTSP (Real Time Streaming Protocol) con 8 % y el 0,3 % restante a protocolos como ARP, UDP, entre otros.

Estas dos interfaces son las que conectan el CORE A con los equipos de Distribución, igual que la anterior parte de la red se modelan cuatro colas, las cuales dos son hacia el CORE A y dos hacia los equipos de Distribución, en este caso hacia el equipo nombrado como Arboleda.

##### 5.4.2.1. Interfaz 1 (CA\_Q1)

Esta cola se toma como una de las dos interfaces que salen del CORE A y van a la distribución. Esta cola tiene seis fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 350  $\mu$ s. Las otras cinco son distribuciones Normales, Exponencial y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,024713	$\geq 3,5e-4$
2	0,157546	$Ex(2.1433e - 6)$
3	0,030009	$N(2.93127e - 5 , 1.86772e - 11)$
4	0,37511	$N(1.02294e - 4 , 8.44141e - 11)$
5	0,112533	$N(2.04332e - 4 , 6.37741e - 11)$
6	0,300088	$W(1.48206e - 4 , 2.47262)$

Tabla 12 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA\_Q1

El tamaño de los paquetes, se obtienen de siete fuentes que proporcionan distintos valores. Donde una es el promedio de paquetes mayores o iguales a 1514 Bytes, cinco fuentes determinísticas y una fuente con distribución Uniforme.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,880087	$\geq 1514$
2	0,094642	946
3	0,005346	378
4	0,002634	770
5	0,002408	1014
6	0,001806	446
7	0,013077	$U(65, 1510)$

Tabla 13 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA\_Q1

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 3,3563e5$$

$$\mu = 9,3537e5$$

$$\rho = 0,3588$$

$$L_q = 2,2099$$

$$W_q = 6,5843e-6$$

$$W = 7,6534e-6$$

$$L = 2,5687$$

La utilización en esta cola es de 35% y en el sistema hay en promedio 3 paquetes. La mayor parte de paquetes son de tamaño igual o superior a 1514 Bytes.

#### 5.4.2.2. Interfaz 2 (CA\_Q2)

Esta cola se toma como la segunda de las dos interfaces que salen del CORE A y van a la distribución. Esta cola tiene nueve fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 1 ms. Las otras ocho son distribuciones Normales, Exponencial y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,05935	$\geq 1e-3$
2	0,151718	$Ex(2.42977e - 6)$
3	0,227577	$N(1.02408e - 4 , 8.91206e - 11)$
4	0,106202	$N(2.035e - 4 , 5.17941e - 11)$
5	0,045515	$N(3.08476e - 4 , 3.18879e - 10)$
6	0,091031	$N(4.11548e - 4 , 3.12031e - 10)$
7	0,030344	$N(5.1486e - 4 , 4.34578e - 10)$
8	0,060687	$N(6.18877e - 4 , 3.10834e - 10)$
9	0,227577	$W(2.41634e - 4 , 1.27664)$

Tabla 14 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA\_Q2

El tamaño de los paquetes, se obtienen de siete fuentes que proporcionan distintos valores. Donde una es el promedio de paquetes mayores o iguales a 1514 Bytes, tres fuentes determinísticas y tres fuentes con distribuciones Uniforme y Normales.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,877771	$\geq 1514$
2	0,049841	946
3	0,012746	445
4	0,007894	1013
5	0,033904	$U(60 , 1513)$
6	0,009636	$N(1392.34 , 2398.48)$
7	0,008208	$N(1083.35 , 1676.38)$

Tabla 15 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA\_Q2

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 3,3198e5$$

$$\mu = 9,6943e5$$

$$\rho = 0,3424$$

$$L_q = 5,2241$$

$$W_q = 1,5736e-5$$

$$W = 1,6768e-5$$

$$L = 5,5666$$

Se presenta una utilización de 34%. En la cola y el sistema se presentan 6 paquetes.

### 5.4.2.3. Interfaz 3 (CA\_Q3)

Esta cola se toma como una de las dos interfaces que entran al *CORE A* y vienen desde la distribución. Esta cola tiene seis fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 350  $\mu$ s. Las otras cinco son distribuciones Normales, Exponencial y Weibull.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,255545	$\geq 3,5e-4$
2	0,147053	$Ex(1.9624e - 6)$
3	0,275724	$N(1.02462e - 4 , 8.98885e - 11)$
4	0,036763	$N(2.03251e - 4 , 3.77632e - 11)$
5	0,009191	$N(3.09389e - 4 , 2.32225e - 11)$ .
6	0,275724	$W(1.44811e - 4 , 2.33299)$

Tabla 16 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA\_Q3

El tamaño de los paquetes, se obtienen de siete fuentes que proporcionan distintos valores. Donde dos son el promedio de paquetes mayores o iguales a 1514 Bytes y menores o iguales a 64 Bytes, dos fuentes determinísticas y dos fuentes con distribuciones Uniforme y Normal Logarítmica.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,707104	$\geq 1514$
2	0,006547	$\leq 64$
3	0,003037	946
4	0,008877	443
5	0,187712	$\log N(681.657 , 0.751534)$
6	0,086723	$U(65 , 1513)$

Tabla 17 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA\_Q3

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 4,0043e5$$

$$\mu = 1,2195e6$$

$$\rho = 0,3284$$

$$L_q = 2,5861$$

$$W_q = 6,4583e-6$$

$$W = 7,2783e-6$$

$$L = 2,9145$$

La utilización en esta cola es de 32% y los usuarios en la cola y el sistema es de 3.

#### 5.4.2.4. Interfaz 4 (CA\_Q4)

Esta cola se toma como la segunda de las dos interfaces que entran al CORE A y vienen desde la distribución. Esta cola tiene tres fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 6 ms. Las otras dos son distribuciones Normal y Normal Logarítmica.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,00835	$\geq 6e-3$
2	0,19833	$N(5.31012e-4, 2.39389e-8)$
3	0,79332	$\log N(2.08294e-3, 0.272373)$

Tabla 18 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CA\_Q4

El tamaño de los paquetes, se obtienen de cinco fuentes determinísticas que proporcionan distintos valores.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,00004	60
2	0,999778	66
3	0,000167	78
4	0,000008	228
5	0,000008	465

Tabla 19 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CA\_Q4

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 830,8729$$

$$\mu = 1,8939e7$$

$$\rho = 4,3870e-5$$

$$L_q = 8,4854e-10$$

$$W_q = 1,0213e-12$$

$$W = 5,2801e-8$$

$$L = 4,3871e-5$$

En esta cola se observa que tiene una muy poca utilización, se encuentra inferior a 1%. Se observa también que mantiene 1 paquete en el sistema y son de tamaños muy pequeños en su mayoría (66 Bytes).

#### 5.4.3. Modelo de colas CORE B - Distribución

En esta parte de la red se toma la cantidad de 3'541.896 paquetes TCP, que corresponden al 16 % del total de la muestra capturada, los cuales conforman 2 interfaces. En esta parte de la red, la cantidad de paquetes a modelar son muy pocos, ya que la mayor cantidad de paquetes capturados fueron del protocolo GRE (65 %). Otros protocolos con buena cantidad de paquetes capturados son QUIC (10%), que se corresponde a un protocolo usado por aplicaciones Google como lo es el navegador Chrome y TLSv1.2 (5 %), mientras que UDP solo corresponde al 1% del total capturado.

Para esta captura se debió tomar del lado del equipo de la Biblioteca, ya que del lado del CORE B no fue posible su captura. Esta captura se debió tomar de las interfaces que van de la distribución hacia el acceso, teniendo en cuenta que este equipo se comunica, directamente hacia el CORE B por 2 interfaces. Se modelan cuatro colas de la totalidad de interfaces.

##### 5.4.3.1. Interfaz 1 (CB\_Q1)

Esta cola se toma como una de las dos interfaces que salen del CORE B y van a la distribución. Esta cola tiene seis fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 350  $\mu$ s. Las otras cinco son distribuciones Normales, Exponencial y Rayleigh.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,125014	$\geq 3,5e-4$
2	0,222822	$Ex(1.68349e - 6)$
3	0,217388	$N(1.06731e - 4 , 1.96062e - 10)$
4	0,326082	$N(2.0409e - 4 , 3.16146e - 10)$
5	0,054347	$N(3.08808e - 4 , 6.94313e - 11)$
6	0,054347	$R(1.276e - 4)$

Tabla 20 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB\_Q1

El tamaño de los paquetes, se obtienen de seis fuentes que proporcionan distintos valores. Dos fuentes son el promedio de valores mayores o iguales a 1514 Bytes y menores o iguales a 66 Bytes, dos fuentes determinísticas y dos fuentes con distribuciones Normal Logarítmica y Valor Extremo.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,956616	$\geq 1514$
2	0,009967	$\leq 66$
3	0,016135	1464
4	0,000978	1484
5	0,008152	$\log N(5.61968, 0.77409)$
6	0,008152	$EV(1359.23, 136.944)$

Tabla 21 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB\_Q1

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 5,5106e5$$

$$\mu = 1,1244e6$$

$$\rho = 0,4901$$

$$L_q = 7,8317$$

$$W_q = 1,4212e-5$$

$$W = 1,5101e-5$$

$$L = 8,3218$$

Esta cola presenta una utilización de 56%, presentando 8 paquetes en el sistema. En esta cola la mayor parte de paquetes son de 1514 Bytes.

#### 5.4.3.2. Interfaz 2 (CB\_Q2)

Esta cola se toma como la segunda interfaz de las dos que salen del CORE B y van a la distribución. Esta cola tiene dos fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 5 ms. Las otra es una distribución Exponencial.



Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,030597	$\geq 5e-3$
2	0,969403	$Ex(4,84694e - 4)$

Tabla 22 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB\_Q2

El tamaño de los paquetes, se obtienen de seis fuentes que proporcionan distintos valores. Estas seis fuentes son determinísticas.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,612343	60
2	0,336181	66
3	0,045587	74
4	0,005362	82
5	0,000515	90
6	0,000012	751

Tabla 23 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB\_Q2

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 5,6595e4$$

$$\mu = 1,9984e7$$

$$\rho = 0,0028$$

$$L_q = 1,0118$$

$$W_q = 1,7878e-05$$

$$W = 1,7928e-05$$

$$L = 1,0146$$

La utilización en esta cola es muy baja, con un valor de 0,28% y el número de paquetes en el sistema es igual a 2.

#### 5.4.3.3. Interfaz 3 (CB\_Q3)

Esta cola se toma como una de las dos que entran al CORE B y vienen de la distribución. Esta cola tiene dos fuentes que dan el tiempo entre paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 5 ms. La otra es una distribución Exponencial.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,025063	$\geq 5e-3$
2	0,974937	$Ex(3.39483e - 4)$

Tabla 24 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB\_Q3

El tamaño de los paquetes, se obtienen de nueve fuentes que proporcionan distintos valores. Estas nueve fuentes son determinísticas.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,359176	60
2	0,46701	66
3	0,118959	74
4	0,028658	82
5	0,026153	90
6	0,000006	542
7	0,000013	609
8	0,000006	1110
9	0,000019	1514

Tabla 25 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB\_Q3

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 5,1675e4$$

$$\mu = 1,9139e7$$

$$\rho = 0,0027$$

$$L_q = 0,1730$$

$$W_q = 3,3470e - 6$$

$$W = 3,3993e - 6$$

$$L = 0,1757$$

La utilización en esta cola es muy baja, de aproximadamente 0,27%. Los paquetes en el sistema son de 1 y el tamaño de los paquetes en su mayoría es de 60 y 66 Bytes.

#### 5.4.3.4. Interfaz 4 (CB\_Q4)

Esta cola se toma como la segunda de las dos interfaces que entran al CORE B y vienen de la distribución. Esta cola tiene dos fuentes que dan el tiempo entre

paquetes, en la que una se toman como el promedio de paquetes mayores o iguales a 5 ms. La otra es una distribución Exponencial.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,172637	$\geq 5e-3$
2	0,827363	$Ex(4.3811e - 4)$

Tabla 26 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola CB\_Q4

El tamaño de los paquetes, se obtienen de dos fuentes que proporcionan distintos valores. Estas dos fuentes son determinísticas.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,958833	$\geq 1514$
2	0,041167	$\leq 66$

Tabla 27 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola CB\_Q4

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 1,0320e5$$

$$\mu = 1,8041e6$$

$$\rho = 0,0572$$

$$L_q = 0,5857$$

$$W_q = 5,6756e - 6$$

$$W = 6,2299e - 6$$

$$L = 0,6429$$

En esta cola la utilización es de 5,76%, donde los paquetes en la cola son de 1. El tamaño de la mayoría de los paquetes en esta cola es de 1514.

#### 5.4.4. Modelo de colas CORE B – Alcatel

En esta parte de la red se toma la cantidad de 983.847 paquetes TCP, que corresponden al 15 % del total de la muestra capturada, los cuales se toman de una sola interfaz. La gran mayoría de paquetes capturados fueron del protocolo GRE (76 %).

En esta parte de la red se tuvo un gran problema al momento de la captura, ya que al realizarla se descartó una gran cantidad de paquetes, que según Wireshark fue

de alrededor de 70 millones, en un periodo de 600 segundos. Esto se debe a que la interfaz maneja un *trouhghput* superior a 1 Gbps, y el equipo de cómputo tiene una tarjeta de red Gigabit Ethernet. Para realizar una mejor captura se requería una tarjeta de red de 10 Gigas, las cuales aún no son muy comerciales para equipos de cómputo del común.

#### 5.4.4.1. Interfaz 1 (ALU\_Q1)

Esta cola se toma como la interfaz que entra al *CORE B* y vienen del *CORE Alcatel* (Internet y Datacenter). Esta cola tiene una distribución Exponencial para el tiempo entre paquetes.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	1	$Ex(9.75712e - 4)$

Tabla 28 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola ALU\_Q1

El tamaño de los paquetes, se obtienen de dos fuentes con distribuciones Exponencial y Valor Extremo.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,446114	$Ex(95.1153)$
2	0,553886	$EV(1505.55, 28.5003)$

Tabla 29 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola ALU\_Q1

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 1,5442e4$$

$$\mu = 5,8661e4$$

$$\rho = 0,2632$$

$$L_q = 9,4124$$

$$W_q = 6,0955e - 4$$

$$W = 6,2660e - 4$$

$$L = 9,6756$$

Con los datos capturados se obtiene una muestra muy poco real, ya que muestra una utilización del 26%, cuando por conocimiento y datos sobre el gestor IMC, se tiene que esta interfaz se encuentra por encima del 1,25 Gbps. Aun así, se decide utilizar los datos capturados. Para el cálculo de la cola se opta por limitar la interfaz

a 1,25 Gbps y no tomar el real de 10 Gbps, ya que como se dijo anteriormente, la salida de Internet contratada por la universidad es de 1,2 Gbps y por ende la capacidad de 10 Gbps no sería el limitante.

#### 5.4.4.2. Interfaz 2 (ALU\_Q2)

Esta cola se toma como la interfaz que sale del CORE B y entran al CORE Alcatel (Internet y Datacenter). Esta cola tiene dos fuentes, con distribuciones Exponencial y Normal.

Fuentes Tiempo entre Paquetes		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,9375	$Ex(3.7997e - 5)$
2	0,0625	$N(9.99799e - 4, 3.43371e - 10)$

Tabla 30 - Fuentes Tiempo entre Paquetes cola ALU\_Q2

El tamaño de los paquetes, se obtienen de cinco fuentes, las cuales son determinísticas. Estas fuentes se tomaron como el promedio del total de muestras en cinco intervalos.

Fuentes Tamaño de Paquete		
Fuente	Probabilidad	Distribución
1	0,077161	$\leq 112$
2	0,05759	$paq > 112 \ \& \ paq \leq 1439$
3	0,040875	$paq > 1440 \ \& \ paq \leq 1484$
4	0,000337	$paq > 1486 \ \& \ paq \leq 1513$
5	0,824037	$\geq 1514$

Tabla 31 - Fuentes Tamaño de Paquetes cola ALU\_Q2

Datos obtenidos para la Cola:

$$\lambda = 1,641e5$$

$$\mu = 1,6161e5$$

$$\rho = 0,1016$$

$$L_q = 0,4707$$

$$W_q = 2,8675e - 6$$

$$W = 3,4862e - 6$$

$$L = 0,5722$$

En esta cola, no se aplicó la limitación a 1,25 Gbps. Esto debido a que el tráfico de subida es inferior por naturaleza y por medio de la información del IMC no se llegan a valores cercanos a una saturación aparente.

## 5.5. Cuellos de botella

Un cuello de botella es el nodo o elemento dentro de una red, que hace que el tiempo de respuesta de toda la red se maximice. En palabras más simples, es el elemento más débil de toda la red.

Al analizar una red de datos, se pueden encontrar múltiples elementos que la limitan. Estos elementos, son los cuellos de botella presentes en la red. Para resolver un cuello de botella o mejor, cambiar la condición de un elemento, para que deje de ser el eslabón más débil dentro de la red, no se debe necesariamente atacarse directamente este elemento, puede presentarse por consecuencia de otro elemento, que altera el comportamiento de este. El resolver un cuello de botella, hará que surja dentro de la red otro u otros cuellos de botellas, por lo cual antes de resolver un cuello de botella, se debe analizar y estimar que tanto va a aliviar la red y que tanto se impactarán los demás elementos.

Para la red en estudio, se realiza el cálculo para cada cola, asumiendo  $V_k = 1$  (número de visitas de un paquete en la cola), debido a que en condiciones normales un paquete no debe pasar dos veces sobre una misma interfaz.

Así el tiempo total de respuesta es:

$$R = \sum_{k=1}^n V_k R_k = 1,015e - 3$$

Ahora para determinar el cuello de botella de la red, se toma el valor que maximiza  $R$ , el cual es la cola ALU\_Q1 que corresponde a la cola que va del *CORE* Alcatel y entra al *CORE* B.

Este tráfico proviene del Datacenter y de Internet con destino la red de la Universidad. Aunque se tomó una muestra parcial del total de tráfico que realmente transita sobre esta interfaz, aun así, se puede observar como es el de mayor tiempo en el sistema y por ende el cuello de botella en la red.

Adicional, se tiene una segunda cola que está por encima de la mayoría de las demás colas. Esta cola es la AB\_Q2, que es la cola que va del *CORE* B al *CORE* A, el tráfico que cursa sobre esta cola en su mayoría corresponde a contenidos que

proviene de internet. Ya que como se dijo anteriormente, la forma como está desplegada la red, nos lleva a que la única salida y entrada de información hacia Internet, sea por estas interfaces.

En la Tabla 32, se da a conocer el valor obtenido para todas las colas:

Cola	$V_k$	$R_k$
CA_Q1	1	9,78e-5
CA_Q2	1	4,65e-5
CA_Q3	1	7,28e-6
CA_Q4	1	5,28e-8
AB_Q1	1	1,96e-6
AB_Q2	1	1,40e-4
AB_Q3	1	2,39e-5
AB_Q4	1	2,86e-5
CB_Q1	1	1,22e-5
CB_Q2	1	1,79e-5
CB_Q3	1	3,40e-6
CB_Q4	1	6,23e-6
ALU_Q1	1	6,27e-4
ALU_Q2	1	3,49e-6
$R = \sum_{k=1}^n V_k R_k$		1,015e-03

Tabla 32 - Tiempo de respuesta por cada cola

## 5.6. Modelo de red de colas sobre la red

Se realiza el cálculo de una red de Jackson abierta, tomando como entrada los valores obtenidos de tasa de servicio y tasa de arribo en el modelo de colas. Se toma esta red de colas como la conexión de las colas como se definió anteriormente en la Figura 4. Inicialmente se toman estas colas tipo M/M/1.

Para realizar el modelo se debe armar un arreglo de probabilidades, en el que la suma de cada fila no puede ser mayor a 1. Para calcular estas probabilidades, se realiza tomando la cantidad de paquetes cursados por una cola y se divide por la suma total de los paquetes cursados de las posibles colas.

Cada cola  $Q_j$ , tiene una probabilidad  $P_{ij}$  de pasar a la cola  $Q_i$ , como se muestra en la Tabla 33.

COLA		CA_Q1	CA_Q2	CA_Q3	CA_Q4	AB_Q1	AB_Q2	AB_Q3	AB_Q4	CB_Q1	CB_Q2	CB_Q3	CB_Q4	ALU_Q1	ALU_Q2
	$P_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CA_Q1	1														
CA_Q2	2														
CA_Q3	3							0,6541	0,3459						
CA_Q4	4							0,6541	0,3459						
AB_Q1	5	0,6215	0,3785												
AB_Q2	6	0,6215	0,3785												
AB_Q3	7									0,3616	0,3352				0,3032
AB_Q4	8									0,3616	0,3352				0,3032
CB_Q1	9														
CB_Q2	10														
CB_Q3	11					0,7553	0,2068								0,03784
CB_Q4	12					0,7553	0,2068								0,03784
ALU_Q1	13					0,721	0,1974			0,0431	0,0386				
ALU_Q2	14														

Tabla 33 - Tabla de probabilidades

Con este arreglo de probabilidades, se realiza el cálculo de la red de colas. Se obtuvieron los siguientes valores:

Cola	$j$	$\rho_j$	$E[Q_j]$	$E[D_j], (\mu s)$
CA_Q1	1	0,103100	0,1150	1,1347
CA_Q2	2	0,065500	0,0701	1,1343
CA_Q3	3	0,328400	0,4889	1,2209
CA_Q4	4	0,000044	0,00004	0,0528
AB_Q1	5	0,069000	0,0742	0,5792
AB_Q2	6	0,004100	0,0041	0,116
AB_Q3	7	0,297200	0,4229	1,6117
AB_Q4	8	0,151200	0,1781	1,2831
CB_Q1	9	0,131600	0,1516	1,0389
CB_Q2	10	0,006800	0,0068	0,0504
CB_Q3	11	0,002700	0,0027	0,0524
CB_Q4	12	0,057200	0,0607	0,5879
ALU_Q1	13	0,263200	0,3573	23,138
ALU_Q2	14	0,057000	0,0605	0,6562

Tabla 34 - Resultados obtenidos en cálculo de la Red de Colas

Tiempo total medio en la red:

$$E[D] = 3,4867 \mu s$$



Probabilidad de que la red este vacía:

$$P(Q_j = 0) = 0,1754$$

En la red modelada se puede observar que como se determinó en el análisis de cuellos de botella, la cola que más alto tiene el tiempo medio en la cola es ALU\_Q1, su utilización es de 26% con los datos modelados, aunque como se dijo la salida a Internet se encuentra con utilización al 100%, con los datos que se lograron capturar no se alcanza a llegar a esta.

Además, si se compara el total de los datos obtenidos, con los datos modelados para cada cola, se evidencia que las colas intermedias su tasa de arribo es menor. Esto se debe a que, en el desarrollo del trabajo, no se modelaron todas las interfaces y al no ser modeladas en su totalidad se hace evidente esta diferencia.

Analizando el tiempo total medio en la red, que es un valor muy bajo a pesar de que hablamos de interfaces de 10 Gbps en su mayoría que se encuentran en la red, es debido a lo anteriormente mencionado.

La probabilidad de que la red se encuentre vacía, es muy alta para ser el horario en que se realizaron las capturas, un 17% es una probabilidad muy alta.

Para realizar un mejor modelo de cómo se comporta esta red de colas, se realizan dos simulaciones de redes de colas, la primera trabajando las colas como una cola tipo M/M/1 y la segunda como colas tipo G/G/1. Esto con razón de determinar que los datos calculados y simulados para la red de colas M/M1 sean consistentes y al realizar el cambio en la simulación por colas G/G/1, sea una simulación válida.

En la Tabla 35, se puede observar los datos obtenidos para la primera simulación, la cual se toma realizando una simulación con datos de entrada los valores obtenidos para la tasa de arribo y la tasa de servicio, del modelo realizado para cada una de las colas.

Cola	$j$	$\rho_j$	$E[Q_j]$	$E[D_j], (\mu s)$
CA_Q1	1	0,103116	0,6313	1,1347
CA_Q2	2	0,065548	0,5723	1,1343
CA_Q3	3	0,328356	1,0455	1,2222
CA_Q4	4	0,000044	0,50025	0,0528
AB_Q1	5	0,069049	0,5473	0,5792
AB_Q2	6	0,004054	0,5033	0,116
AB_Q3	7	0,297234	0,9075	1,6112
AB_Q4	8	0,151207	0,6813	1,2833
CB_Q1	9	0,131638	0,6335	1,0389
CB_Q2	10	0,006757	0,5053	0,0504
CB_Q3	11	0,002700	0,5023	0,0524
CB_Q4	12	0,057203	0,5653	0,5879
ALU_Q1	13	0,263241	0,8374	23,132
ALU_Q2	14	0,057046	0,5573	0,6562

Tabla 35 - Resultados obtenidos en simulación de la Red de Colas M/M/1

Tiempo total medio en la red:

$$E[D] = 15,728 \mu s$$

Probabilidad de que la red este vacía:

$$P(Q_j = 0) = 0,1754$$

En la simulación se tiene que los valores obtenidos para  $E[Q_j]$ , son muy diferentes a los calculados, pero en cambio los datos obtenidos para  $E[D_j]$ , tienden a ser más parecidos y la diferencia es mínima.

En cuanto al tiempo medio total en la red, se aproxima más a un valor en condiciones reales de la red. Realizando un cálculo aproximado, un paquete de 1514 Bytes que se procese por una interfaz de 10 Gbps, demora aproximadamente un tiempo de 1,2  $\mu s$ , asumiendo que el paquete pase por tres interfaces y sea el único paquete en la red, su tiempo será de 3,6  $\mu s$ . Es el valor obtenido en los cálculos realizados, pero si le adicionamos la variable de carga real sobre cada nodo, este tiempo aumentará.

En la Tabla 36, se dan a conocer los valores obtenidos en la simulación de la red de colas, tomando cada cola como una G/G/1. Para esta simulación se, realiza la simulación de todas las colas y luego se realiza la conexión de estas, tal y como se trabajaron con las anteriores simulaciones.

Cola	$j$	$\rho_j$	$E[Q_j]$	$E[D_j], (\mu s)$
CA_Q1	1	0,042304841	0,532994924	0,1175
CA_Q2	2	0,548605147	0,512562814	0,7107
CA_Q3	3	0,033872324	0,512562814	0,3509
CA_Q4	4	0,000020800	0,502512563	0,0252
AB_Q1	5	0,007478636	0,502512563	0,3463
AB_Q2	6	0,023712337	0,502512563	0,1800
AB_Q3	7	0,040439806	0,512562814	0,3422
AB_Q4	8	0,017119283	0,502512563	0,2755
CB_Q1	9	0,030502254	0,522613065	0,1983
CB_Q2	10	0,000505115	0,502512563	0,0121
CB_Q3	11	0,001386992	0,502512563	0,0526
CB_Q4	12	0,005473189	0,502512563	0,5378
ALU_Q1	13	0,020047957	0,502512563	1,4546
ALU_Q2	14	0,066247341	0,512562814	0,8374

Tabla 36 - Resultados obtenidos en simulación de la Red de Colas G/G/1

Tiempo total medio en la red:

$$E[D] = 47,05 \mu s$$

Probabilidad de que la red este vacía:

$$P(Q_j = 0) = 0,3361$$

Al realizar el modelo con colas G/G/1, los valores son muy diferentes a los calculados y simulados con colas M/M/1. Los valores de  $E[Q_j]$  son similares a los simulados con colas M/M/1, pero  $E[D_j]$  varía mucho. Hay algo que resaltar y es que la cola ALU\_Q1, siempre tiende a comportarse de la misma forma en los tres casos, es que siempre va a ser la de mayor tiempo en el sistema. El tiempo medio en cada cola G/G/1, en la simulación, tienden a ser de valores muy inferiores que para las colas M/M/1, por la razón que el proceso exponencial en la cola M/M/1 de la tasa de servicio, hace que la máxima probabilidad sea para la tasa de servicio más bajas y esta probabilidad decrece exponencialmente entre más altas sean estas tasas, en cambio en la cola G/G/1, la probabilidad no decrece

exponencialmente, sino que puede aumentar, en valores de tasas de servicio más altas. Esta es la principal razón por la cual los valores tienden a ser tan diferentes entre ambas simulaciones.

Cuando se realiza una simulación del modelo con colas M/M/1, se tiene que el comportamiento de las tasas de servicio y de arribo sean de un comportamiento determinado, por así decirlo. En cambio, al realizar el modelo con colas G/G/1, se tienen múltiples fuentes que cambian el comportamiento de la red de colas. Esto nos lleva a entender que el comportamiento de las colas G/G/1 modelizadas en la red, son muy dependientes de la cantidad de paquetes simulados. Se realiza con el mayor posible y la simulación arroja el mejor resultado expuesto en la Tabla 36.

## CONCLUSIONES

La caracterización y análisis de desempeño realizado a la red de datos de la Pontificia Universidad Javeriana, da cuenta de varios aspectos que tal vez no se tienen presentes en el saber general de los administradores y usuarios de la red. Estos aspectos nos llevan a concluir que:

1. La red de datos la Pontificia Universidad Javeriana, es una red en la que el tráfico que cursa sobre esta en su mayoría es interno. Tráfico que se relaciona con equipos de seguridad y de servicios, que ofrece la institución dentro de las instalaciones.
2. Esta red tiene su mayor demanda en los días hábiles de lunes a viernes en horario de 11 de la mañana a 12 del mediodía, donde la mayor parte del tráfico que se atiende en capa de transporte es TCP y cuando inicia la jornada académica, aumenta considerablemente este tráfico.
3. La presencia del protocolo de encapsulamiento GRE es de gran relevancia dentro de la red, se presenta en una mayor cantidad que UDP, aumenta y únicamente está presente en la red durante la jornada académica de la Universidad. El tráfico de este protocolo se evidenció en gran cantidad en las capturas realizadas y en el gestor IMC.
4. Los protocolos de capa de aplicación que más demandan tráfico dentro de la red corresponden a HTTP y HTTPS.
5. Los nodos de *CORE* no tienen una distribución definida para los paquetes que arriban (tamaño y tiempo entre llegadas), se comportan como la suma de varias fuentes, cada una con su propia distribución.
6. Al realizar un análisis teórico de la red permitió encontrar el modelo de colas que mejor se ajusta a la red. El modelo de colas aplicado sirvió para dar cuenta de la demanda real de la red de *CORE*. El modelo realizado sirve para realizar un trabajo posterior, donde se necesite relacionar estos elementos y su comportamiento.
7. Es una red con tendencia a tener una ocupación considerable. Con el modelo de colas realizado se pudo observar que, si bien no se encuentra en un valor cercano a un estado de congestión, la ocupación se puede presentar hasta valores cercanos del 50%.
8. Dentro del análisis de colas, el cuello de botella presente en la red es la salida a Internet contratada. Se pudo determinar, gracias al modelo de colas realizado, que la ocupación es más alta en esta conexión y es el elemento que más impacta el desempeño del servicio para un usuario final.

9. El modelo de red de colas aplicado a la red *CORE* de la Universidad, se modelizó como una red de Jackson abierta, la cual por las características de las colas de cada equipo y por el número de colas incluidas en el modelo, no se obtiene un modelo que aplique en su totalidad a la red de la Universidad, como se pretendía al iniciar este trabajo. Los valores obtenidos al realizar cálculos y simulaciones, lleva a que el modelo de redes de Jackson no se ajuste completamente a esta red.

Para una futura continuación de este trabajo se recomienda:

- Mejorar el modelo de colas, con la totalidad de las interfaces que llegan al *CORE*. Esto permitirá establecer mejor los modelos realizados.
- La red de colas que se debe trabajar, debe ser abierta como se trabajó en este documento e incluir la totalidad de las colas de todas las interfaces, esto con el ánimo de que las fuentes estén completas y el modelo se ajuste mejor a la realidad.
- Usar en lo posible un equipo de cómputo con una mejor capacidad de procesamiento y una interfaz 10 Gigabit Ethernet.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alberto Dainotti, A. P. (2006). A Packet-level Characterization of Network Traffic. Napoli, Italia: 11th International Workshop on Computer-Aided Modeling, Analysis and Design of Communication Links and Networks.
- [2] Boudec, J.-Y. L. (2015). Performance Evaluation of Computer and Communication Systems. EPFL.
- [3] Haitao Wang, L. S. (2013). Study On Network Measurement Technologies And Performance Evaluation Methods. Jiangsu, China: Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC).
- [4] Juan Li, Y. Q. (2011). A New Method of Network Bottleneck Diagnosis. Beijing: 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011) and Workshops.
- [5] V. Bolotin, J. Coombs-Reyes, D. Heyman, Y. Levy and D. Liu. IP Traffic Characterization for Planning and Control. AT&T Labs, Middletown, NJ U.S.A.
- [6] Zukerman, M. (2000). Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models. City University of Hong Kong: EE Department.
- [7] Xiaoqiao (George) Meng, Starsky H.Y. Wong, Yuan Yuanz, Songwu Lu (2.004). Characterizing Flows in Large Wireless Data Networks. University of California & University of Maryland. MobiCom '04 Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking.
- [8] Thomas Bonald, M. F. (2011). Network Performance Analysis. London, UK: ISTE.
- [9] U. Narayan Bhat (2008). An Introduction to Queueing Theory - Modeling and Analysis in Applications. Dallas, TX, U.S.A. Birkhäuser