



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Modelo de Control de Congestión para Redes IP de area Local

## Congestion Control Model for IP Local area Networks

**Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Bogotá, Colombia  
2012

# Modelo de Control de Congestión para Redes IP de área Local

## Congestion Control Model for IP Local area Networks

**Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes**

Tesis como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Telecomunicaciones  
**Magister en Ingeniería Telecomunicaciones**

Director:  
Ph.D. Luis Fernando Niño

Línea de Investigación: Redes de Datos  
Grupo de Investigación: Inteligencia Artificial LISI  
Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Bogotá, Colombia  
2012

## Dedicatoria

A mis padres por ser lo mejor que tengo.  
A mi hermana Laura.

# Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios, por permitirme vivir esta etapa de mi vida, a mi asesor profesor Luis Fernando Niño, su apoyo y confianza en mi trabajo ha sido un apoyo constante para el desarrollo de esta investigación, al ingeniero Erick Ardila, sus enseñanzas, guía y trabajo fueron el pilar para todo el desarrollo físico de las pruebas y el laboratorio.

Agradezco a los ingenieros Ruben Amortegui y Luis Cobo, su ayuda fue primordial para el desarrollo a buen término de los *script*, a mis amigos y compañeros de trabajo que son un ejemplo a seguir en todos los aspectos, a Deisy Cifuentes, por su apoyo y consejos que me permite saber que no hay nada imposible en la vida.

A todas las personas que han estado en mi formación profesional y personal, amigos de universidad, amigos de la especialización, compañero de la maestría, alumnos y profesores, todos ellos son parte importante de mi quehacer diario, son una motivación para ser cada vez mejor, y dar el cien por ciento de mi ser.

Gracias, gracias, gracias, es lo único que puede decir por que todo es posible.

Joaquín F Sánchez

## Resumen

En el siguiente documento se expone el diseño e implementación de un control de congestión para una red de datos. Primero se hace una contextualización del problema de la congestión en las redes de datos y de como este fenómeno afecta el desempeño de la red. Luego se muestra cuales han sido las principales formas de controlar el fenómeno de la congestión; la mayoría de las soluciones se basan en la modificación de los protocolos existentes, como TCP, pero estas modificaciones a los protocolos conllevan una serie de adaptaciones de los diferentes elementos de la red. Utilizando herramientas de inteligencia artificial, en este caso un controlador difuso, se diseña el modelo de control, que funciona haciendo una asignación del ancho de banda de los puertos de un conmutador (*switch*). Para comprobar el funcionamiento del modelo se implementa un ambiente controlado que emula las características de la red LAN corporativa de la Universidad Nacional. Se muestran los resultados obtenidos, en donde se ve el funcionamiento del modelo y la versatilidad del ambiente controlado.

**Palabras clave:** Control de congestión, lógica Difusa, Redes de Datos, TCP, IP, Asignación de recursos .

## Abstract

This work presents the design and implementation of a congestion control for a data network. First a contextualization of congestion in data networks and how this phenomenon affects the network performance is presented. Then the main ways to control the phenomena of co-management is presented. Most of the solutions are based on the modification of existing protocols, such as TCP, but these modifications to protocols entail a series of adjustments to the various network elements. Using artificial intelligence tools, a fuzzy controller is designed; the control model works by an allocation of the bandwidth of a switch port. To validate the operation of the model, a controlled environment that emulates the characteristics of the corporate LAN at the National University was implemented. The results obtained demonstrated the advantages of the model performance and the versatility of the controlled environment.

**Keywords:** Congestion control, Fuzzy Logic, Networking, TCP, IP, Resource Allocation

# Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Resumen</b>	<b>vii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Congestión en redes de datos</b>	<b>5</b>
2.1. Principales causas de la congestión . . . . .	6
2.2. Formas de control de congestión . . . . .	8
2.2.1. Control de congestión con TCP . . . . .	8
2.2.2. Técnicas alternas para control de congestión . . . . .	11
<b>3. Marco de la investigación</b>	<b>16</b>
3.1. Problema de investigación . . . . .	16
3.2. Ambiente de desarrollo de la investigación . . . . .	17
3.3. Efectos de la congestión sobre la red LAN . . . . .	19
3.4. Detección de la congestión . . . . .	20
<b>4. Modelo de control de congestión</b>	<b>22</b>
4.1. Modelo de control de congestión propuesto . . . . .	22
4.2. Diseño del controlador difuso . . . . .	24
4.2.1. Modelo de controlador difuso . . . . .	25
4.2.2. Variables del controlador difuso . . . . .	26
4.2.3. Motor de inferencia y lógica de decisiones . . . . .	28
4.2.4. Concesor . . . . .	30
4.3. Implementación del controlador de congestión . . . . .	33
4.4. Asignación de ancho de banda . . . . .	35
<b>5. Validación Experimental</b>	<b>38</b>
5.1. Descripción del ambiente controlado . . . . .	40
5.2. Resultados de las pruebas de congestión . . . . .	42
5.3. Pruebas modelo de control de congestión . . . . .	45
5.4. Análisis de resultados . . . . .	47

---

<b>6. Conclusiones y perspectivas</b>	<b>54</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	54
6.2. Recomendaciones . . . . .	55
<b>A. Anexo: Script de PHP Controlador</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>60</b>

# Lista de Figuras

2-1. Concepto de congestión . . . . .	6
2-2. Resumen de las consecuencias de la congestión . . . . .	7
2-3. Diagrama de estado de una conexión TCP . . . . .	10
3-1. Estructura general red LAN corporativa . . . . .	17
3-2. Concepto de congestión . . . . .	18
4-1. Esquema global detección y control de congestión . . . . .	22
4-2. Esquema controlador difuso . . . . .	23
4-3. Esquema controlador . . . . .	25
4-4. Modelo controlador difuso . . . . .	25
4-5. Función membresía TR . . . . .	26
4-6. Función membresía PU . . . . .	27
4-7. Función membresía EC . . . . .	28
4-8. Función membresía PP . . . . .	29
4-9. Función de membresía velocidad puerto . . . . .	30
4-10. Esquema búsqueda árbol . . . . .	33
4-11. Esquema para la implementación del controlador de congestión . . . . .	34
4-12. Diagrama de flujo controlador de congestión . . . . .	35
5-1. Arquitectura del laboratorio de pruebas . . . . .	38
5-2. Sincronización de equipos . . . . .	41
5-3. Secuencia de las pruebas . . . . .	42
5-4. Comportamiento red IBUN horario normal . . . . .	43
5-5. Comportamiento red ingeniería horario normal . . . . .	44
5-6. Comportamiento red economía horario normal . . . . .	45
5-7. Comportamiento red unisalud horario normal . . . . .	46
5-8. Comportamiento red IBUN fin de semana . . . . .	47
5-9. Comportamiento red ingeniería fin de semana . . . . .	48
5-10. Comportamiento red economía fin de semana . . . . .	49
5-11. Comportamiento red unisalud fin de semana . . . . .	50
5-12. Control sobre la red de economía . . . . .	51
5-13. Control sobre la red IBUN . . . . .	51



---

5-14.Comparación economía . . . . .	52
5-15.Comparación IBUN . . . . .	52
5-16.Comparación independencia de congestión . . . . .	53
Bibliografía . . . . .	60

# Lista de Tablas

4-1. Resultados del controlador difuso . . . . .	31
4-2. Resultados del controlador difuso con PP . . . . .	32
5-1. Descripción de equipos del ambiente controlado . . . . .	39
5-2. Subredes de ambiente controlado . . . . .	39
5-3. Puertos del conmutador . . . . .	40
5-4. Programación de mediciones . . . . .	41
Bibliografía . . . . .	60

# 1. Introducción

La congestión es un fenómeno inherente a las redes de datos, de manera que se han planteado varias soluciones para afrontar este problema, empezando con la modificación de los protocolos de transporte, el protocolo que se ha implementado de manera gradual con el crecimiento de las redes de datos como Internet es TCP (*Transport Control Protocol*); sobre este protocolo se han diseñado varias versiones que mejoran el funcionamiento de TCP. En resumen lo que se buscan con las diferentes versiones sobre el protocolo es optimizar el tamaño de la ventana de transmisión y mejorar los tiempos de respuesta.

El comportamiento de las confirmaciones de paquetes que son recibidos exitosamente entre dos entidades es el inicio de una serie de interacciones que se ejecutan sobre los diferentes nodos de una red de datos; estas interacciones a su vez generan un impacto directo sobre varias variables de interés, tales como tiempos de retardos, tamaño de los *buffers*, procesamiento de los elementos de red y anchos de banda de los enlaces entre los nodos. Las variables anteriormente mencionadas son algunos recursos que se manejan en redes de datos IP. (*Internet Protocol*).

Haciendo un compendio de las variables que intervienen en el comportamiento de las redes de datos se encuentran los recursos, el desempeño y los usuarios. El comportamiento se define como se relacionan estas variables; entre más usuarios tiene una red más recursos necesita y esto impacta directamente el desempeño. Entonces una forma de combatir el bajo desempeño de una red que se traduce en congestión es hacer un dimensionamiento adecuado de los recursos disponibles.

Los procesos que se deben realizar para la asignación de recursos deben ser soportados por varias técnicas de optimización y varias herramientas matemáticas, las cuales ayuden a diseñar nuevas formas de diseño de redes de datos. Sin embargo, también se pueden explorar técnicas como la inteligencia artificial, que es una poderosa herramienta para solucionar problemas de alta complejidad [21]. Los esfuerzos que se han hecho sobre el campo de la inteligencia artificial aplicada a las redes IP [7] no son pocos, es así que hay múltiples aplicaciones que han sido implementados; por enumerar algunos se encuentra la distribución de los elementos de la red en topologías óptimas, algoritmos de enrutamiento de paquetes por enjambres de nodos interconectados entre sí, optimización de la venta de asignación de paquetes en el protocolo de transporte TCP.

Una de las aplicaciones específicas de la inteligencia artificial sobre TCP es TCP FUZZY, en la cual se aplica la lógica difusa en la asignación de la venta de paquetes a transmitir entre dos nodos de red. Pero todo esto tiene una implicación sobre el diseño y ensamble de los protocolos, que son fundamentales en la comunicación entre los diferentes elementos de red. Para cada función específica existe un protocolo diseñado para ese fin. Hay varias implicaciones en hacer cambio sobre los protocolos por ejemplo, el de hacer cambios en el hardware de los elementos de red, intromisiones sobre los esquemas de seguridad e incompatibilidades entre los diferentes fabricantes de los elementos activos de red como enrutadores y conmutadores de red [16].

Teniendo en cuenta los argumentos anteriores es interesante pensar en un modelo de control de congestión que pueda tener una flexibilidad de implementación sobre diferentes escenarios de una red de datos; otro aspecto importante que se puede considerar es que el modelo de control tenga poca intrusión sobre los elementos de red, es decir que no se necesite hacer una modificación sobre el protocolo de transporte. Para desarrollar este modelo de control, se cuenta con variables, funciones y protocolos ya existentes de diferentes sistemas operativos de redes de comunicaciones. Es así que utilizando un protocolo flexible como SNMP (*Simple Network Management Protocol*) y programas que ejecutan lotes de comandos (como *script* en linux) se puede construir e implementar un modelo que controle la congestión en una red de datos haciendo la asignación de recursos.

Teniendo las herramientas definidas para un nuevo modelo de control de congestión se puede seguir un esquema para la implementación. Este esquema puede ser similar a un modelo de gestión de red, que se basa en el paradigma gestor agente, y cuenta con interacciones de una base de datos de administración. El modelo se basa en un gestor que se encarga de hacer el proceso de control, el cual envía un mensaje a un agente, el cual se encarga de ejecutar la acción; para el caso de esta investigación la acción del agente es hacer la asignación de recursos, particularmente en este trabajo el recurso que se asigna es el ancho de banda.

Como se quiere hacer la asignación de ancho de banda, se utiliza la inteligencia artificial para este fin. Particularmente se desarrolla un esquema de controlador difuso, es un sistema que se basa en los modelos de control clásico, pero utilizando los elementos del controlador difuso como una base de conocimientos y un motor de inferencia.

Después de hacer la implementación del modelo de control de congestión, se debe realizar la medición de que tan conveniente resulta el modelo para la red de datos en donde se implementa. Para realizar dicha medición hay que evaluar las variables que se tuvieron en cuenta en la implementación del modelo de control de congestión, buscando los mejores resultados posibles. Se espera que la implementación del modelo no afecte las variables de la red, si no

que mejore su desempeño.

En el capítulo 2 se hace una revisión de algunos conceptos sobre congestión en redes de datos y cuales han sido las diferentes formas de enfrentar el problema; también se expone el problema que se resuelve en esta investigación. En el capítulo 3 se expone el modelo de control de congestión que se formula a través del funcionamiento de un controlador difuso, el cual fue diseñado usando lógica difusa. Luego se describe la implementación del modelo en un ambiente controlado. En el capítulo 4 se presentan en detalle los experimentos realizados, los cuales se dividen en dos partes: la simulación de un escenario de congestión, y la simulación del modelo de control de congestión. Finalmente, en el capítulo 5 se escriben las conclusiones y recomendación de esta investigación.

## 2. Congestión en redes de datos

La congestión en redes de datos es un fenómeno que se ha vuelto inherente a esta tecnología, y se presenta en varias partes de la arquitectura de red. Empezando en los tamaños de los *buffers* de los enrutadores (*routers*), que son los encargados de hacer el enrutamiento de los paquetes. Estos *buffers* son limitados y se pueden modelar como un tipo de cola M/M/1/N/∞ en donde el tamaño de la cola es  $N$ , que es un recurso limitado, de este modo cuando la cola se llena, se empieza a presentar una consecuencia conocida como pérdida de paquetes, que se puede medir como probabilidad del bloqueo.

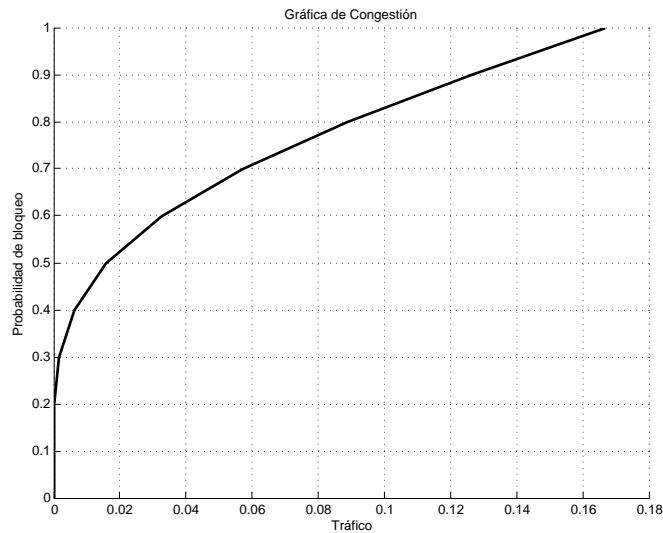
$$P_B = P_N = \frac{(1 - \rho)\rho^N}{1 - \rho^{N+1}} \quad (2-1)$$

En esta ecuación 2-1  $P_B$  representa la probabilidad de bloqueo de las llamadas telefónicas en una red conmutada o la probabilidad de descarte de paquetes.  $\rho$  es la intensidad de tráfico que cursa por las líneas telefónicas o flujo de paquetes.  $N$  es el número de canales o tamaño de los *buffers* en los sistemas de conmutación.

La ecuación 2-1 representa la probabilidad de bloqueo de un modelo utilizado en el inicio de los sistemas de telefonía. En términos matemáticos modela el valor de la calidad de servicio que se podría dar a una red, dependiendo del tamaño del *buffer*. En el transcurso de la evolución de las redes de telecomunicaciones y específicamente redes de datos, la ecuación 2-1 se ha adaptado para dimensionar los recursos y satisfacer las necesidades de demanda los usuarios.

Sin embargo, el tamaño de los *buffers* no es el único recurso que interviene en la congestión de las redes de datos, también está el nivel de procesamiento de los elementos de red y la capacidad de transportar información como, el ancho de banda de los enlaces entre los nodos. El ancho de banda es uno de los recursos más importantes en las redes de datos que afectan directamente la congestión. Esto se debe a que el ancho de banda es el aspecto principal en donde el transporte de paquetes se hace tangible y sobre el cual se puede medir la degradación del servicio.

Como se puede observar en la figura **2-1**, la congestión se representa como una curva acumulativa que llega a un punto límite y después de ese punto límite se establece en un solo valor. Este es un ejemplo típico de como un canal se estabiliza al llegar al máximo de su capacidad.



**Figura 2-1.:** Concepto de congestión

Este comportamiento se puede replicar no solo en el caudal de los enlaces, también en las diferentes secciones de empalme de los enlaces de datos; por ejemplo, los cuellos de botella que se forman cuando existe el traspaso de la red de distribución a la red de acceso, ya que por arquitectura se cambia de medio de transmisión; como es el caso de las redes HFC (*Híbrida Fibra Coaxial*) que combinan la fibra óptica con los cables coaxiales.

## 2.1. Principales causas de la congestión

La congestión puede estar causada por problemas en los canales de datos, los cuales pueden ser físicos o lógicos. Los problemas físicos son más fáciles de corregir, ya que puede ser el cambio del medio de transmisión o un ajuste a los conectores de los elementos de la red, pero los problemas lógicos son aquellos que se presentan internamente en los dispositivos de red, por ejemplo el mal dimensionamiento de los *buffers* en los enrutadores, lo cual hace que se descarten paquetes.

Al hacer una revisión de las arquitecturas más comunes de las redes de datos, es en los enrutadores en donde se presentan la mayoría de los problemas lógicos que causan la congestión. En estos dispositivos se están corriendo varios protocolos que tienen la misión específica de la transmisión de los datos. La administración de los tamaños de los *buffers* es una tarea crítica, ya que de esto depende el porcentaje de paquetes descartados. Por otro lado se encuentra la regulación de las velocidades de transmisión y de recepción, así como la sincronización de los equipos. Si la transmisión no se hace en el mismo rango del receptor, el porcentaje de paquetes perdidos aumentará.

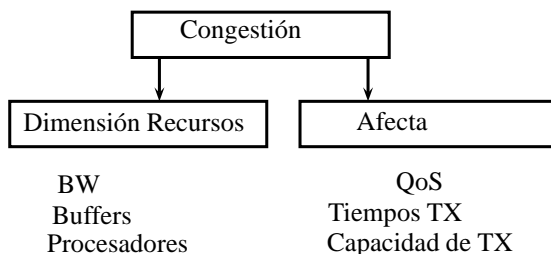
El ancho de banda o la administración del ancho de banda es otro factor que contribuye a la congestión, ya que este es el recurso más sensible de las redes de datos. Es por este recurso donde se presentan flujos aleatorios que dependen de las diferentes aplicaciones ejecutadas en la red. Si los flujos son grandes y el ancho de banda pequeño, el descarte de los paquetes aumenta; si la situación es a la inversa, los paquetes descartados serán menores. Por consiguiente, la asignación de ancho de banda es una de las técnicas más poderosas para hacerle frente a la congestión; sin embargo, el ancho de banda es un recurso limitado, que en las redes de datos se traduce en costos de implementación[6].

Varios autores [11, 14] han llegado a una concertación de cual es la definición de congestión, la cual se puede resumir en la ecuación 2-3

$$\Sigma Demanda > Recursos Disponibles \quad (2-2)$$

La ecuación 2-3 describe de manera sencilla el concepto de congestión si la demanda es mayor a los recursos disponibles. Cuando se habla de recursos se refiere a ancho de banda, tiempos de respuesta, tamaño de los *buffers*, nivel de procesamiento de los procesadores de los elementos de red entre otros. Aunque la ecuación 2-3 no es la única forma de representar congestión en las redes de datos, si da una idea de como ejercer el control de congestión en una red. Una de las posibles soluciones a la congestión es el dimensionamiento de recursos en redes de datos.

En la figura 2-2 se representa como la congestión se puede dividir en dos factores principales, uno que es el dimensionamiento de recurso y el otro son las características que son impactadas por la congestión.



**Figura 2-2.:** Resumen de las consecuencias de la congestión



## 2.2. Formas de control de congestión

### 2.2.1. Control de congestión con TCP

Los modelos de control de congestión se han concentrado sobre el protocolo de la capa de transporte TCP [6, 5, 18], de manera que las técnicas más utilizados son el control de flujo por ventana deslizante, la técnica AQM (gestión de colas activas) [15], control de admisión, y la gestión de tiempos de retardo. Todo esto se hace a través de diferentes cambios o versiones al protocolo TCP, empezando por **TCP Tahoe** y **TCP Reno**, los cuales modifican la retransmisión de los paquetes *ACK* o confirmaciones.

Estas modificaciones a TCP han llevado a estudiar nuevas formas de hacer el control de congestión, que se han concentrado en los estados de transmisión, los cuales definen la forma en que se ejecuta el algoritmo. Esta secuencia se puede modificar de acuerdo a las necesidades del control que se quiera realizar sobre el flujo de los datos. Por ejemplo, en [6] los estados del TCP definen como el algoritmo de control de congestión cambia, empezando por el estado arranque lento (*slow start*) para luego pasar al estado prevención de la congestión (*congestion avoidance*). Durante la transición el tamaño de la ventana de retransmisiones se ve afectada por el estado del enlace.

La idea principal de esta investigación es plantear un modelo de control, sin hacer ningún cambio en el protocolo, ya que conlleva a realizar un cambio en los tiempo de transmisiones, confirmaciones y retransmisiones de los elementos de red. Estos cambios podrían empeorar el comportamiento de la red LAN. Por tal motivo, se plantea un modelo que no cambie el protocolo en su estructura, sino que ayude a tratar el comportamiento de los elementos de la red, para que se adapten a los flujos de datos que se producen por los comportamiento aleatorios de los usuarios.

A continuación se describen los aspectos fundamentales del control de congestión implementado por el protocolo TCP, de modo que se pueda tener una base de como es el funcionamiento del modelo de control de congestión propuesto en esta investigación.

La RFC 793 que describe el funcionamiento de TCP donde la ventana de control de congestión no es dinámica. Las primeras variaciones que se implementan sobre el protocolo TCP es el ajuste de las tasas de transferencia al nivel de congestión actual que se presente en la red de datos. El objetivo de hacer esta reducción de la tasa de transferencia, es reducir el número de paquetes perdidos en los enlaces. Los siguientes pasos de cambio que se da sobre el protocolo TCP da lugar a TCP Tahoe el cual modifica los algoritmos de arranque lento (*slow start*), prevención de la congestión (*congestion avoidance*) y retransmisión rápida. En TCP Reno se hace otra modificación que consiste en TCP Tahoe pero con una variación en

el algoritmo de recuperación rápida [22].

Las funciones principales que cumple el arranque lento y control de congestión son las de controlar las tasas de transferencia de paquetes generados y determinando la capacidad disponible de los enlaces de la red. Pero para lograr esto se hace un proceso sobre la ventana de congestión que por convención se le llama *cwnd*, la cual se define como el número de bytes que se puede transmitir sin necesidad de confirmación. Otro elemento a tener en cuenta es la ventana de recuperación llamada *rwnd*, la cual consiste en el número de bytes que el receptor tiene la capacidad de recibir de una fuente dada [1, 23, 19].

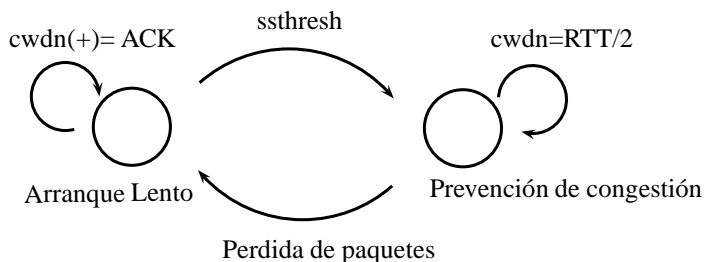
Para una conexión de dos elementos de una red, la actividad de transporte de información se puede describir de la siguiente manera:

- El transmisor asigna a *cwnd* el tamaño máximo.
- El transmisor inicia un temporizador de las retransmisiones
- El algoritmo de arranque lento envía un paquete o segmento si un *ACK* es recibido, entonces el valor de *cwnd* es incrementado en un segmento.
- Luego dos segmentos pueden ser enviados y causar dos *ACK*
- Por cada *ACK* *cwnd* es incrementada en un segmento.
- El proceso de crecimiento de la ventana de congestión es exponencial y permanece con este ritmo hasta que se alcance el valor acotado por *rwnd* y se alcance el umbral establecido por el *ssthresh*.
- Se ejecuta el algoritmo prevención de la congestión cuando se alcanza el valor *ssthresh* y se incrementa el valor de *cwnd* en un segmento adicional, pero esta vez por cada *ACK* y por cada *RTT*.
- Cuando ocurre pérdida de paquetes se regresa a arranque lento: se establece *cwnd* a un segmento y *ssthresh* a la mitad del tamaño de la ventana

Lo que se pretende con los dos algoritmos es incrementar la tasa de generación de tráfico mientras no haya problemas y la capacidad de salida lo permita.

Un diagrama de estados puede dar una ayuda a comprender un poco mejor el funcionamiento de una conexión que está gobernada por TCP. Esto se puede observar en la figura **2-3**

Otros dos algoritmos que se han implementado en la evolución de TCP son retransmisión rápida (*fast retransmission*) y recuperación rápida (*fast recovery*). Estos dos algoritmos ayudan a TCP a detectar y reparar paquetes perdidos. Para hacer la reparación de paquetes se deben seguir los siguientes pasos:



**Figura 2-3.:** Diagrama de estado de una conexión TCP

- Se reciben tres confirmaciones duplicadas
- Cuando se infiere la pérdida, la recuperación rápida hace que el transmisor envíe nuevamente el paquete que parece ser el perdido, sin tener cuenta el temporizador.
- Después de la retransmisión rápida, la recuperación rápida consiste en controlar la transmisión de nuevos paquetes hasta que llegue un *ACK* que no esté duplicado.
- Cuando un nuevo *ACK* llega, se establece *cwnd* al umbral definido al inicio de la transmisión. Si no ocurre una nueva llegada, el transmisor permanecerá en fase recuperación rápida hasta que el temporizador expire.

Estos algoritmos permiten la recuperación rápida de paquetes que se han perdido esporádicamente. Sin embargo, pueden haber problemas para la recuperación de múltiples paquetes.

Teniendo en cuenta lo anterior se crearon diferentes alternativas de TCP, las cuales han sido implementadas en redes LAN y redes WAN, de manera que se han obtenido mejores resultados en el desempeño de las diferentes redes. A continuación se enumeran algunas de las variaciones más populares de TCP [18, 17].

1. TCP Vegas: extiende el mecanismo de TCP Reno de retransmisiones. Se utiliza una constante de estimación de *RTT* para decidir la retransmisión en los dos sentidos. Utiliza una marca de tiempo.
  - Cuando un *ACK* duplicado sea recibido se observa si el intervalo de tiempo desde que el paquete fue enviado es superior al *timeout* del temporizador.
  - Si el *ACK* no es duplicado, se calcula nuevamente; si el intervalo de tiempo es superior al *timeout*, se considera que otros paquetes pueden haberse perdido y se retransmite dicho paquete.
  - Se reduce *cwnd* si la retransmisión del segmento ocurrió después de la última reducción.

2. TCP SACK: modifica las fases de retransmisión rápida y recuperación rápida; para que pueda abordar múltiples paquetes perdidos en una única ventana, se hace un reconocimiento selectivo.
3. TCP New Reno: se implementa la variable *recovery* para distinguir un *ACK* completo de uno incompleto
4. Saclable TCP: se basa en una métrica de pérdida de paquetes y para cada *ACK* recibido en un *RTT* se le asigna a *cwnd* el valor actual más un valor de 0,01. Si se produce la primera detección de congestión, se desarrolla la siguiente operación:

$$cwnd = cwnd - [0,125 * cwnd] \quad (2-3)$$

5. FAST TCP: se utiliza el retardo calculado entre los enlaces como medida de congestión. El retardo de la cola de los diferentes elementos de la red puede ser mejorado estimando la probabilidad de pérdidas. FAST TCP asume que la dinámica del retardo en la cola tiende a comportarse en relación a la capacidad de la red. También se eliminan las oscilaciones de nivel de paquete, estabilizando la ventana cerca del punto donde el *buffer* es grande y el retardo pequeño.

### 2.2.2. Técnicas alternas para control de congestión

Existen diversas formas de afrontar el control de congestión en redes de datos, se hace una inspección a trabajos con diferentes temáticas que se relacionan con el control de congestión. Los trabajos se pueden clasificar, basados en estabilidad, retardos, ancho de banda y algoritmos de enrutamiento. Estos temas son relevantes, ya que son parámetros que afectan de manera importante el comportamiento de las redes de datos, además de ser las características que definen el desempeño de la red. Se describen trabajos particulares como por ejemplo, la evaluación de la estabilidad de una red al ejercer control de congestión, otros tratan de tomar en cuenta como al controlar el ancho de banda, tiempos de retardo y tiempos de transmisión para hacer un control efectivo de congestión.

En [20] se propuso un método de optimización en el control de flujo de las redes de datos. El trabajo parte de hacer un tratamiento matemático de un problema de optimización que trata de dividir un problema global en distintos problemas particulares. Se hace una comparación entre dos métodos distintos, uno con algoritmos síncronos y otro con algoritmos no síncronos; la diferencia entre estos algoritmos está en como son tratadas las fuentes generadoras de tráfico y los enlaces de la red. Por un lado los algoritmos síncronos se basan en fuentes con CBR (*Constant Bit Rate*) o fuentes con una tasa constante de bits; por otro lado, los algoritmos asíncronos trabajan con fuentes ABR en donde el tráfico no es constante. Esto hace que ocurran cambios en la estructura del planteamiento en el problema de optimización. Se

utilizan las técnicas de optimización de Lagrange, para solucionar el problema. Después de ejecutar los dos algoritmos, se hace un análisis de diferentes aspectos relevantes en el control, como justicia y variabilidad del tiempo en el ambiente de análisis. Por último, se describe el procedimiento de la implementación del experimento realizado. Como conclusiones de este trabajo, se ve que los algoritmos convergen a un óptimo global sobre el control de flujo, siempre y cuando las condiciones de la red sean estáticas; bajo con condiciones dinámicas, el algoritmo puede funcionar dependiendo de que tan rápido o lento varíen las condiciones. Esto hace notar que para obtener un buen resultado en el control de flujo o de congestión en redes IP, hay que tener pleno control de las condiciones y parámetros que componen la red. Sin embargo, los resultados obtenidos dan indicios de que se puede hacer un control óptimo, planteando y optimizando los recursos como ancho de banda y capacidad de congestión de los enlaces de comunicaciones. Los autores establecieron que las variaciones de las fuentes generadoras de tráfico también se pueden controlar, pero hay que hacer grandes esfuerzos en este campo.

Por otro lado en [12] se hace un estudio del éxito que ha tenido la actual red de internet y se explora el concepto de enlace extremo a extremo. De esta manera, se atacan muchos factores que contribuyen a solucionar preguntas sobre como es el transporte de los datos extremo a extremo. Se hace una descripción del modelo matemático de la red actual, con lo cual se busca sentar las bases para un análisis posterior de como se optimizaría dicha red. Luego se estudia como el protocolo TCP hace el control de congestión, haciendo énfasis en el tiempo de la RTT. Después se trabaja el concepto de estabilidad visto desde dos puntos críticos, la no estabilidad por los retardos retroalimentados y la no estabilidad estocástica que son dos condiciones que afectan un protocolo de control de congestión extremo a extremo. Por último, se desarrolla un algoritmo para el control de los dos tipos de inestabilidad que se estudiaron. Las conclusiones que plantea este trabajo se refieren a que se pueden encontrar técnicas que mejoren la estabilidad y el control de congestión en internet, con la ayuda de algoritmos de optimización que puedan abarcar los parámetros más relevantes como retardos de propagación, además de plantear sugerencias del tiempo de ejecución de la RTT. Estos resultados concluyen como se pueden atacar los problemas de saturación que aquejan a las redes de datos hoy en día, como la congestión de datos.

En otro trabajo [2] se hace un análisis del comportamiento del tráfico en internet, utilizando como técnica principal *wavelet*, en donde se encuentra que el tráfico tiene una tendencia fractal en su estructura y de esta manera se puede decir que tiene un comportamiento libre de escala. Se describe de manera clara como es el comportamiento de la red y cuales son los aspectos mas importantes a tener en cuenta como: variabilidad producida por retardos, congestión, RTT como parámetro de control de congestión, control retroalimentado, control de lazo abierto, control de lazo cerrado, pesos en los enlaces de la red, de esta manera tener un buen panorama para atacar diferentes aspectos de las redes actuales de datos. Se plan-

tean las simulaciones correspondientes para probar cada uno de los parámetros mencionados.

En [3] se hace un completo resumen de los métodos actuales del control de congestión en Internet. Se hace una exploración de las diversas versiones del protocolo TCP en donde se mira con detenimiento cuales son los factores relevantes para el control de flujo, empezando por los tiempos de propagación, el tamaño de la ventana y los tamaños de los paquetes. Se plantean modelos matemáticos que describen las políticas de encolamiento, como RED, FIFO, *Drop tail*, que son determinantes en la atención de los paquetes en los enrutadores. Se hace una propuesta de llevar las técnicas de control eléctrico a control de las redes de comunicaciones, plantear los sistemas retroalimentados, de manera que los retardos que ocurran ayuden a mejorar dinámicamente el transporte de los datos. Se hace un análisis de los factores como capacidad de los enlaces, topologías de enrutamiento y retardos en la red, los cuales deben ser controlados de manera especial, para prevenir la congestión en la red. Las conclusiones de este trabajo son interesantes ya que muestran una nueva forma de trabajar para controlar la congestión de las redes de datos actuales. Esta herramienta consiste en hacer el modelamiento de los factores que influyen como retardos, encolamientos, enfocándolos en la teoría de control eléctrico. Esta forma de tratar el problema de la congestión ayuda a tener un campo más grande de acción para poder proponer mejoras al transporte de datos en redes IP.

En [8] se habla sobre el problema que está atacando al protocolo TCP en el manejo del control de congestión, de modo que se han propuesto nuevos parámetros que ayuden al TCP a mejorar los retardos en las confirmaciones, el control de flujo y el manejo del ancho de banda. Esto es posible ya que se dan las pautas de un nuevo protocolo llamado XCP que trabaja basándose en notificaciones explícitas de congestión; de este modo puede controlar el ancho de banda por donde los flujos de la red deben pasar. El XCP, maneja la teoría del control para dar estabilidad al sistema y no preocuparse por los retardos retroalimentados. Se enumeran los pasos de la construcción del protocolo, en donde se definen módulos de operación como el control de eficiencia, el control de balanceo, la cabecera de congestión, el *sender XCP*, después se hace el estudio de la estabilidad y como paso final se ejecuta una simulación que ayuda a ver que tan efectivo es el nuevo protocolo. Las conclusiones de este trabajo argumentan que la actual congestión que se presenta en el Internet es debido en gran medida a la asignación del ancho de banda en los enlaces entre nodos y que una forma de atacar este inconveniente puede ser variar los bits de la cabecera de los paquetes. Tomando estas ideas como base se planteó el protocolo XCP el cual utiliza un mensaje de congestión y decide con esa información por cual ruta transporta la información. Estos resultados son importantes, aunque solo son resultados simulados, pero dan pistas respecto a que la utilización de información de señalización que indique en que porcentaje está congestionado un enlace, es un buen método de control de congestión.

En [25] se hace una descripción teórica sobre el control de congestión en redes de comuni-

caciones y se busca una región en el que el comportamiento de la red sea estable. Se hace el planteamiento del modelo de optimización distribuida que cubra las necesidades de las tasas de transferencia entre los nodos de la red, la demanda y los usuarios que impactan el desempeño. Para tomar las medidas necesarias se hace una contextualización de los resultados obtenidos de un ambiente real, la idea es establecer los parámetros fundamentales del modelo de optimización, es decir, la función de utilidad con sus respectivas restricciones. Al encontrar la región de control se hace una suposición sobre la escala del tiempo en la cual trabajan los principales controladores de la red. Las conclusiones mostradas en este trabajo explican como se encontró la región de control de congestión, en donde las medidas de desempeño son mejores, igualmente se hace una anotación de que los métodos de optimización son de gran utilidad en el análisis de las problemáticas de las redes de datos. Estas conclusiones encontradas dan la guía necesaria para entender que el control de congestión va relacionado íntimamente con la estabilidad de la red y los parámetros que describen estos fenómenos que afectan a la red es mejor modelarlos con una función de utilidad para encontrar un punto óptimo de operación.

Por otro lado, en [13] se hace un estudio del modelo de tráfico para una red que presenta tráfico elástico. Se ha considerado dos tipos de tráfico: uno elástico y otro *streaming*, en donde el *streaming* son todos los servicios de voz y video que se van descargando a un *buffer* temporal y se reproduce en secuencia. El tráfico elástico son los servicios en donde no es necesario reproducirlos en línea, tal vez la transferencia de documentos escritos o con imágenes estáticas. El propósito de esa investigación consistió en hacer el análisis del ancho de banda que se deberá considerar cuando se está en la presencia del tráfico elástico. Primero se hace un estudio de la naturaleza aleatoria del tráfico y de que manera esto impacta en el comportamiento del ancho de banda de los enlaces. Se trabaja el concepto del ancho de banda compartido, de manera que se pueda dar mejores prestaciones al desempeño del transporte de la información. Una de las técnicas desarrolladas es el control de admisión, en donde dependiendo del tipo de flujo que se considera se puede ajustar el ancho de banda para transportar la información deseada. Las conclusiones dadas en ese trabajo muestran que se debe tener la mejor información acerca del comportamiento del tráfico en la red, para de este modo hacer la mejor propuesta en el modelo de tráfico. El modelo que se propuso tenía como parámetros fundamentales el control de admisión y el ancho de banda compartido.

Al hacer la revisión de los conceptos de control de congestión, se observa que hay varios métodos para ejercer un control efectivo de la congestión en las redes de datos. Las técnicas más comunes son hacer variaciones a los protocolos, hablando de TCP se plantean fórmulas de optimización sobre el tamaño de la ventana; por otro lado se han diseñado otras formas de hacer el control como por ejemplo, algoritmos de enrutamiento, formas de hacer el enconamiento en los enrutadores y manejo en las tasas de transmisión de las fuentes generadoras de tráfico. Los resultados de los diferentes esfuerzos establecen las bases de los futuros

modelos de control de congestión, como en [24, 9, 10]; también se muestran cuáles son los puntos a corregir, de modo que los nuevos modelos de control de congestión colaboren para un desempeño eficiente de la red de datos.



## 3. Marco de la investigación

En este capítulo se colocan las bases en las cuales descansan la investigación. Primero se expone el problema de investigación en donde se muestra el porqué de implementar el sistema de control de congestión. Por otro lado se explica cuales son los recursos de los cuales se tuvieron acceso para la implementación del ambiente controlado; en esta explicación se dan a conocer las variables con las cuales se analizaron los comportamientos de la red LAN, cuales son sus valores para categorizar dicho comportamiento como congestión.

### 3.1. Problema de investigación

Uno de los principales problemas que enfrentan las redes de comunicaciones hoy en día es la capacidad limitada para la gran cantidad de información que transportan, de modo que se presenta un fenómeno conocido como congestión. Se han implementado varias técnicas para contrarrestar este estado, el cual se ha vuelto algo inherente a las redes de datos. Una de las posibles causas de la congestión puede radicar en el hecho de que dependiendo de la demanda que se tenga por parte de los usuarios, los operadores de servicio cubren dicha demanda, pero el consumo por parte de los usuarios crece. Este hecho hace que el comportamiento de las redes de datos se torne como un sistema complejo de modo que la forma tradicional de analizar al sistema se vuelve poco efectivo y las consecuencias de la congestión empiezan a ser más notorias con el paso del tiempo. Una de las formas de tratar de controlar la congestión en redes de datos ha llevado a investigadores a formular un cambio sobre los protocolos de transporte; en el caso específico de las redes IP, se han evaluado y realizado cambios sobre el protocolo TCP pero, la dinámica cambiante del comportamiento de la red hace que estos protocolos diseñados para condiciones estáticas sean no efectivos o por lo menos se quedan cortos en su desempeño para contrarrestar las consecuencias de la congestión. De modo que si se cuenta con una infraestructura para un buen transporte de los datos en redes WAN, aun pueden presentarse cuellos de botellas en las redes LAN, lo que podría traducirse en la percepción de lentitud por los usuarios finales. Por consiguiente se deben plantear estrategias fiables en el control de estos cuellos de botella o congestión en redes LAN. Tomando la argumentación anterior se puede plantear la siguiente pregunta: ¿de qué manera se puede hacer un control de congestión efectivo en redes de datos IP aprovechando la asignación de recursos, tales como el ancho de banda, basándose en un sistema inteligente?. El objetivo principal de esta investigación se enfocará en resolver esta pregunta, los procesos y técnicas

que se van a utilizar deben ser planteados en el entorno de los sistemas inteligentes, para tener una mejor forma de enfrentar la congestión en redes de datos.

## 3.2. Ambiente de desarrollo de la investigación

El ambiente en donde se desarrolla la investigación es la red corporativa de la Universidad Nacional. Esta red cuenta con una infraestructura LAN y varias jerarquías de funcionamiento. Se divide en varias subredes, las cuales dan servicio a diferentes grupos de usuarios. El comportamiento de estos usuarios hace que los valores de las variables varíen de una subred a otra, existen diferentes números de *host* y consumos de canal. Por otro lado está también el horario de funcionamiento, el comportamiento varía con las franjas de trabajo, normal, nocturno y fines de semana. En la figura 3-1 se representaba infraestructura jerárquica de la red corporativa de la universidad.

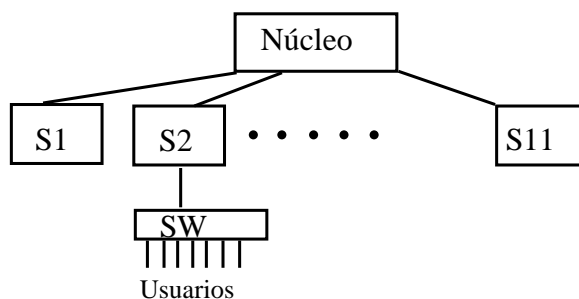


Figura 3-1.: Estructura general red LAN corporativa

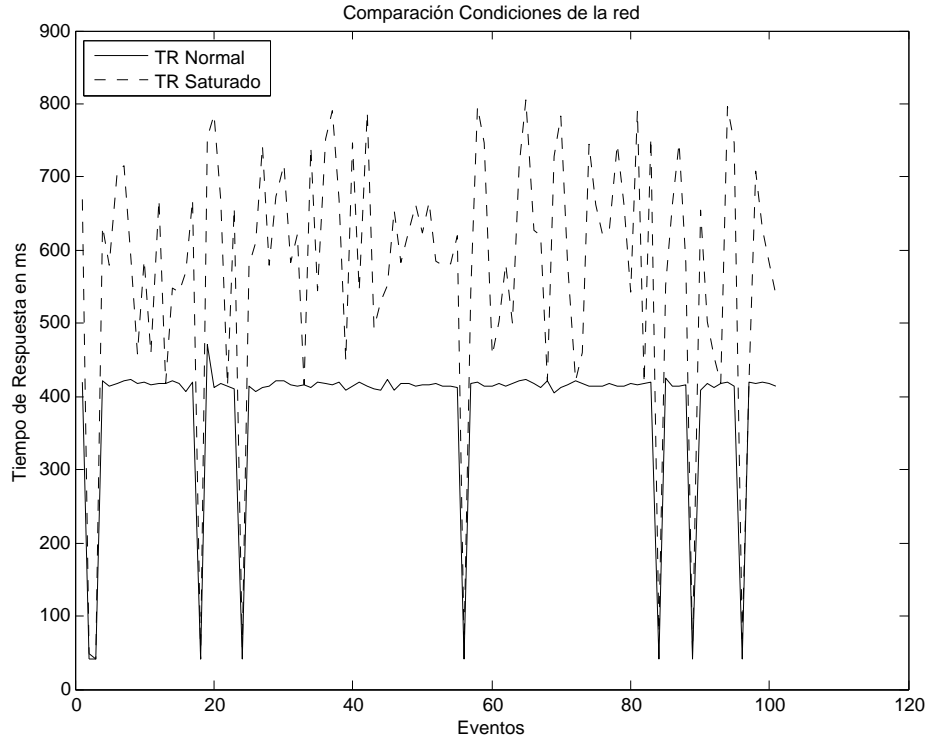
En la figura 3-1 se presenta una estructura que empieza por el *core* (núcleo de la red) que es un equipo de gran capacidad de procesamiento, encargado de distribuir información a los otros niveles de la red. En el segundo nivel se encuentran equipos de conmutación de menor capacidad de procesamiento que el núcleo; estos equipos se encargan de la distribución a las diferentes subredes. En el último nivel están los equipos de conmutación de acceso; estos son los equipos que dan a los usuarios finales la entrada a la red LAN. En los dos niveles inferiores se concentran los análisis del funcionamiento de los equipos, de esta forma se pueden controlar los diferentes elementos para hacer dimensionamiento del ancho de banda en los puertos.

Las consecuencias de la congestión son bien conocidos por ejemplo, la percepción de lentitud en los canales de datos. Sin embargo, el concepto de lentitud queda corto como medida de congestión. Las características de los canales de datos tales como ancho de banda, retardo del canal y tiempos de transmisión, son variables que están presentes en el desempeño de la red. Una forma para comprobar cuales son las consecuencias de la congestión puede ser

analizando las variables que definen el comportamiento de la red LAN de la Universidad Nacional. Las variables definidas para la investigación son:

- TR: tiempo de respuesta.
- PUI: porcentaje de utilización de entrada de datos hacia las subredes.
- PUO: porcentaje de utilización de salida de datos de las subredes.
- PP: porcentaje de paquetes perdidos.
- EC: número de equipos conectados.

Estas variables en diferentes condiciones tienen comportamientos distintos; en situaciones normales, los tiempos de respuesta son pequeños, los porcentajes de utilización de entrada y de salida no sobrepasan el 10 %, el número de equipos conectados está en un rango bajo y el porcentaje de paquetes perdidos es cero. Por consiguiente cuando se presenta congestión, una de las consecuencias de más notoriedad es el comportamiento de los tiempos de respuesta ya que aumentan; dado que el TR aumenta, se presente la percepción de lentitud para los usuarios finales.



**Figura 3-2.:** Concepto de congestión

En la figura 3-2 se muestra el comportamiento del TR de una subred, en donde se hace la comparación de los dos estados del enlace; la línea continua representa el comportamiento

normal, mientras que la línea punteada hace referencia a la presencia de saturación del canal. Para la definición de saturación del TR se puede decir, que si el TR supera un umbral definido, el canal se verá comprometido por congestión.

En resumen, se puede decir que la principal consecuencia de la congestión en una red LAN es el rendimiento o desempeño de la red; este desempeño se puede cuantificar de varias formas, pero la principal es el *throughput* que es el nivel de utilización del enlace o la capacidad de información que un elemento de red puede transportar en un periodo de tiempo.

### 3.3. Efectos de la congestión sobre la red LAN

Como se ha mencionado en apartados anteriores, los efectos de la congestión en las redes de datos afecta el desempeño, de modo que los parámetros de la calidad de servicio (*QoS*, por su sigla en inglés) también se ven afectados. En la red LAN, se puede cuantificar este fenómeno, haciendo énfasis en las variables obtenidas del estudio de la red LAN de interés.

Los efectos que se perciben en la red LAN cuando hay congestión se miden por las siguientes variables:

- TR: cuando hay presencia de congestión, los tiempos de respuesta aumentan, de modo que la percepción de lentitud sobre los usuarios finales se presenta y el *throughput* se ve afectado.
- PU: cuando hay presencia de congestión, este porcentaje de utilización de entrada como el de salida empieza a aumentar; la percepción de lentitud de los usuarios finales también se presenta; el *throughput* se ve afectado ya que los bits por segundo transmitidos disminuye. El umbral para decidir si el PU es alto lo define el administrador de la red basándose en la capacidad de operación de los elementos de la red. Usualmente, después del 80 % de utilización de un canal se dice que el canal está saturado.
- EC: la cantidad de equipos conectados es una variable que depende de las condiciones aleatorias de una red de datos. De manera que al aumentar EC, los recursos de la red deben empezar a dar mayores prestaciones, así que el ancho de banda, los tamaños de los *buffers* de los enrutadores, las velocidades de procesamiento de los diferentes elementos también aumentan. Por consiguiente variables como TR y PU empiezan a aumentar y esto hace que el *throughput* empiece a verse afectado, disminuyendo conforme los recursos lo permitan.
- PP: está es una de las variables más sensibles que determina si una red LAN está congestionada o no, ya que los requerimientos de *QoS* hace que no se permita la pérdida de

paquetes; entonces se puede hacer la anotación de que cuando hay más de un paquete perdido, la red está congestionada. La pérdida de paquetes también se puede presentar por factores externos a los comportamientos de los actores de la red, un ejemplo claro puede ser un corte de un medio de transmisión o el daño de un equipo o elemento de red, lo cual puede contribuir a dar al administrador de la red pistas muy certeras de que se están presentado fallas a nivel físico y no lógico.

### 3.4. Detección de la congestión

En el trabajo de maestría del ingeniero Erick Ardila se hace un proceso de detección de la congestión sobre la red LAN. Con la información que se obtiene de la detección y el control de congestión que se diseño, los trabajos se complementa para formar un sistema de gestión de red que ayude a mejorar el desempeño de la red LAN corporativa. Se describe en este trabajo algunas formas de hacer la medición de la congestión, algunas soluciones sobre dicho fenómeno y se diseña una plataforma de multiagentes para hacer una detección confiable de la congestión.

En la descripción de los métodos de detección de la congestión sobre redes IP, se nombran las desventajas de las herramientas que se encuentran en el mercado. La primera es que requieren de la instalación de sondas distribuidas por la red. Dichas sondas son algunas veces equipos especializados de alto costo y en otras ocasiones son programas que se instalan en equipos servidores o de escritorio en la red. Esto implica que los administradores de red deben estar constantemente instalando nuevas sondas a medida que la red cambia. La segunda desventaja es que toda la información recolectada por las sondas debe ser analizada manualmente por los administradores de red con el fin de establecer si estos datos representan o no un comportamiento normal del desempeño de la red y con base en esto definir las estrategias a seguir para solucionar los problemas encontrados [4].

Las mediciones activas requieren inyectar paquetes de prueba en la red. Tradicionalmente, las herramientas de medición activa tales como *ping* y *traceroute*, se utilizaron para determinar los RTT y las topologías de red utilizando paquetes ICMP. En comparación con las mediciones activas, las mediciones pasivas no inyectan paquetes de prueba en la red. Se realizan mediante la captura de paquetes y sus correspondientes marcas de tiempo de transmisión, desde aplicaciones que se ejecutan en dispositivos conectados a la red. Algunas de las técnicas de medición pasiva populares incluyen la recolección de datos de SNMP, datos de log de eventos y datos de NetFlow de los conmutadores y enrutadores de la red.

La idea novedosa de este trabajo de maestría es incorporar el aprovechamiento del usuario final como parte de la arquitectura para la detección de la congestión. Los sistemas de medición tanto activos como pasivos, utilizan un programa sensor central para los sistemas

activos o programas sensores instalados en los dispositivos críticos de la red para los sistemas pasivos. Para cualquiera de los dos sistemas el costo de instalación y mantenimiento es alto, no solo tomando en cuenta el costo de los programas, sino los costos asociados a la utilización de la red.

Para lograr el objetivo de incorporar a los usuarios final se pensó en un sistema multiagente. En una red que posea gran número de *host* o nodos, la información generada de las pruebas de medición de congestión puede generar un alto tráfico hacia un solo servidor central. Una forma de solucionar este problema es realizar un análisis segmentado de la red mediante un sistema distribuido, el cual puede ser construido utilizando sistemas multiagentes. Éstos permiten realizar un trabajo cooperativo y adaptativo, ajustándose a las necesidades de análisis de congestión de red.

Dado que la red de datos corporativa puede ser de tamaño considerable, se hace necesario subdividir la red en grupos que permitan realizar un mejor análisis de la congestión. La propuesta es subdividir en segmentos la red y cada segmento tendrá asignados varios agentes. Al realizar análisis segmentados, es posible identificar de forma más clara zonas o segmentos con congestión. Dentro de cada segmento de la red existirán tres tipos de agentes de campo: agente consolidador o agente supervisor, agentes recolectores, agentes sensores. Teniendo en cuenta lo anterior, para el sistema multiagente propuesto se establecen las siguientes reglas:

- En un segmento de red solo puede existir un agente consolidador o supervisor.
- En un segmento de red pueden existir uno o más agentes recolectores.
- En un segmento de red pueden existir uno o más agentes sensores.
- En toda la red o en todo el sistema solamente puede existir un agente supervisor.
- La comunicación entre segmentos se realiza entre los agentes consolidadores y el agente supervisor, por lo tanto, los agentes recolectores y sensores en un segmento de red solo tienen comunicación con su agente consolidador.

Una vez implementada la plataforma de los sistemas multiagentes y se haga la detección de la congestión en alguna de las subredes, es ejecutar la acción de control sobre la congestión. La parte de control es la que se muestra en esta investigación, en donde se recibirá la información de cual es la subred congestionada y se ejecutara el control haciendo una asignación de ancho de banda.

## 4. Modelo de control de congestión

En este capítulo se muestra el procedimiento que se llevo a cabo para el diseño del modelo de control de congestión. Se hace la presentación del esquema global en donde se implementó el sistema de control. Se hace una detallada descripción de la implementación del controlador difuso, el cual es la base para las reglas de asignación de ancho de banda cuando de se ejecuta el control de congestión. Por último se exponen los proceso y acciones que se hicieron para la implementación del modelo de control de congestión sobre el ambiente controlado de pruebas.

### 4.1. Modelo de control de congestión propuesto

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo de control de congestión que plantea esta investigación será un modelo que no hará ningún cambio sobre los protocolos, sino que actuará sobre los elementos de la red LAN, específicamente sobre los conmutadores, los cuales están gestionados por el protocolo SNMP. Este modelo se centra en la poca intrusión sobre las funciones de la red, de modo que cuando se detecte la congestión, la información de señalización sea oportuna en el control del flujo de información.

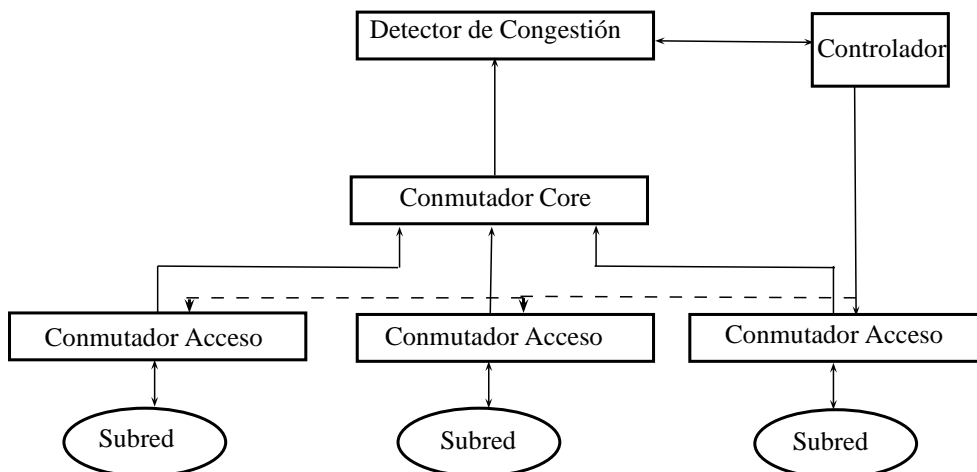


Figura 4-1.: Esquema global detección y control de congestión

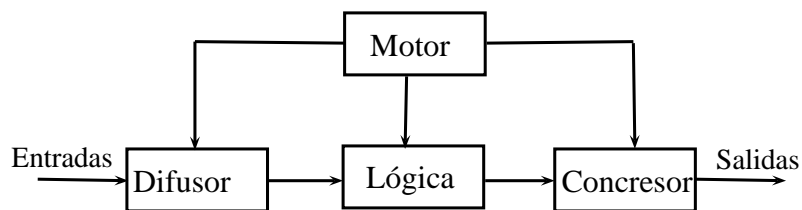
En la figura 4-1 se observa como se ha planeado la forma en la cual funcionará el mode-

lo de control de congestión. En la parte inferior se encuentran los equipos de acceso que son conmutadores, esquemáticamente en la parte superior están los puertos de los canales troncales, los cuales son los enlaces hacia el conmutador de núcleo (*core*). En la parte de abajo de los conmutadores se encuentran los puertos correspondiente de los equipos de las subredes. Las flechas indican el flujo de la información; cuando se presenta congestión, un agente envía información a través de la topología de la red, pasando los niveles de la jerarquía, llegando al detector de congestión que está implementado sobre un servidor de aplicaciones. La información de la subred saturada llega al controlador, que al igual que el detector está en un servidor de aplicaciones, el controlador toma la información de la subred, hace el procesamiento de detectar el puerto donde se encuentra el equipo que más tráfico está generando y luego se encarga de hacer la asignación del ancho de banda correspondiente.

Es importante hacer énfasis en el flujo de la información porque de esto depende el buen funcionamiento del modelo. En el controlador debe existir una bidireccionalidad entre el detector y el sistema de control, ya que cuando se hace el proceso de detección del puerto del equipo candidato a ser gestionado, se debe solicitar la tabla de direcciones *mac* del conmutador que contenga a la subred saturada. Una vez que se tenga la tabla *mac* en la que se encuentra el equipo que más genera tráfico, se envía la orden de hacer la gestión sobre el puerto del conmutador de acceso.

El diseño en el cual se enfoca esta investigación son los sistemas de control difuso, ya que la lógica difusa ayuda a solucionar varios problemas en las redes de datos, estos comportamientos son difíciles de solucionar por la aleatoriedad de los usuarios cuando participan de la red y sus aplicaciones.

El esquema del controlador difuso se puede visualizar, en la figura 4-2.



**Figura 4-2.:** Esquema controlador difuso

Las definiciones de la figura 4-2 son las siguientes:

1. **Difusor:** convierte los datos de entrada en valores lingüísticos que son las etiquetas de las funciones de pertinencia o conjuntos difusos.



2. **Motor de inferencia:** contiene la información de la aplicación, así como las metas de controlador.
3. **Lógica de decisiones:** se toman decisiones con base en conceptos difusos y la inferencia de acciones de control.
4. **Concesor:** obtener la acción concreta a partir de una acción de control difuso.

Como se puede evidenciar los elementos de un controlador difuso dan las pautas para la comprensión de algunos problemas que se presentan en el ámbito de las redes de datos y se está dando una flexibilidad desde el motor de inferencia, ya que el sistema en si puede aprender de los diferentes comportamientos históricos de la red. El bloque de la lógica de decisiones es la parte en la cual se hace una comprensión de los análisis obtenidos de la red y se toma una decisión sobre el control. En este proyecto la decisión se refiere a la asignación de recursos, los recursos en las redes de datos son limitados, ya que son las variables que definen la implementación física de la red. El recurso que se controla en la investigación es el ancho de banda ( $BW$ ), el cual define el rendimiento de la red LAN, ya que a mayor ancho de banda mejores tiempos de respuesta, menor porcentaje de utilización, no hay paquetes perdidos y de este modo más equipos conectados pueden estar en la red.

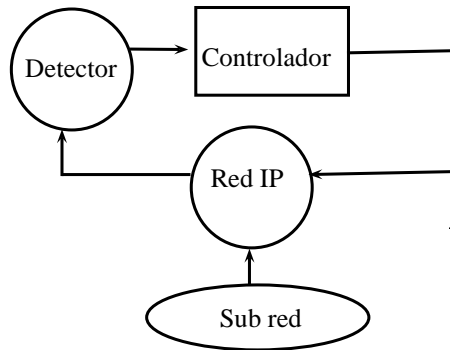
Para hacer la asignación del ancho de banda, en este caso se afectará a los puertos del elemento de red cambiando las diferentes velocidades que soportan los puertos. Para hacer el control se utiliza el protocolo SMNP, que es el protocolo que ayuda a impactar las características del conmutador. A continuación se explica el controlador difuso para la congestión.

## 4.2. Diseño del controlador difuso

Como se ha venido mencionado para la implementación del modelo se ha considerado un controlador difuso, el cual va actuar en la red de datos LAN para controlar la congestión que se presente. En la figura 4-3 se muestra un panorama general de como funciona el controlador difuso.

En la figura 4-3 se observa que el bloque del controlador esta sujeto a las variables de entrada que le estará otorgando el informador de congestión. Este informador esta en la capacidad de dar la alerta cuando se detecta la congestión haciendo un análisis de las variables específicas de la investigación, TR, PU, PP y EC.

De está manera el controlador difuso es alimentado por los valores de las variables de interés que son evaluadas por la función de membresía que están definidas para cada variable y así lograr el primer paso del controlador difuso (bloque 1 de la figura 4-2), proceso de

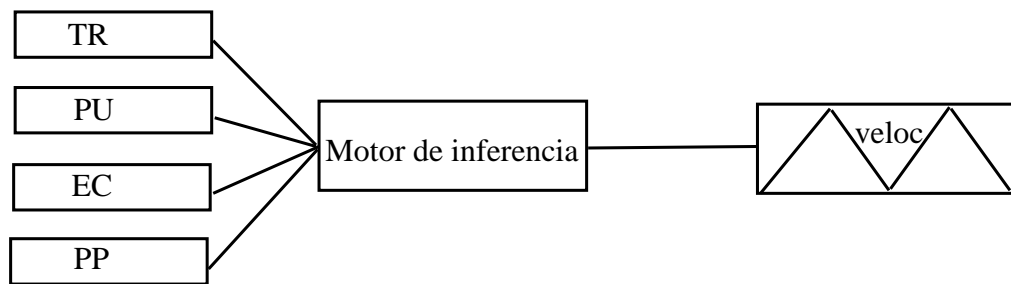


**Figura 4-3.:** Esquema controlador

difusificación. Cuando las variables están en los términos difusos son evaluados por la base de conocimiento y la lógica de decisiones, (componentes 3 y 4 de la figura 4-2). Estos valores resultantes del proceso del bloque de toma de decisiones son tomados por la interfaz de desdifusificación y la variable que se afecta para ver el resultado es llamada velocidad del puerto *veloc*, la cual también es definida con una función de membresía.

#### 4.2.1. Modelo de controlador difuso

En primer lugar en la figura 4-4, se indica cual es la estructura del controlador en general. En la parte de la izquierda están definidas las variables de entrada, en el centro se ha definido el las reglas de decisión, que en la parte analógica al controlador difuso es la base de conocimiento. Finalmente en la parte izquierda se encuentra definida la variable de salida que para este caso es la velocidad el puerto del conmutador.



**Figura 4-4.:** Modelo controlador difuso

### 4.2.2. Variables del controlador difuso

La primera variable es TR, que está definida por la función de membresía de la figura 4-5. La forma de la función de membresía que se observa en la figura 4-5 es suave y de forma continua basándose en una distribución *gaussiana*. La forma de esta función caracteriza de forma adecuada el comportamiento de los tiempos de respuesta, ya que estos tiempos no cambian de manera abrupta cuando se presenta congestión. Por otro lado, los umbrales de decisión para pasar entre los tres estados (bajo, medio y alto) definen los conjuntos difusos. En la ecuación 4-1 se muestra la definición de la función de membresía *gaussiana*, los parámetros  $m$  y  $\sigma$  representan el centro y el ancho de la función, respectivamente. Los conjuntos difusos para esta variable se identifican como bajo, medio y alto.

$$gaussian(x : m, \sigma) = exp\left(-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (4-1)$$

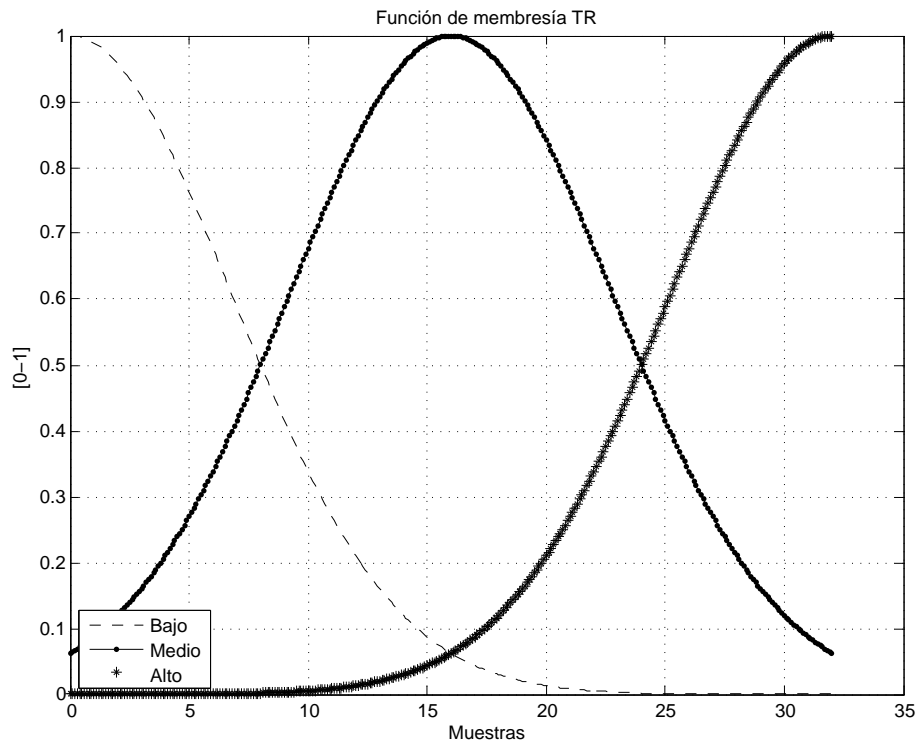
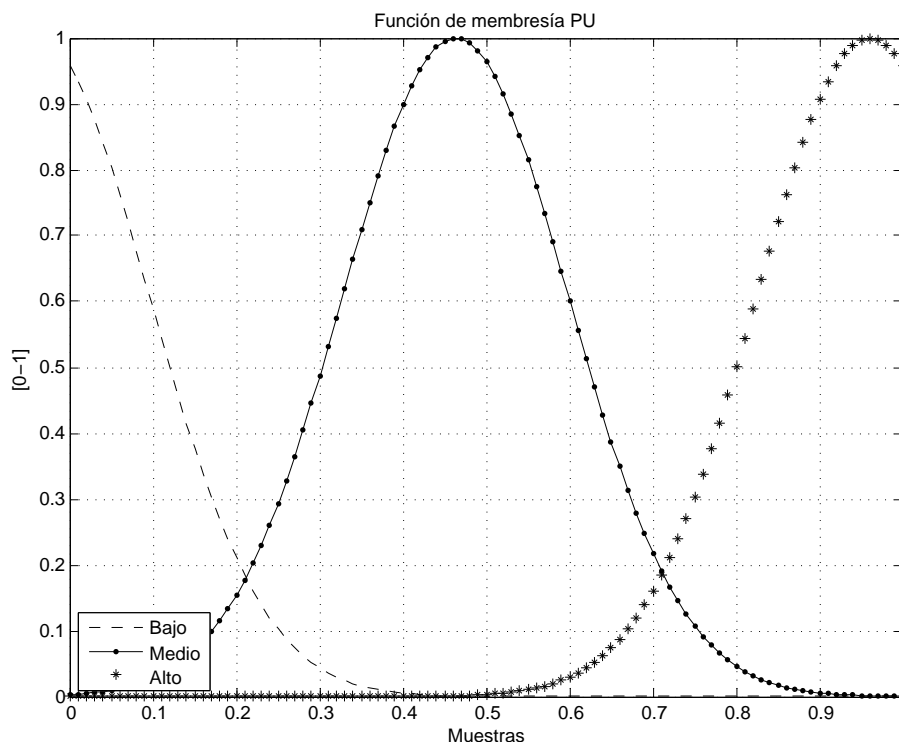


Figura 4-5.: Función membresía TR

La segunda variable es PU, que está definida por la función de membresía de la figura 4-6. Esta variable ha sido definida por una función de forma *gaussiana* pero para esta función los parámetros  $m, \sigma$  adecuados, ya que el porcentaje de utilización, se comporta diferente a

los tiempos de respuesta. Estos porcentajes no cambian de manera abrupta, pero el rango entre los umbrales es más grande, ya que cuando se presenta congestión en un canal de datos el porcentaje debe estar sobre el 80 % y antes de este valor el comportamiento del canal se puede considerar como normal. Esta función se caracteriza también por la ecuación 4-1. Los conjuntos difusos del porcentaje de utilización se identifican como bajo, medio y alto.



**Figura 4-6.:** Función membresía PU

La tercera variable es EC, que está definida por la función de membresía de la figura 4-7. La definición de esta función es *gaussiana*, la cual describe en la ecuación 4-1. El comportamiento de esta variable se debe a que los equipos conectados en las subredes tienen cambios suaves por que dependen del comportamiento de los usuarios en sus horarios laborales o de estudio. De manera que las curvas de los lados de la función caracterizan muy bien el comportamiento de los cambios y los umbrales de decisión. Los conjuntos difusos se han identificado como pocos, normal y muchos.

Por último, la variable PP se define por la función de membresía de la figura 4-8. Esta variable es definida por la función *gaussiana* que también se define con la ecuación 4-1. Sin embargo, esta función está definida por un solo conjunto difuso; esto obedece a la naturaleza de la variable de los paquetes perdidos. Se considera que cuando se produce más de un paquete perdido o muchos paquetes perdidos existe congestión en la red. Por otro lado, los paquetes perdidos no se pueden representar con un cambio abrupto, sino con un cambio

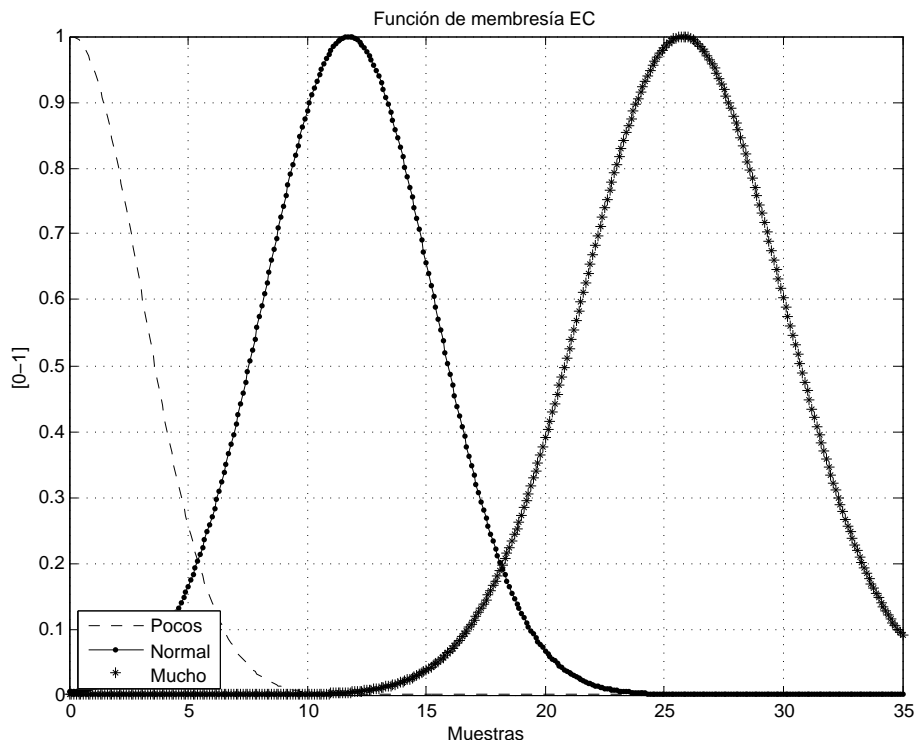


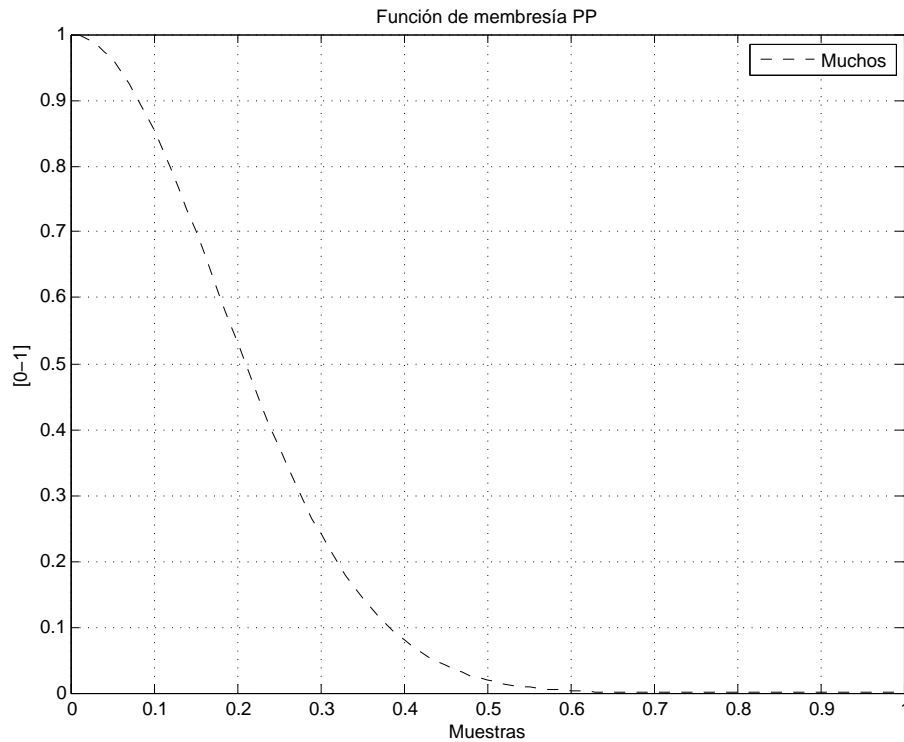
Figura 4-7.: Función membresía EC

suave que representa una degradación del servicio y un aumento de la congestión.

### 4.2.3. Motor de inferencia y lógica de decisiones

A continuación se describen las reglas de decisión del motor de inferencia que compone el controlador difuso. Se han considerado las condiciones más relevante para proponer las reglas; lo que se busca con estas reglas es tratar de cubrir las situaciones más relevante de las subredes cuando se presenta la congestión. Las reglas son las siguientes:

1. IF (TR is bajo) and (PU is bajo) and (EC is pocos) THEN (veloc is rápido)
2. IF (TR is medio) and (PU is medio) and (EC is normal) THEN (veloc is Normal)
3. IF (TR is alto) and (PU is alto) and (EC is muchos) THEN (veloc is lento)
4. IF (TR is bajo) and (PU is bajo) and (EC is pocos) THEN (veloc is rápido)
5. IF (TR is medio) and (PU is alto) and (EC is muchos) THEN (veloc is lento)
6. IF (TR is alto) and (PU is bajo) and (EC is normal) THEN (veloc is lento)
7. IF (TR is bajo) and (PU is bajo) and (EC is pocos) and (PP is muchos) THEN (veloc is lento)



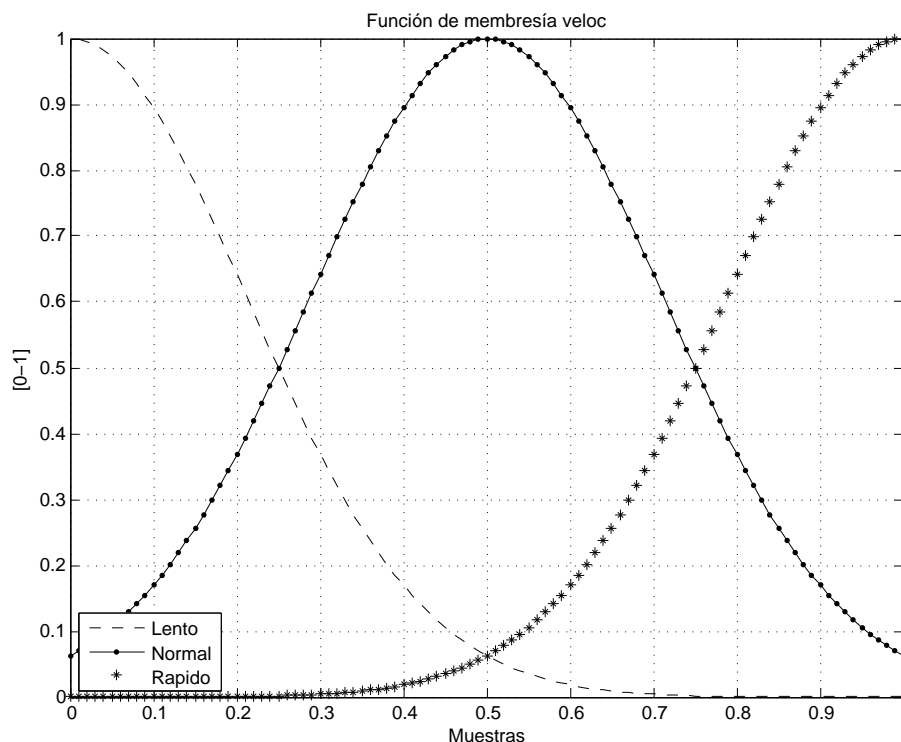
**Figura 4-8.:** Función membresía PP

8. IF(TR is medio) and(PU is medio) and (EC is normal) and (PP is muchos) THEN (veloc is lento)
9. IF(TR is alto) and(PU is alto) and (EC is muchos) and (PP is muchos) THEN (veloc is lento)
10. IF(TR is bajo) and(PU is alto) and (EC is pocos) and (PP is muchos) THEN (veloc is normal)
11. IF(TR is bajo) and(PU is bajo) and (EC is normal) and (PP is muchos) THEN (veloc is normal)
12. IF(TR is medio) and(PU is medio) and (EC is muchos) and (PP is muchos) THEN (veloc is lento)
13. IF(TR is bajo) and(PU is alto) and (EC is pocos) and (PP is muchos) THEN (veloc is normal)
14. IF(TR is medio) and(PU is bajo) and (EC is pocos) and (PP is muchos) THEN (veloc is normal)

Las anteriores reglas definen el comportamiento de la variable de salida que ha sido denotado como *veloc*, esta variable gobierna el comportamiento del puerto del conmutador en donde se detecte la congestión. El control que se ejecute sobre el puerto será la asignación de recursos para efectuar un control efectivo de la congestión.

#### 4.2.4. Concesor

Los conjuntos difusos de esta variable han sido denotados como lento, normal y rápido, que hace referencia a la cantidad de transferencia de información desde el puerto a la estación del usuario. En la figura 4-9 se observa la función de membresía de la variable de salida del controlador.



**Figura 4-9.:** Función de membresía velocidad puerto

La función de membresía que se observa en la figura 4-9 se define con una función de tipo *gaussiana* y los conjuntos difusos se han definido como lento, normal y rápido. La función se define por la ecuación 4-1 y este tipo de curva comprende muy bien la naturaleza de esta variable, porque los umbrales dan el espacio para hacer un cambio que no sea abrupto y no afecte tan severamente a la estación que está generando la congestión.

El proceso que se realizó en el diseño del controlador difuso consistió en evaluar los datos

históricos de las subredes estudiadas en la detección de congestión. Se tienen en cuenta las variables representativas y sus valores que definen el comportamiento de la red LAN. Se hace un barrido de las muestras de menor a mayor y se obtienen los resultados de la variable *veloc* después del proceso del congresor. Después de realizar el diseño sobre el controlador difuso se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4-1.:** Resultados del controlador difuso

TR ms	PU %	EC Unid	PP %	Velc %
2,3	20	30	0	50,2
2,3	40	30	0	49,0
2,3	60	30	0	49,0
2,3	80	30	0	49,5
10	20	30	0	47,2
10	40	30	0	44,0
10	60	30	0	40,5
10	80	30	0	40,5
20	20	30	0	40,9
20	40	30	0	40,9
20	80	30	0	40,9
26	80	30	0	45,7
26	20	30	0	37,3
26	50	30	0	45,7
26	20	147	0	25,7

La tabla 4-1 representa las pruebas del controlador sin tener en cuenta que en la red se presenten paquetes perdidos. Lo que se busca en está prueba es observar el comportamiento de la variable de salida cuando las condiciones cambian. Se empieza variando los tiempos de respuesta, luego variando el porcentaje de utilización y por ultimo la cantidad de equipos conectados; sin embargo, la variable que es más sensible según los resultados de la prueba es el tiempo de respuesta.



**Tabla 4-2.:** Resultados del controlador difuso con PP

TR ms	PU %	EC Unid	PP %	Velc %
26	40	147	0	45,7
26	60	147	0	45,7
26	80	147	0	32,6
26	80	249	0	17,9
5	80	249	0	24,4
5	20	112	12	40,4
5	20	112	40	40,4
5	20	112	60	47,9
20	20	112	60	41,3
20	40	112	50	40,1
20	80	112	50	40,0
<b>1</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>50,7</b>
<b>30</b>	<b>90</b>	<b>251</b>	<b>50</b>	<b>19,0</b>

En la tabla 4-2 se presentan las pruebas del controlador, pero en esta ocasión se tiene en cuenta la variable de los paquetes perdidos. Al hacer el cálculo de inferencia con esta variable se observa que impacta de manera más directa el comportamiento de la red, ya que los valores de la variable *veloc* cambian drásticamente cuando los paquetes perdidos aumentan o disminuyen.

Después de ver el comportamiento de los resultados de las tablas 4-1 y 4-2 se puede hacer la anotación que al hacer la detección de la congestión y evaluar las variables de interés, el ancho de banda del puerto del conmutador debe seguir la variación:

- Condiciones normales, el ancho de banda se puede dejar en el mismo valor.
- Cuando la congestión aumenta el ancho de banda se debe reducir.
- Cuando la congestión disminuye el ancho de banda se debe aumentar.

Las anotaciones anteriores deben ser la guía para los parámetros fundamentales del modelo de control de congestión, el cual indica que al aumento de tráfico de la red se debe hacer una asignación de recursos, para el caso específico de la red LAN hay que ajustar la capacidad del puerto. Esta velocidad del puerto dependerá de los valores de las variables de entrada. En la siguiente sección se expone la forma en la cual debe trabajar el modelo dentro de los elementos de red, cuando se presenta la congestión.

### 4.3. Implementación del controlador de congestión

La propuesta del modelo de control de congestión se basa en realizar un control en los puertos de los conmutadores que conforman la red de acceso a los usuarios del canal de datos de la red LAN. Teniendo en cuenta que estos conmutadores son gestionables a través del protocolo SNMP, se puede proceder a controlar el ancho de banda de los puertos, basando este control en los resultados del controlador difuso diseñado en la sección anterior (se puede observar en la figura 4-4). Para lograr esto se debe hacer el diseño de un algoritmo que cumpla con las siguientes consideraciones:

- Recibir información de cual subred está congestionada.
- Buscar en la subred cual es el puerto donde se está generando la congestión.
- Controlar la velocidad del puerto siguiendo las reglas del controlador difuso.

Para lograr estos pasos, se propone una búsqueda sobre la topología de árbol que tiene la estructura de la red LAN. En la figura 4-10 se muestra el concepto de la búsqueda sobre la topología.

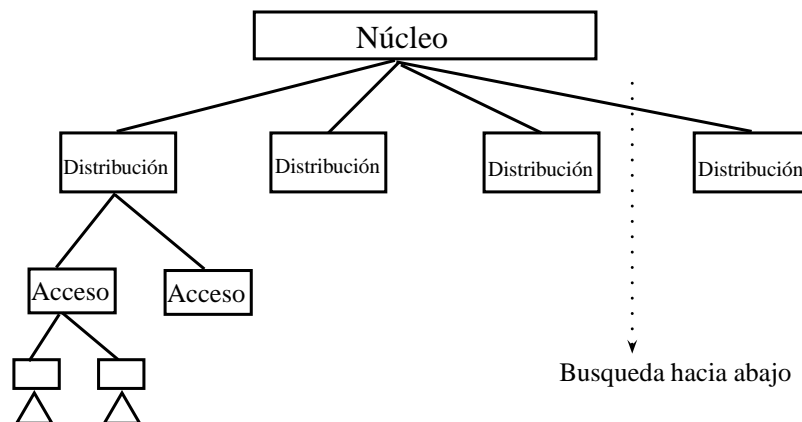


Figura 4-10.: Esquema búsqueda árbol

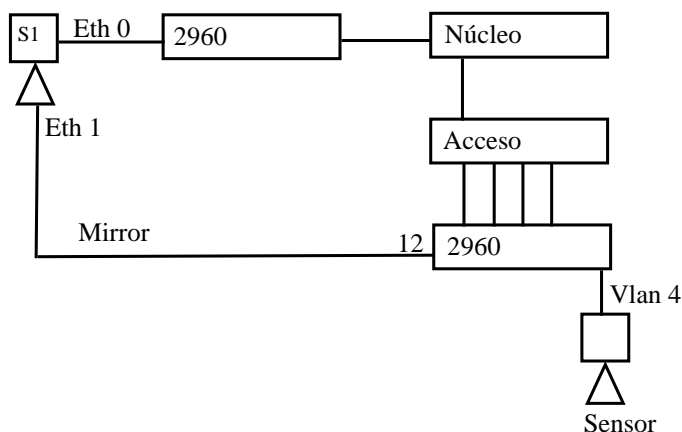
En la figura 4-10 se puede observar como esta distribuida la topología de la red LAN corporativa. Es un esquema típico de árbol, en donde existe un núcleo o equipo principal que tiene como función dar acceso a los usuarios y distribuir los recursos en los otros elementos de red. Este equipo principal está conectado a otros elementos denominados equipos de distribución, físicamente estos equipos son conmutadores de capacidad media y gestionables a través del protocolo SNMP. Los elementos de orden más bajo son los dispositivos de acceso, también son conmutadores que conectan a los usuarios con la red LAN.

La búsqueda que se propone debe tener una lógica que soporte algunos procedimientos en los elementos de la red. Se debe tener un equipo que registre las mediciones que se hacen

en la búsqueda de los puertos donde se sospecha que existe congestión; además este mismo equipo tendrá la función de hacer el control físico en el puerto. En donde se hará el control del ancho de banda. Los siguientes pasos son necesarios para controlar el ancho de banda en los conmutadores de acceso.

1. Buscar el equipo que más tráfico este generando.
2. Buscar el puerto en donde se conecta este equipo.
3. Controlar el puerto.

La arquitectura propuesta en donde se aloja el controlador se muestra en la figura 4-11

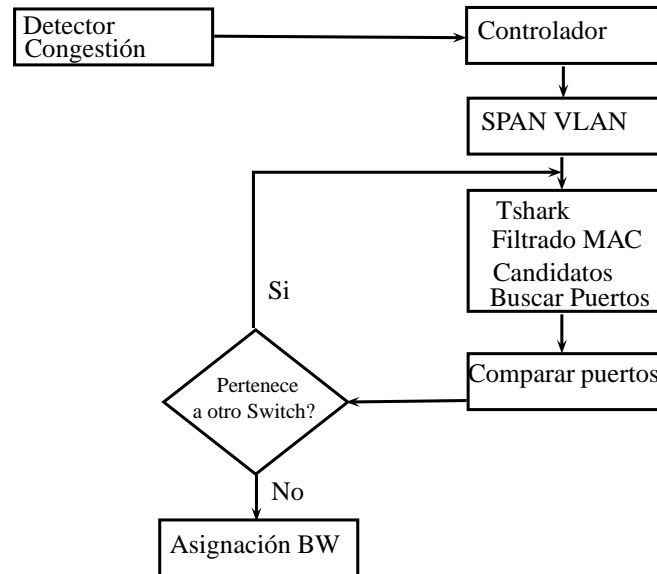


**Figura 4-11.:** Esquema para la implementación del controlador de congestión

En la figura 4-11 se puede observar que el equipo que se emplea para alojar al controlador está en *S1* un servidor de aplicaciones, en donde se están ejecutando los programas de medición de tráfico de las diferentes subredes que componen la red LAN corporativa. En este servidor también estará alojado el controlador. Se han conectado dos tarjetas *ethernet* la *Eth 0* que está destinada a realizar las mediciones de tráfico de los usuarios y la *Eth 1* que se configura como un puerto espejo (*mirror*). En este puerto se hace una escucha o medición de los paquetes que están pasando en el conmutador de acceso.

Para asegurarse de hacer la medición en la subred que está congestionada se crea una sesión de SPAN (*Switch Port ANalyzer*) analizador de puertos de conmutador; esta sesión es configurada dependiendo la información de la detección de la congestión.

En la figura 4-12 se muestra el proceso que se diseñó para el funcionamiento del controlador; primero se encuentra el cuadro del detector de congestión, este informador provee la información que viene del proceso de detección de congestión que se puede presentar en la red



**Figura 4-12.:** Diagrama de flujo controlador de congestión

LAN. Básicamente la información dada corresponde al número de la subred que está congestionada, ya con esta información se sigue con el proceso del control que se ha definido iniciando la ejecución de la sesión de SPAN para la red congestionada. Luego se realiza una serie de operaciones que le permiten al controlador saber cual es el *host* o la subred que más *bps* (bits por segundo) está generando. Hay dos situaciones que pueden ocurrir:

1. El puerto en donde se escucha más tráfico esté conectado otro elemento de red, en este caso el controlador toma el número del puerto y empieza nuevamente a realizar el proceso de búsqueda del elemento que más tráfico genera.
2. En el caso de que se encuentra el puerto un equipo o *host*, se hace la asignación del ancho de banda.

Los procesos que se indican en el diagrama de flujo 4-12, se presentan en los *scripts* del anexo A

## 4.4. Asignación de ancho de banda

Los resultados que se obtuvieron en el controlador difuso establecen que en condiciones normales el ancho de banda se deja sin cambiar la capacidad. Las operaciones que se realizan son:

- Cuando la congestión aumenta, el ancho de banda se debe reducir

- Cuando la congestión disminuye, el ancho de banda se debe normalizar.

Una vez que se tiene la concepción de como debe funcionar el modelo de control de congestión y como será soportado en la infraestructura de la red LAN, se define como se hace la asignación de ancho de banda en la red para hacer el control de congestión. El modelo consiste en realizar una variación del ancho de banda del puerto en donde se detecte la congestión. En tal caso se hace una medición de cuanto es el nivel de congestión (medio o alto) y se siguen las acciones dadas por el controlador difuso para hacer el control.

Es importante resaltar que se deben tener en cuenta las características físicas del equipo conmutador. Una de esas características son las capacidades de anchos de banda con las que cuentan el conmutador. Para el caso del ambiente controlado el conmutador tiene los siguientes valores para configurar: *1Gbps*, *100 Mbps* y *10 Mbps*. De modo que la asignación del ancho de banda debe variar en estos valores.

Al realizar la revisión de los resultados del controlador difuso y siguiendo el comportamiento de la variable de salida, como resultado se tiene que en los casos extremos de detección de congestión, el porcentaje al cual se debía colocar el puerto para hacer la asignación del ancho de banda era del 50%; esto tomando en consideración que las pruebas se realizaron con un porcentaje de utilización de menos del 20%. De modo que para las pruebas del ambiente controlado se ha considerado que cuando se detecte la congestión la asignación del ancho de banda se ejecute desde *1Gbps*, hasta *10 Mbps*.

Aunque el modelo se ha diseñado para que funcione de manera genérica, las pruebas se realizaron en el ambiente controlado, pero tiene toda la flexibilidad para poder implementarse en cualquier red LAN, ya que desde el inicio se planteó que el modelo funcionara no sobre el protocolo sino en los elementos de red con poco impacto en el desempeño de los mismos.

Las consideraciones anteriores pueden ser tenidas en cuenta por un administrador de red sin hacer el análisis de congestión, lo novedoso del modelo es que se puede ajustar según lo requiera las condiciones de la red y de esta manera mejorar el desempeño de los enlaces en términos de *throughput* efectivo. En los modelos estudiados se ve que en el protocolo de transporte TCP y sus diferentes versiones el control se hace por medio de optimización de los tamaños de ventana de transmisión. La gestión del *buffer* se hace en FAST TCP. Por otro lado en TCP Vegas se mejora los tiempos de retransmisión. El modelo propuesto en esta investigación hace la asignación del ancho de banda, vale la pena destacar que en esta oportunidad se reduce considerablemente la intromisión en los elementos de la red y en los protocolos de control de la red como IP y TCP.

Teniendo como referencia [13] y haciendo la comparación con el modelo de control de congestión implementado en esta investigación, se encuentra que el método de hacer la asignación

de ancho de banda para ejercer un control de congestión sobre una red LAN es efectivo y apropiado. Por otro lado, la hacer la evaluación de las variables que intervienen en el análisis de dicha congestión, se observa que el tiempo de respuesta se convierte en un parámetro de importancia en el seguimiento de la congestión y se puede colocar como punto de referencia cuando se hace la asignación del ancho de banda.

Después de revisar el proceso de implementación del ambiente controlado, las pruebas de congestión y las pruebas de control de congestión haciendo la asignación de ancho de banda, se tiene que se ha generado una metodología de análisis sobre una red LAN de problemas que causan la saturación de la red. Se estudiaron variables que representan de manera adecuada el comportamiento de los usuarios de la red, para luego proponer una estrategia de control, que si bien fue implementado en un ambiente controlado puede ser migrado a redes LAN en producción real.

# 5. Validación Experimental

Los experimentos que se realizaron para la validación del modelo de control de congestión se hicieron sobre la siguiente arquitectura de red:

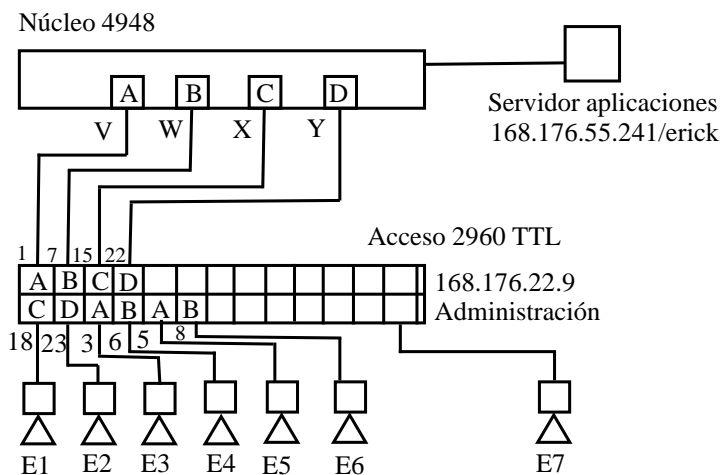


Figura 5-1.: Arquitectura del laboratorio de pruebas

Lo que se observa en la figura 5-1 es un sistema de dos conmutadores marca Cisco. Un conmutador es denominado núcleo, lo que significa que tiene más capacidad de conmutar información y capacidad en ancho de banda. El otro conmutador es denominado acceso, es un elemento de red en donde los equipos de diferentes usuarios tiene el acceso a la red LAN principal o al canal de Internet.

A continuación se hace la descripción de las funciones de cada uno de los equipos del ambiente controlado.

**Tabla 5-1.:** Descripción de equipos del ambiente controlado

Equipo	SubRed	Num	Roles	IP
E1	IBUN	2	Sonda	168.176.54.143
E2	Unisalud	3	Sonda	168.176.85.124
E3	Economía	15	Generador Trafic	168.176.17.106
E4	Ingeniería	9	Generador Trafic	168.176.26.81
E5	Economía	7	Sonda	168.176.16.181
E6	Ingeniería	8	Sonda	168.176.27.168
E7	S5 Centro Com	5	Servidor Trafic	168.176.55.113
E8	S5 Centro Com	-	Servidor Script	168.176.55.241

En la tabla 5-1 se muestran los roles y ubicaciones de los equipos en las diferentes subredes de la Universidad Nacional, ya que las muestras que se tomaron para el análisis de la red LAN pertenecen a las subredes configuradas. A continuación se listan las configuraciones de las subredes utilizadas en el ambiente de experimentación.

**Tabla 5-2.:** Subredes de ambiente controlado

Sub Red	Nombre	VLAN	Net/Mask
A	Economia	16	168.176.16.0/ 23
B	Ingenieria	26	168.176.26.0/ 23
C	IBUN	54	168.176.54.0/ 24
D	Unisalud	85	168.176.85.0/ 24
E	Centro Compu	55	168.176.55.0/ 24

Otro factor importante del ambiente de experimentación es la configuración de los puertos del conmutador, en donde se muestra como están las troncales y sus características que son variables de los elementos de red, las cuales serán utilizadas por el modelo de control de congestión.



**Tabla 5-3.:** Puertos del conmutador

Puerto	Descripción	Capacidad (MBPS)
1	V- Troncal Red A	10 0 100000
3	Acceso Red A	100000
5	Acceso Red A	100000
6	Acceso Red B	100000
7	W - Troncal Red B	10 0 100000
8	Acceso Red B	100000
15	X - Troncal Red C	100000
18	Acceso Red C	100000
22	Y - Troncal Red D	100000
23	Acceso Red D	100000

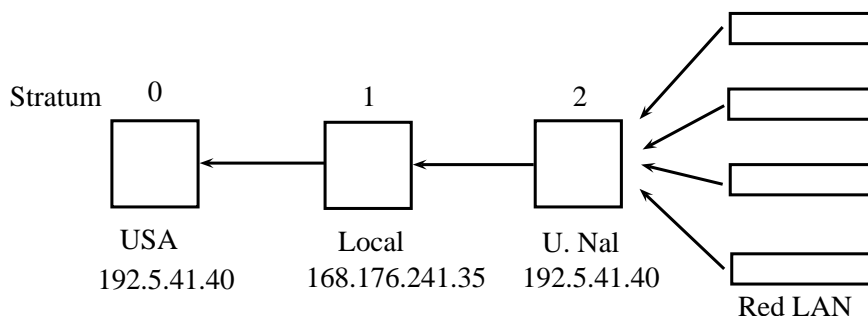
Los elementos de red también cuentan con características esenciales que influyen en el desarrollo de los experimentos. A continuación se listan las principales propiedades de los equipos.

- Todos los equipos tienen instalado windows 7
- El servidor de aplicaciones tiene instalado Linux Centos.
- El conmutador core es Cisco 4948
- El conmutador de acceso es Cisco 2960 TTL
- El conmutador de acceso será gestionado por SNMP para: cambiar la capacidad del puerto, monitorear consumo del puerto y bloquear puerto

## 5.1. Descripción del ambiente controlado

Una vez que se tiene la infraestructura configurada y funcionando con la conectividad al 100 % de los equipos y las diferentes subredes se procede a realizar el proceso de afinamiento del ambiente. Esto consiste en realizar una sincronización de los equipos que intervienen en los experimentos y la programación de las pruebas que se hacen. Para la sincronización se desarrolla el esquema de la figura 5-2.

La figura 5-2 es una estructura básica de como se obtiene la referencia de reloj de los equipos de la red LAN. El reloj principal es un reloj atómico ubicado en el servidor con la dirección IP 168.176.5.149; este reloj es de gran precisión y sirve de referencia al reloj de la red local de la Universidad Nacional. Este a su vez da la sincronía al reloj con IP 168.176.5.148, el cual es el servidor con el que están sincronizados los equipos de la red LAN que pertenecen al ambiente de experimentación. Cada uno de estas etapas se llama *stratum*, lo cual ayudaría



**Figura 5-2.:** Sincronización de equipos

a identificar problemas que estén relacionados con la sincronía.

En otro aspecto importante para el diseño de las pruebas tiene que ver con la programación de los eventos a representar sobre el ambiente controlado. En la tabla 5-4 se muestra la programación para las pruebas del ambiente controlado al simular la congestión en las subredes.

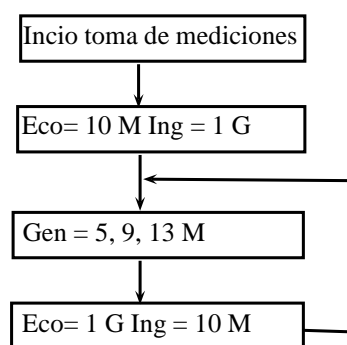
**Tabla 5-4.:** Programación de mediciones

$\Delta$ Segundos	$\Delta$ Tiempo	Time	Sensores	Gen. Trafico	Ser. Trafico
–	0:00:00	18:00:00	ON	–	–
50	00:00:50	18:00:50	–	5 M	–
150	00:02:30	18:02:30	–	9M	–
250	00:04:10	18:04:10	–	13 M	–
350	00:05:50	18:05:50	–	OFF	–
400	00:06:40	16:06:40	OFF	–	–
520	00:08:40	18:08:40	–	–	Eco= 1G Ing= 10 M
640	00:10:40	18:10:40	ON	–	–
690	00:11:30	18:11:30	–	5 M	–
790	00:13:10	18:13:10	–	9 M	–
890	00:14:50	18:14:50	–	13 M	–
990	00:16: 30	18:16:30	–	OFF	–
1040	00:17: 20	18:17:20	OFF	–	–
1160	00:19:20	18:19:20	–	–	Eco= 10 M Ing= 1 G

En la tabla 5-4 la primera columna ( $\Delta$  Segundos) representa el diferencial de segundos con los cuales va a empezar la prueba. Es decir en la segunda fila después de los primeros 50 s el generador de tráfico de 5 Mbps empieza. La segunda columna ( $\Delta$  Tiempo) representa el tiempo en el cual se ejecutara algún evento. La tercera columna representa la hora real en cual ocurrieron los eventos. En la cuarta columna se coloca los instantes de tiempo en donde

los sensores de las diferentes subredes empezaron a capturar la información para su posterior análisis. En la quinta columna se representa los valores del generador de tráfico para simular la congestión en las subredes. Por último está la sexta columna la cual representa el valor en que se configuran los enlaces troncales de las subredes en donde se simula la congestión.

La programación que se muestra en la tabla 5-4 es la guía de las pruebas que se hacen para simular la congestión de la red LAN, de este modo cuando está congestionada la red y se general la alarma, se procede al control de dicha congestión. En la figura 5-3 se muestra un diagrama que describe el proceso de toma de muestras y generación de tráfico



**Figura 5-3.:** Secuencia de las pruebas

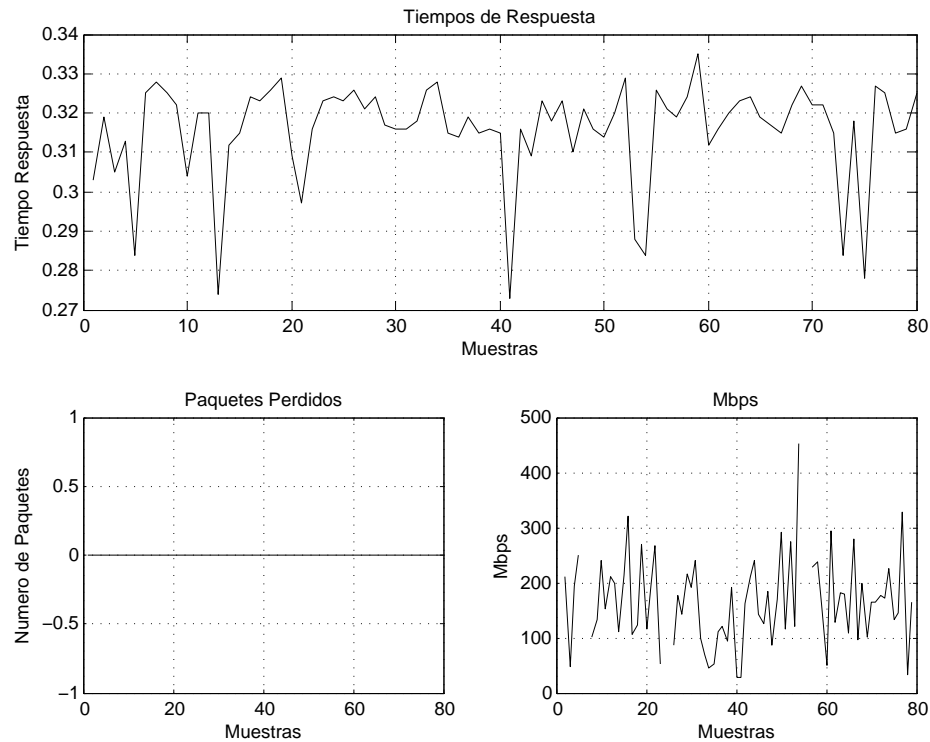
En la figura 5-3 se observa el establecimiento de dos canales en donde se hacen las mediciones, uno es el canal de la subred de economía y el otra la subred de ingeniería. Al inicio se establece el canal de la subred economía en 10 *Mbps* y luego se hace la generación de tráfico de 5 *Mbps*, 9 *Mbps* y 13 *Mbps*. Cada cambio está separado por una duración de 100 s; en este intervalo de tiempo los sensores de las demás subredes están tomando mediciones de sus niveles de congestión. Una vez se acaba la prueba sobre la subred de economía se hace un cambio en los anchos de banda y se pasa de 10 *Mbps* a 1 *Gbps* en el canal de la subred economía y de 1 *Gbps* a 10 *Mbps* en el canal de la subred de ingeniería. En este intervalo de tiempo, los otros sensores nuevamente toman medidas de sus niveles de congestión. Finalmente el ambiente controlado retornan a las condiciones iniciales.

## 5.2. Resultados de las pruebas de congestión

El objetivo de está sección de experimentos es comprobar si las condiciones del ambiente controlado son similares a las condiciones normales de la red. De modo que se tomaron muestras en horario laboral y en horario de fin de semana.

Los resultados del comportamiento de las subredes en el horario normal se pueden ver en las figuras 5-4, 5-5, 5-6 y 5-7.

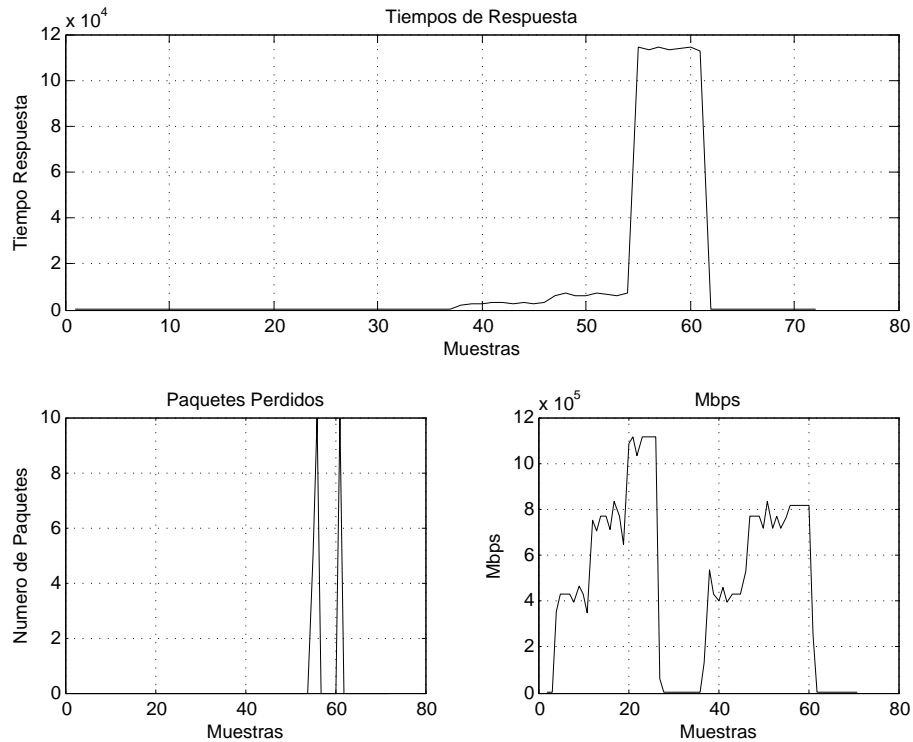
En la figura 5-4 se presentan las tres mediciones sobre la red IBUN que impacta directamente



**Figura 5-4.:** Comportamiento red IBUN horario normal

el desempeño de la red LAN. Los tiempos de respuesta que es una de las variables sensibles al cambio de las condiciones de la red se presentan en la parte superior. La pruebas que se realizaron en esta red fueron en condiciones normales, de modo que la escala de variación es en promedio de  $0,32ms$ ; este comportamiento se comprueba con la gráfica de los paquetes perdidos, que como se observa es cero. Según el estudio sobre el comportamiento real de la red LAN los paquetes perdidos siempre deben estar en cero. Por último se presenta la gráfica del *throughput* presente en la red. Se observa en la gráfica que tiene un comportamiento variable y aleatorio, como se da en una red de esta naturaleza.

En la figura 5-5 se observa el comportamiento de la subred de ingeniería en dos estados, uno cuando está en condiciones normales y dos cuando está congestionada. La prueba de congestión que se realiza sobre esta red consiste en reducir el canal troncal por la cual se comunica el conmutador de acceso con el conmutador de núcleo. Las tres variables que se afectan en esta prueba son los tiempos de respuesta que se elevan considerablemente igual que el número de paquetes perdidos, a solo presentarse un paquete perdido se puede decir con certeza que la red está congestionada. En la última gráfica se muestra el comportamiento del *throughput*. La prueba consiste en generar escalas de tráfico sobre esta red de  $5 Mbps$ ,  $9 Mbps$  y  $13 Mbps$ . En la primera parte del experimento la subred se comporta de forma normal, ya que los tiempos de respuesta y los paquetes perdidos son normales, y los niveles



**Figura 5-5.:** Comportamiento red ingeniería horario normal

de *throughput* llegaron a los niveles del generador de tráfico. En la segunda parte del experimento se reduce intencionalmente el canal troncal de la red de ingeniería de 1 *Gbps* a 10 *Mbps*. Cuando se hace esta reducción se presenta la congestión y los niveles de los tiempos de respuesta y paquetes perdidos se eleva, además el *throughput* se mantiene constante en 10 *Mbps* que es lo máximo que soporta el canal en ese momento.

En la figura 5-6 se puede observar como en la primera parte del experimento se congestiona la subred de economía ya que los tiempos de respuesta son elevados al igual que los paquetes perdidos. En la última gráfica se observa el proceso inverso al de la red de ingeniería, analizada en la figura 5-5 ya que se procedió a iniciar la generación de tráfico con el canal troncal reducido a 10 *Mbps*. En la segunda parte se amplía el canal a 1 *Gbps*; el comportamiento del *throughput* permanece constante en 10 *Mbps* cuando el generador sobrepasa este valor y cuando no está limitado el canal troncal se llega a los volares del generador de tráfico.

En la figura 5-7 se observa el comportamiento de la red unisalud. En esta red durante las pruebas de congestión no se realiza ningún cambio en sus condiciones físicas, de modo que su comportamiento es normal; esto se puede deducir ya que las variables tomadas en consideración como tiempos de respuesta, paquetes perdidos y *throughput* son estables. Lo que se busca con estas pruebas es demostrar la independencia dentro de las redes que están confi-

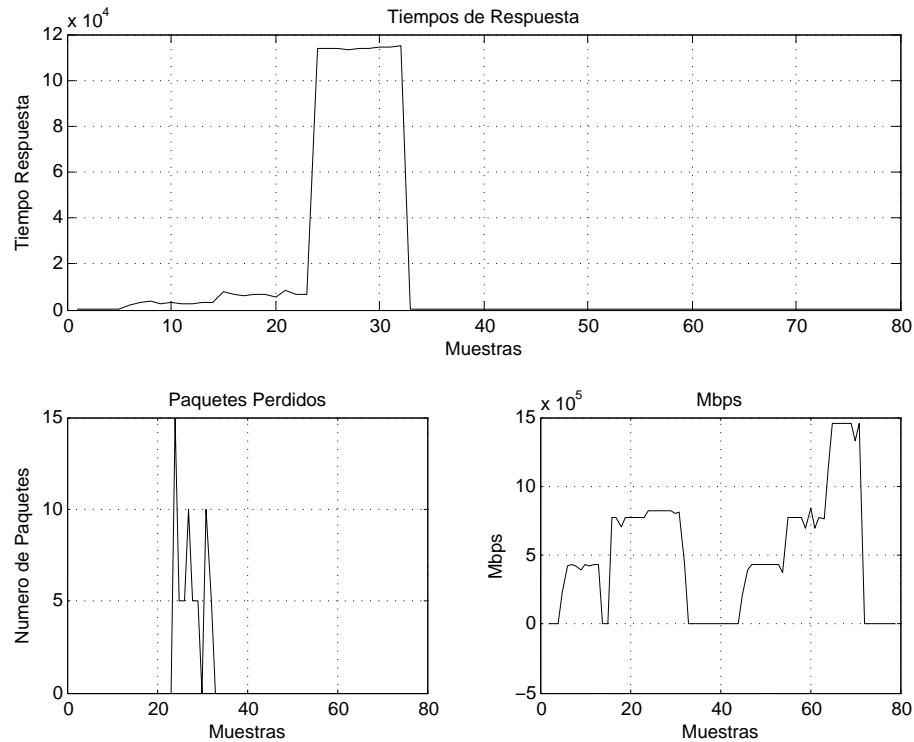


Figura 5-6.: Comportamiento red economía horario normal

guradas en el ambiente controlado, ya que es el mismo comportamiento del ambiente de la red LAN corporativa.

Los resultados del comportamiento de las subredes en el horario de fin de semana se puede ver en las figuras 5-8 5-9, 5-10 y 5-11. Estos comportamientos son similares al comportamiento de la red en horario normal. Se observa la independencia entre las diferentes subredes y las variables de tiempos de respuesta, paquetes perdidos y *throughput* tienen un comportamiento similar.

### 5.3. Pruebas modelo de control de congestión

Las pruebas sobre el ambiente controlado fueron realizadas haciendo el control sobre los puertos del conmutador; generado tráfico en las diferentes subredes que se han configurado para los experimentos. La idea de estas pruebas es comprobar el funcionamiento del modelo de control de congestión presentado en la figura 4-12. El objetivo principal de estas pruebas es forzar a que las subredes estén congestionadas, de manera que al hacer el control se efectuará sobre el equipo del ambiente controlado y no sobre equipos pertenecientes a las subredes que no estén dentro del ambiente del laboratorio.

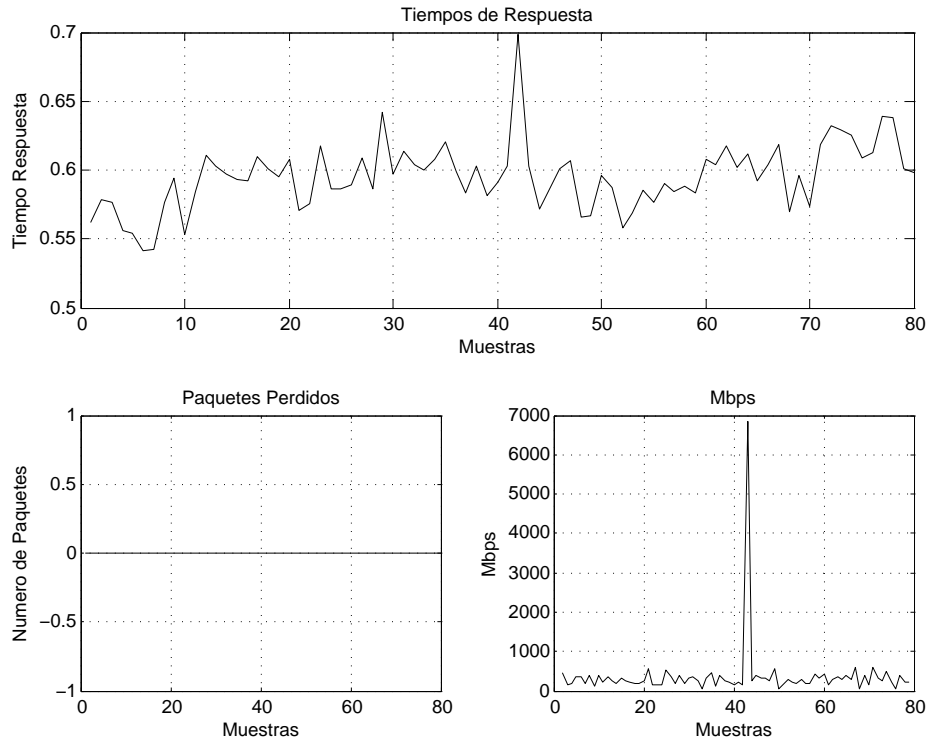


Figura 5-7.: Comportamiento red unisalud horario normal

El procedimiento que se siguió es empezar a tomar muestras de las condiciones de la subred, y después de 30 s empezar a generar tráfico, de modo que al realizar la operación de control se detecte al equipo congestionado y después hacer la reducción del ancho de banda en el puerto del conmutador donde se encontrara conectado dicho equipo.

En la figura 5-12, se observa el control que se realiza sobre la subred de economía; se ha forzado al equipo de prueba a generar tráfico constante de 15 *Mbps*. La condición inicial del puerto en donde está conectado el equipo de prueba es de 1 *Gbps*, esto se puede corroborar en la gráfica de paquetes perdidos que es cero. Sin embargo hay un aumento considerable de los tiempos de respuesta, esto ocurre cuando se hace la asignación del ancho de banda. El funcionamiento del sistema de control hace una reducción del ancho de banda del puerto del conmutador. Esta reducción se hace a un ancho de banda de 10 *Mbps*. En la figura 5-12 el *throughput* que se observa no sobrepasa los 10 *Mbps*. Lo que se garantiza con esta forma de control es que el equipo que está generando el tráfico no afecta el puerto troncal del conmutador y de este modo los demás equipos de la subred no se vean afectados.

En la figura 5-13 se ve como se realiza el control al equipo de prueba que está en la subred IBUN. El procedimiento es igual al realizado en la prueba de la subred de economía; el puerto donde está conectado el equipo está por defecto en 1*Gbps*. Se genera tráfico constante de 15

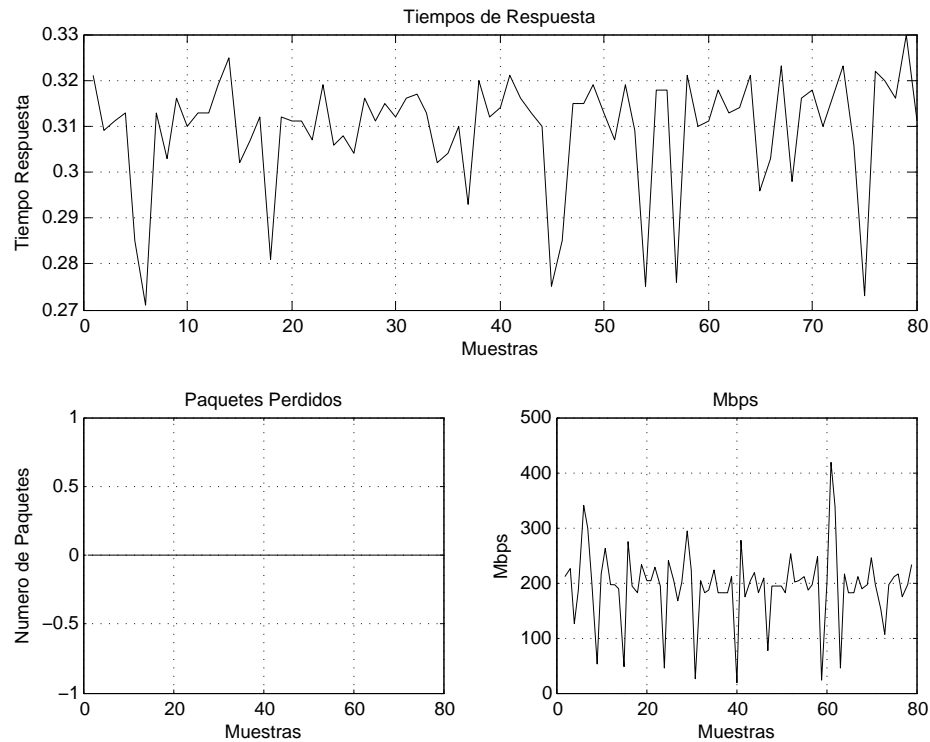


Figura 5-8.: Comportamiento red IBUN fin de semana

*Mbps*. Cuando el sistema de control empieza a trabajar, detecta que el tráfico de equipo es el más alto de la subred, averigua en que puerto del conmutador se encuentra conectado y reduce el ancho de banda a 10 *Mbps*; esto se corrobora en la gráfica del *throughput* de la figura 5-13 que se mantiene en los 10 *Mbps* hasta que se deja de generar el tráfico. Los tiempos de respuesta son altos cuando se hace la reducción del ancho de banda del puerto en el cual está conectado el equipo. Este comportamiento es el esperado ya que se está generando tráfico a 15 *Mbps*, pero la capacidad se reduce a 10 *Mbps*. Hay que hacer la anotación que al reducir el ancho de banda del equipo que más tráfico genera no se afecte el funcionamiento de los demás equipos de la subred.

## 5.4. Análisis de resultados

Después de revisar los resultados anteriores del control de congestión que se implementó, se observa que el *throughput* producido por el *host* que genera mayor tráfico, es controlado al valor designado de manera que no se afecta el rendimiento de los demás puertos del conmutador. Una de las premisas de un sistema de gestión de red es poder hacer estos cambios sobre los elementos de red y que solo se afecte el elemento generador del problema, en este caso del equipo que más tráfico está generando. Aunque los equipos activos de red tienen predefinidas



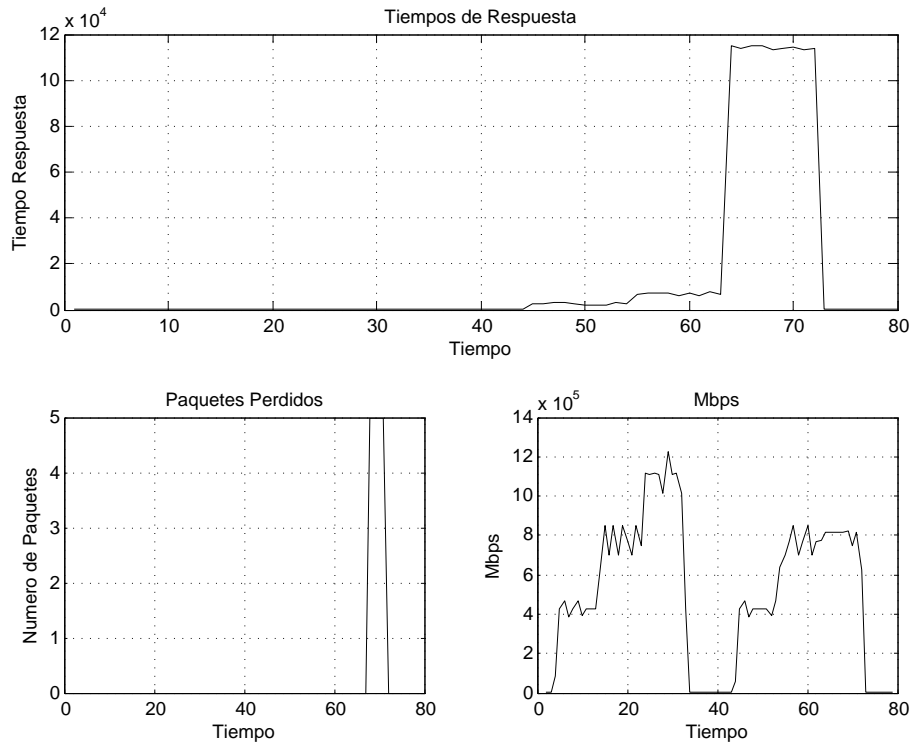
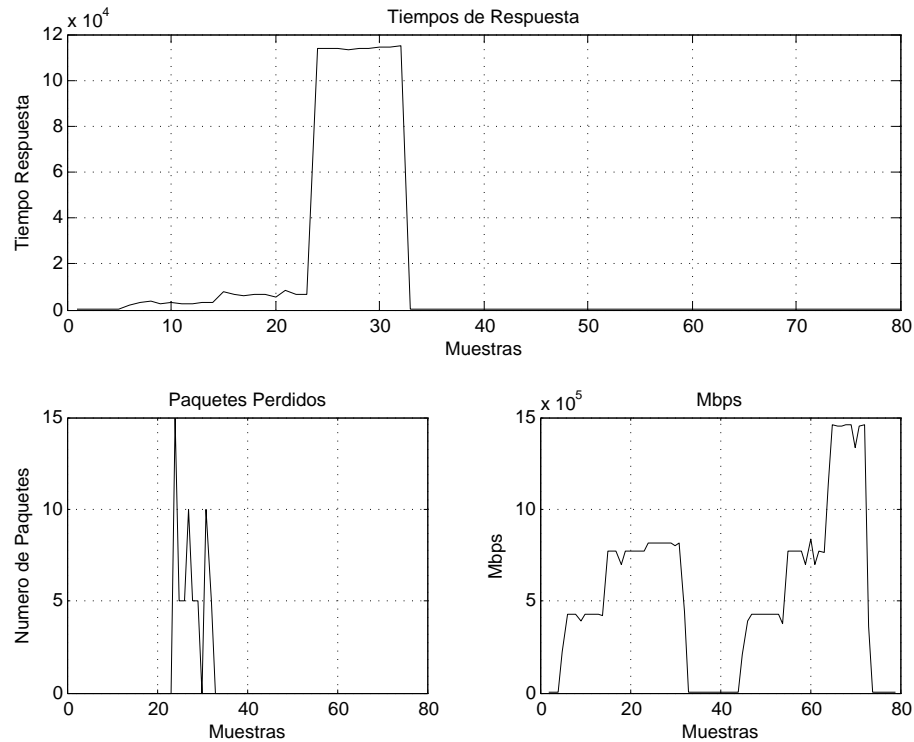


Figura 5-9.: Comportamiento red ingeniería fin de semana

funciones de equilibrio (*fairness*) para su funcionamiento, se protege esta propiedad con el controlador.

Una de las características del control de congestión es ayudar a que el rendimiento del equipo mejore. Hay varias métricas que pueden indicar el rendimiento o desempeño de una red LAN, en el caso del control de congestión se evalúa el desempeño sobre los tiempos de respuesta cuando se hace la asignación del ancho de banda. Se evidencia que esta variable se conserva independiente después de hacer el control sobre el puerto del equipo que más está generando tráfico.

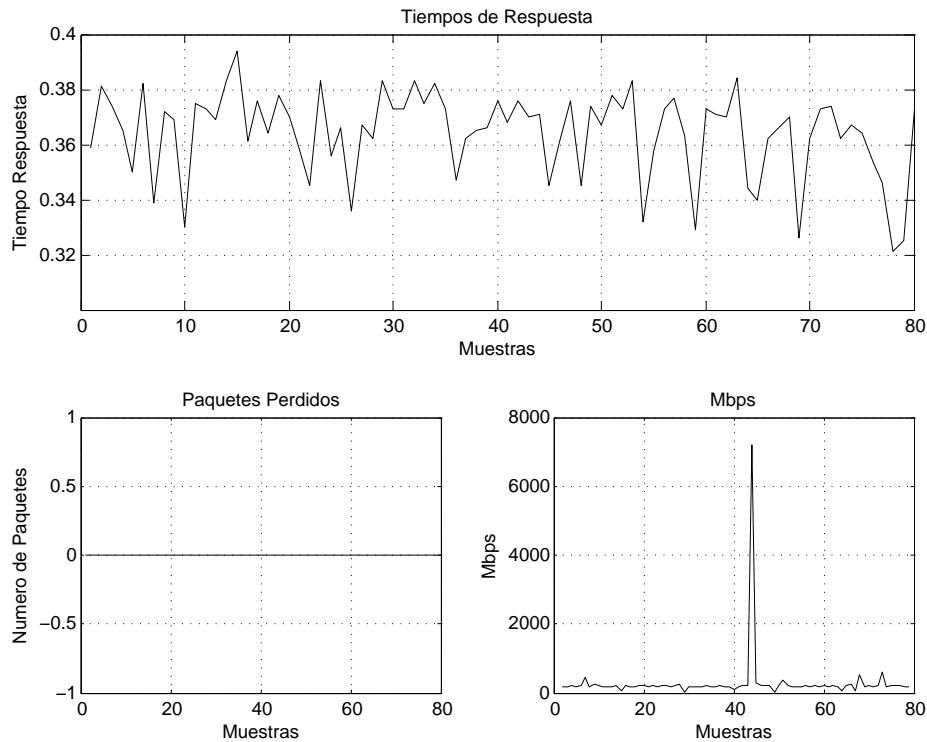
En las figuras 5-14 y 5-15 se muestra una comparación de los tiempos de respuesta después de hacer el control de congestión. Lo que se muestra en la figura 5-14 es la comparación de los tiempos de respuesta de la subred de economía respecto a las otras subredes. Como la escala de los tiempos de respuesta de economía son muy altos, en promedio de  $11ms$  respecto a  $0,4ms$  de las otras subredes, los datos se presentan en otra gráfica de la misma figura 5-14. En la figura 5-15 se muestra la comparación de los tiempos de respuesta de la subred IBUN respecto a las demás subredes. Las mediciones tomadas una vez más muestran independencia entre las acciones que se ejecutan sobre los puertos del conmutador y además, el rendimiento no se afecta.



**Figura 5-10.:** Comportamiento red economía fin de semana

Por otro lado, se pueden hacer varias inferencias después de hacer la operación del control de congestión, una de estas inferencias es sobre las acciones correctivas que puede hacer el administrador de red, una vez que se haya reducido el ancho de banda, los tiempos de respuesta de ese equipo en particular empiezan a aumentar y la aplicación u operación que se esté ejecutando perderá desempeño y puede ser posible identificar dicha aplicación para limitar los recursos parcial o totalmente. Otra acción puede ser apagar el puerto identificado, aunque será una acción muy agresiva, se busca proteger la estabilidad de toda la red y posiblemente prevenir ataques de denegación de servicio o sobrecarga de los equipos activos de la red.

Al revisar los resultados de la generación de congestión sobre las subredes, se observa nuevamente la independencia entre el comportamiento de los puertos del conmutador, ya que al afectar los puertos troncales de la subred que se quería congestionar, los demás puertos presentaron un buen funcionamiento y no existió aumento en los porcentajes de utilización de los otros canales troncales. Las variables que se tomaron en cuenta para verificar la congestión de las subredes fueron los tiempos de respuesta, los paquetes perdidos y el *throughput* evidenciado en el puerto afectado. Estas variables representan muy bien los estados de la red LAN y son indicadores de precisión para dar alarmas sobre la congestión. Esta información



**Figura 5-11.:** Comportamiento red unisalud fin de semana

puede ser tomada por el administrador de red y tomar las medidas correctivas para solucionar el problema.

La evidencia de la afirmación anterior se puede ver en la figura **5-16**, la cual representa la independencia entre los tiempos de respuesta cuando se congestionó la subred de economía.

En la figura **5-16** se observa que cuando los tiempos de respuesta de la subred de economía aumentan tras haber hecho una reducción del ancho de banda de su canal troncal, los tiempos de respuesta de las demás subredes se mantienen en un promedio de  $0,38\text{ ms}$ , mientras que los tiempos de la subred de economía está en promedio de  $120\text{ ms}$ . Por otro lado se puede ver que el elemento de red tiene un buen manejo de equilibrio entre los puertos, ya que los protege de presentar saturación y el controlador implementado también se soporta en esta característica del elemento de red.

Las circunstancias en las cuales se efectuaron las pruebas de control, el controlador difuso propone que el ancho de banda sea reducido al  $50\%$ , sin embargo por las condiciones físicas del conmutador la reducción o asignación del ancho de banda se hace en un  $90\%$ , ya que pasa de  $1\text{ Gbps}$  a  $10\text{ Mbps}$ . En otras condiciones físicas u otros equipos de red, se puede proponer realizar el control de congestión al porcentaje que predice el controlador difuso.

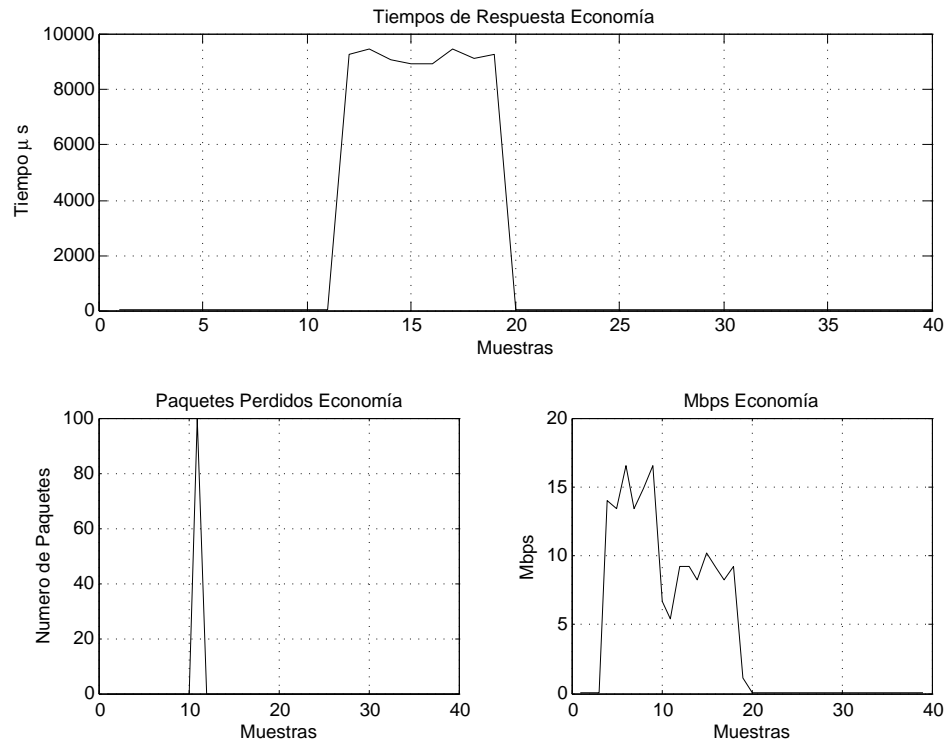


Figura 5-12.: Control sobre la red de economía

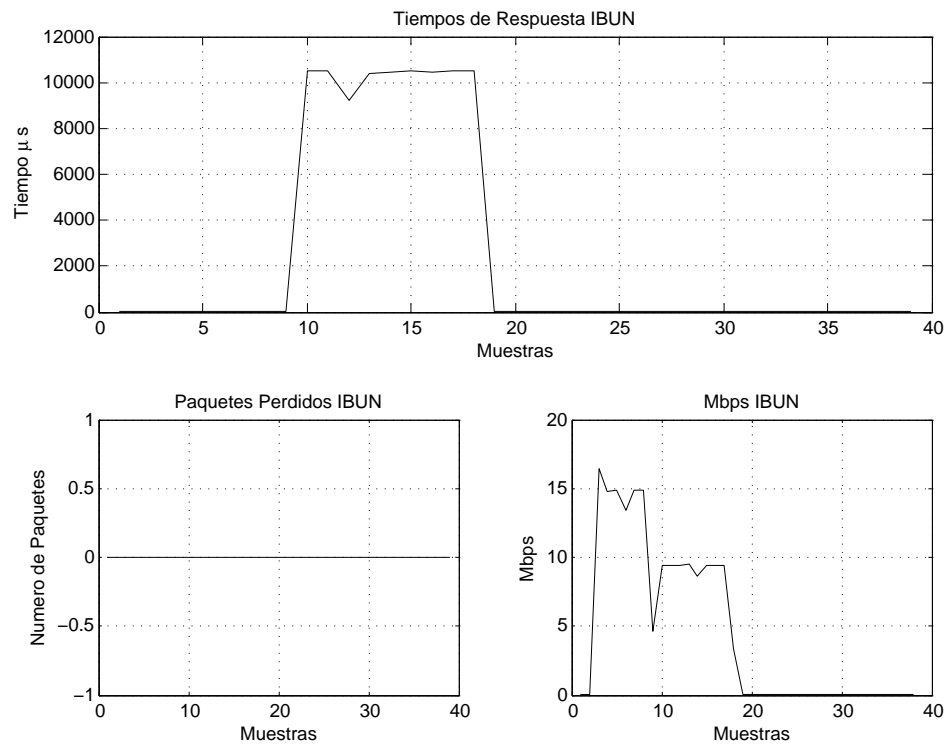


Figura 5-13.: Control sobre la red IBUN

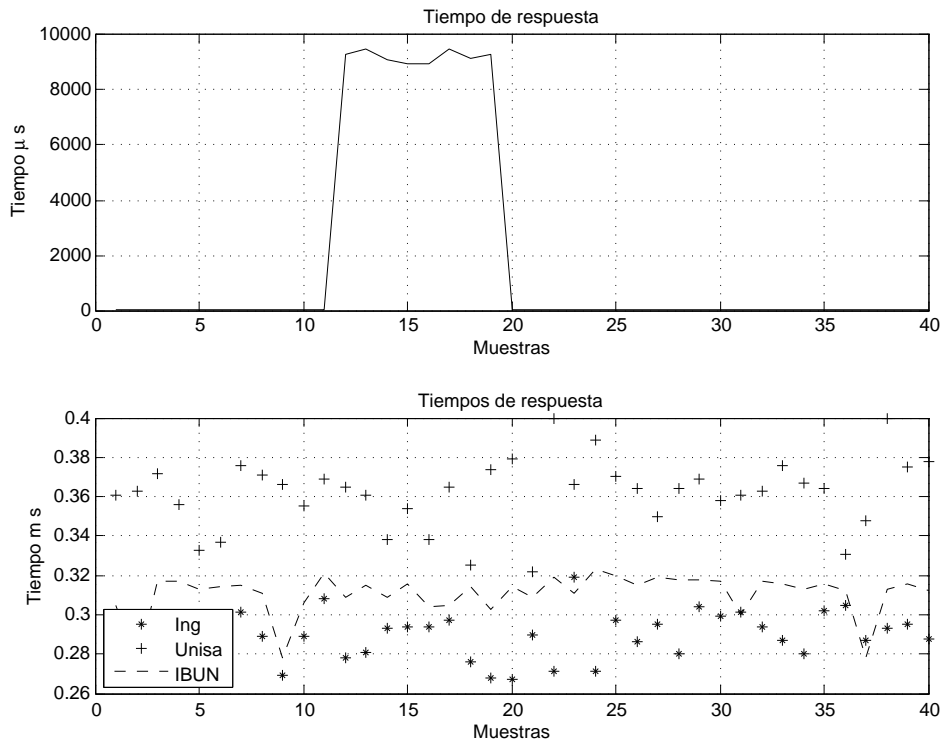


Figura 5-14.: Comparación economía

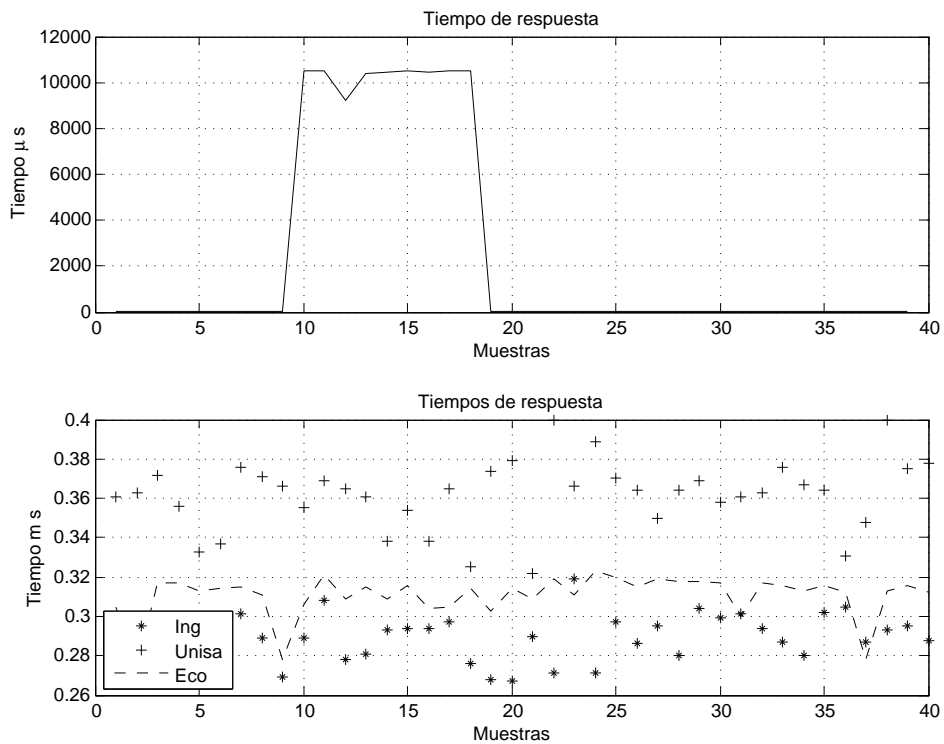


Figura 5-15.: Comparación IBUN

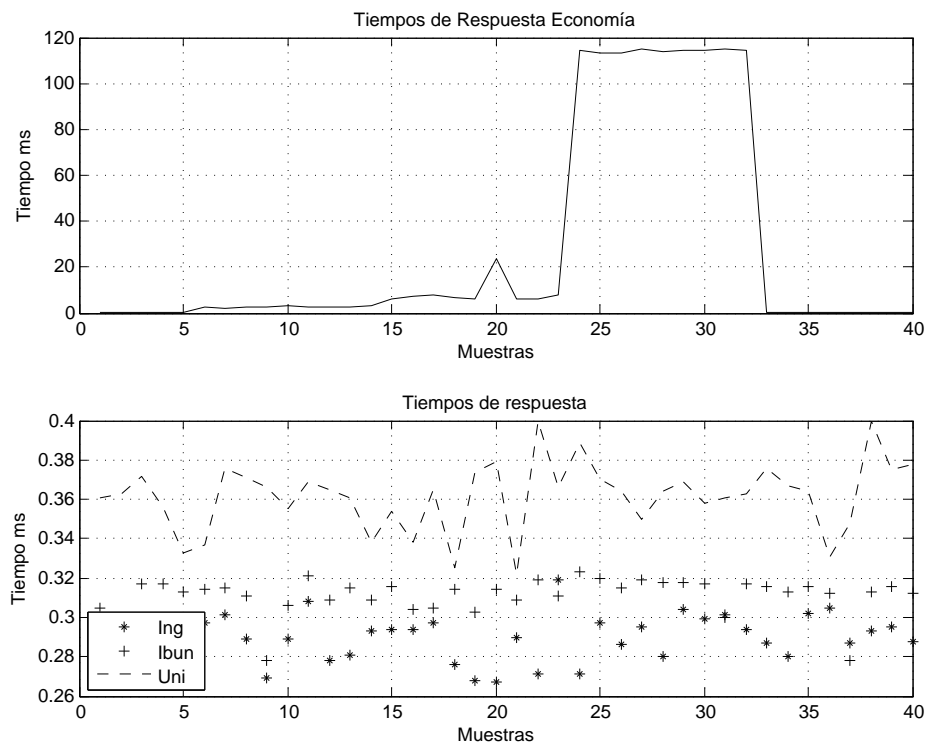


Figura 5-16.: Comparación independencia de congestión

# 6. Conclusiones y perspectivas

## 6.1. Conclusiones

- Se propuso y se hizo un modelo de control de congestión basado en un sistema de inteligencia computacional. Con este sistema se logra ejercer un control de congestión sobre un ambiente controlado emulando una red LAN. El sistema de inteligencia computacional que se diseñó fue un controlador difuso que dio las bases para la implementación del control de congestión.
- El modelo de control de congestión se ha desarrollado para que funcione de manera general en cualquier arquitectura de red LAN, las pruebas que se realizaron fueron sobre un ambiente controlado que está constituido con una arquitectura soportada en equipos *Cisco*.
- El ambiente controlado que se diseñó para ejecutar las diferentes pruebas está basado en un esquema similar a una red LAN corporativa de la Universidad Nacional, ya que cuenta con una jerarquía basada en capacidad de mayor a menor. Esta característica del ambiente controlado ha dado la facilidad de emular el ambiente real de la red LAN.
- Las pruebas realizadas para forzar la congestión en el ambiente controlado, han dado como resultado una independencia entre las diferentes redes, es decir, que si una subred está congestionada, no tiene por qué afectar el funcionamiento de las demás subredes. Esta cualidad también se observó en las pruebas realizadas a la red real de Universidad Nacional. De modo que el ambiente que se diseñó garantiza unas condiciones muy similares a la red real y así los resultados del modelo de control diseñado es escalable a ambientes reales.
- El diseño del controlador difuso es la base para la toma de decisión del modelo de control de congestión. Esto se debe a que el controlador difuso ha dado las pistas necesarias de como se debería comportar el controlador cuando debiera tomar la decisión de la asignación de ancho de banda. En el controlador difuso se evaluaron diferentes circunstancias en las cuales podría encontrarse la red a controlar, estas circunstancias fueron consignadas en la base de conocimiento del controlador difuso.
- Una de las características que se buscaba en el modelo de control de congestión era que fuera efectivo cuando ejecutara su acción de control. Esto se logró ya que se hace

una asignación de ancho de banda menor al puerto en donde esta conectado el equipo que este causando la congestión, pero esta reducción solo afecta al equipo generador y no a los demás equipos de la subred.

- El controlador al ser diseñado para trabajar sobre los elementos de red y no sobre los protocolos de control se hace flexible, de modo que se puede combinar con cualquier sistema de gestión de red, dado que se basa en el protocolo SNMP para su funcionamiento. El modelo de control sigue con las premisas de un sistema de gestión, maneja el paradigma gestor agente y una base de datos de administración, para el caso del modelo diseñado el gestor actúa en el servidor de aplicaciones web, el agente se ubica en el conmutador de acceso y la base de datos también se ubica en el servidor de aplicaciones.
- Respecto al rendimiento de la red o las subredes cuando se ejerce el control de congestión se maneja un margen de buen desempeño de los puertos del conmutador, ya que la asignación del ancho de banda hace que los tiempos de respuesta de ese puerto aumente pero los demás tiempos de respuesta siguen sin modificarse, de manera que el modelo refuerza las políticas de equilibrio del conmutador y el desempeño se mantiene en un nivel adecuado.

## 6.2. Recomendaciones

- Una de las etapas posteriores de esta investigación es seguir adelantando pruebas sobre el ambiente controlado, pero teniendo mayores capacidades físicas sobre el conmutador de acceso, es decir tener más amplio rango de velocidad a controlar.
- Hay otros recursos además del ancho de banda que se pueden controlar para dar alivio a la congestión en las redes de datos. En esta investigación solo se tuvo en cuenta la asignación de ancho de banda, pero hay otros recursos como tiempos de retransmisiones, capacidad de los *buffers* en los elementos de red (por ejemplo de enrutadores) o manejo de capacidad de procesamiento de dichos elementos. Se puede pensar en diseñar un modelo de control para cada uno de los recursos anteriormente mencionados o diseñar un modelo general que abarque todos los recursos. Pero un modelo de esta envergadura, tendrá una gran complejidad de diseño.
- Los sistemas de inteligencia artificial son robustos para solucionar varios tipos de problemas complejos; en esta investigación que se basó un sistema de lógica difusa, pero también se puede pensar en desarrollar otros métodos de control basado en otras técnicas de inteligencia artificial, como por ejemplo, una red neuronal que puede evaluar más variables de interacción entre los elementos de la red o utilizar un diseño de agentes móviles inteligentes que puedan llevar información de un elemento de red a otro, mejorando el desempeño del control de la congestión.



## A. Anexo: Script de PHP Controlador

Con el siguiente código *PHP* se realiza el control de congestión en los puertos del conmutador. Se establece una conexión *SSH* del servidor de aplicaciones al conmutador de acceso, luego se extrae la tabla de direcciones *MAC*, con esta información se hace el proceso de clasificación de los *host* que más tráfico están generando. Cuando se tiene esa información se tiene el candidato a ser controlado, pero primero se tiene hacer una comparación de que el puerto este habilitado para ser gestionado, ya que el el puerto puede existir una conexión hacia otro dispositivo de red, por ejemplo otro conmutador. Luego de hacer la validación del puerto se propone en realizar la gestión, reedición la calidad del puerto según los niveles de congestión.

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//IETF//DTD HTML 2.0//EN">
<html>
<head>
<title>The WorldsEnd.NET - Free Ping Script, written in PHP</title>
</head>
<body>
<?php
    include("Net/SSH2.php");

    $ssh = new Net_SSH2("168.176.22.9");
    $user = "XXXXXXX";
    $pwd = "XXXXXXX";
    if (!$ssh->login($user, $pwd)) {
        exit("Login failed");
    }
    $macs = $ssh->exec("show mac-address-table");
    $lines = explode("\n", $macs);
    //echo "Num lineas = " . count($lines) . "\n";
    $n = 1;
    for($n = 0; $n < count($lines); $n++) {
        $lin = $lines[$n];
        //print "Linea $n = $lin\n";
        if ($n >= 5) {
            $dato=preg_split("/ /",$lin,4,PREG_SPLIT_NO_EMPTY);
```

```
        if ($dato[0] != "Total"){
            $mac = str_replace(".", "", $dato[1]);
            if (count($dato) >=3 ) {
                $m = explode("/", $dato[3]);
                if (count($m) >= 1) {
                    $puertos[$mac]=$m[1];
                }
            }
        }
    }
}

$exec = exec("./juana.sh",$lineas);
$impr = 1;
foreach ($lineas as $linea)
{
    $dato=preg_split("/ /",$linea,10,PREG_SPLIT_NO_EMPTY);
    $dir1=str_replace(":", "", $dato[0]);
    $dir2=str_replace(":", "", $dato[2]);
    $bytes=$dato[8];
    if(empty($arr[$dir1]))
        $arr[$dir1]=($bytes * 8)/10;
    else
        $arr[$dir1]+=($bytes * 8)/10;
    if(empty($arr[$dir2]))
        $arr[$dir2]=($bytes * 8)/10;
    else
        $arr[$dir2]+=($bytes * 8)/10;
}

asort($arr);
$arrf=array_reverse($arr);
$pto = "0";
foreach ($arr as $dirmac => $bps) {
    print "$dirmac -> $bps -> $puertos[$dirmac]<br>\n";
    if (!empty($puertos[$dirmac])) {
        if(($puertos[$dirmac] != 1) && ($puertos[$dirmac] != 7) && ($puertos[$dirmac] != 0))
            $pto = $puertos[$dirmac];
    }
}
```

```

        }
    }
}

    if ($pto != "0") {
?>
<form action="cambiarbw.php" method="get">
Velocidad para el puerto <b><?php echo $pto; ?></b>: <select name="valor">
    <option value="1">Automatica (1GB)</option>
    <option value="100000000">100 Megabits</option>
    <option value="10000000"> 10 Megabits</option>
</select>
<input type="submit" value="Realizar cambio">
<?php echo "<input type='hidden' value='$pto' name='pto'>"; ?>
</form>
<?php
    }
    else {
        echo "<p>No hay puerto a cambiar</p>";
    }
?>
</body>
</html>

```

En el siguiente código *php* se muestra la forma en la cual se hace la configuración de la sesión **SPAN**. Este proceso depende la información del informador.

```

<?php

    include("Net/SSH2.php");

    $vlan = $_GET["vlan"];

    $ssh = new Net_SSH2("168.176.22.9");
    $user = "JOAQUIN";
    $pwd = "JOAQUIN";
    if (!$ssh->login($user, $pwd)) {
        exit("Login failed");
    }
    $ssh->write("enable\n");

```

---

```
echo $ssh->read("Password:");
$ssh->write("joaquin\n");
$ssh->write("conf t\n");
echo $ssh->read('CNTL/Z');
$ssh->write("no monitor session 1 source vlan 16\n");
$ssh->write("no monitor session 1 source vlan 26\n");
$ssh->write("no monitor session 1 source vlan 54\n");
$ssh->write("no monitor session 1 source vlan 85\n");
$ssh->write("monitor session 1 source vlan $vlan\n");
$ssh->write("exit\n");
$ssh->write("wr\n");
echo $ssh->read("[OK]");
```

```
$dir="";
if ($vlan == "16") {
    $dir="168.176.16.0/23";
}
elseif ($vlan == "26") {
    $dir = "168.176.26.0/23";
}
elseif ($vlan == "54") {
    $dir = "168.176.54.0/24";
}
elseif ($vlan == "85") {
    $dir = "168.176.85.0/24";
}
```

```
$fp = fopen("vlan.txt", "w");
fwrite($fp, $dir);
fclose($fp);
echo "<br>Escrito $dir en el archivo";
```

?>

# Bibliografía

- [1] ABED, Ghassan A. ; ISMAIL, Mahamod ; JUMARI, Kasmiran: Exploration and evaluation of traditional TCP congestion control techniques.
- [2] ANJA FELDMANN, Polly Huang Walter W.: Dynamics of IP traffic: A study of the role of variability and the impact of control. En: *SIGCOMM '99* (1999)
- [3] BY STEVEN H. LOW, John C. D.: Internet Congestion Control. En: *IEEE Control Systems Magazine* (2002)
- [4] CALYAM, D.; Sridharan M.; Schopis P.: Active and passive measurements on campus, regional and national network backbone paths. En: *Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. Proceedings. 14th International Conference on* 1 (2005), p. 537 – 542
- [5] CHAN, Yi-Cheng ; LIN, Chia-Liang ; CHAN, Chia-Tai ; HO, Cheng-Yuan: Research, Innovation and Vision for the Future, 2008. RIVF 2008. IEEE International Conference on. En: *Ind. Eng. Chem. Res.* 33 (2008), p. 1013 – 1029
- [6] CHANG, Ben-Jye ; LIN, Shu-Yu ; JIN, Jun-Yu: LIAD: Adaptive bandwidth prediction based Logarithmic Increase Adaptive Decrease for TCP congestion control in heterogeneous wireless networks.
- [7] CHRYSOSTOMOS CHRYSOSTOMOU, George Hadjipollas Marios P. ; SEKERCIOGLU, Ahmet: Congestion control in differentiated services networks using fuzzy logic. En: *Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on* 1 (2004), p. 549– 556
- [8] DINA KATABI, Charlie R.: Congestion Control for High Bandwidth-Delay Product Networks. En: *Proceedings of the 2002 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, 2002
- [9] GUAN, Xinping ; CHEN, Cailian: Adaptive fuzzy control for chaotic systems with H<sup>2</sup> tracking performance.
- [10] GUAN, Xinping ; CHEN, Cailian: H Variable universe adaptive fuzzy control for chaotic system.
- [11] JAIN, Raj: Congestion Control in Computer Networks: Issues and Trends.

- 
- [12] KELLY, Frank: Fairness and stability of end-to-end congestion control. En: *SIGCOMM Computer Communication Review* (2008)
- [13] L. MASSOULIE, J.W. R.: Bandwidth sharing and admission control for elastic traffic. En: *Telecommunication Systems* 15 (2000), p. 17
- [14] LAZASR, Aurel A. ; PACIFIC, Givanni: Control of Resources in Broadband Networks with Quality of Service Guarantees.
- [15] ANS M. SHAFIEE, R. B. ; DADLANI, A.: Adaptive generalized minimum variance congestion controller for dynamic TCP/AQM networks.
- [16] P. JANACIK, and U. Rerrer: A routing approach using swarm-intelligence for resource sharing in wireless ad hoc networks. En: *Mobile Future, 2004 and the Symposium on Trends in Communications. SympoTIC '04. Joint IST Workshop on* 1 (2004), p. 170 – 174
- [17] PEI, L.J. ; MU, X.W. ; WANG, R.M. ; YANG, J.P.: Dynamics of the Internet TCP?RED congestion control system.
- [18] ROSBERG, Zvi ; MATTHEWS, John ; ZUKERMAN, Moshe: A network rate management protocol with TCP congestion control and fairness for all.
- [19] SCHARF, Michael: Comparison of end-to-end and network-supported fast startup congestion control schemes. En: *Ind. Eng. Chem. Res.* 55 (2011), p. 1921–1940
- [20] STEVEN H. LOW, David E. L.: Optimization Flow Control, I: Basic Algorithm and Optimization Flow Control, I: Basic Algorithm and Convergence. En: *Networking, IEEE/ACM Transactions on* (2003), p. 1–5
- [21] STUART J. RUSSELL, Peter N. (Ed.): *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Prentice-Hall Hispanoamericana, address=México, year=1996,
- [22] TENGA, Yanping ; WANGA, Haizhen ; MEI JINGA, Zuozheng L.: A Study of Improved Approaches for TCP Congestion Control in Ad Hoc Networks.
- [23] WANG, Sheng-Shuen ; HSIAO, Hsu-Feng: TCP-friendly congestion control for the fair streaming of scalable video.
- [24] WANG, Tanaka K. ; GRIFFIN, M.F: An approach to fuzzy control of nonlinear systems: stability and design issues.
- [25] XIAOJUN LIN, Ness B. S.: On the Stability Region of Congestion Control. En: *IEEE Journals* (2006)