



## MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UNA RED ETHERNET

Lic. Carlos A. Rincón C.  
Universidad Rafael Belloso Chac n.

### RESUMEN

El rendimiento de las redes ethernet es uno de los parámetros mas estudiados por los investigadores de las redes de área local. El propósito de la investigación fue la formulación de un modelo matemático para la estimación del rendimiento de una red ethernet, con la finalidad de proporcionar a los investigadores una herramienta teórica que permita determinar el comportamiento bajo ciertos parámetros (tamaño del bus, tamaño del marco de datos, número de computadores, entre otros), de cualquier red ethernet. Para lograr esto se realizó la formulación y validación del modelo matemático desarrollado, variando los valores de los parámetros antes mencionados y comparando los resultados del mismo con los resultados de la simulación practica realizada bajo las mismas condiciones. Para realizar la simulación práctica se seleccionaron 16 computadores (con las mismas especificaciones) del laboratorio de computación de la Licenciatura en Computación de la Universidad del Zulia, en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Los resultados de la comparación demostraron que el modelo matemático planteado responde en un alto porcentaje al comportamiento de las redes ethernet en la vida real, lo que permite demostrar la validez del mismo.

**Palabras Claves:** Modelo Matemático, Redes de  rea Local, Ethernet, Simulación, Rendimiento.

### ABSTRACT

The performance of Ethernet networks is one of the most studied parameters by researchers of local area networks. The purpose of this research was the formulation of a mathematical model to estimate the performance of an Ethernet network, in order to provide investigators with a theoretical tool that allows to determine the behavior under certain parameters (bus size, frame size, number of hosts, others) of any Ethernet network. The formulation and validation of the developed mathematical model was made varying the before mentioned parameter values and comparing the results with those of the practical simulation made under the same conditions. To do the practical simulation, 16 computers (with the same specifications) from the computer laboratory of the Computer Science school of the University of Zulia in



Maracaibo, State of Zulia, Venezuela, were chosen. The results of the comparison showed that the mathematical model responds in a high percentage to the behavior of the Ethernet networks in the real life, which allows to demonstrate validity of the model.

**Key Words:** Mathematical Model, Local Area Networks, Ethernet, Simulation, Performance.

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento de las redes de datos es una de las variables mas estudiadas por los investigadores debido a su importancia en el funcionamiento de las mismas. El presente estudio tiene la finalidad de encontrar una herramienta teórica que permita a través de un modelo matemático, estimar el rendimiento de una red Ethernet.

Para lograr el objetivo propuesto, se formuló un modelo matemático basado en la teoría de las redes Ethernet, variando exclusivamente los parámetros: número de computadores y tamaño del marco de datos por razones de complejidad.

Posteriormente se realizó una simulación practica (bajo las mismas condiciones) de los experimentos simulados por el modelo matemático formulado, utilizando para esto los equipos de computación e infraestructura de la Licenciatura en Computación de la Universidad del Zulia.

Por ultimo, se validó el modelo matemático formulado comparando los resultados de la simulación teórica con los resultados de la simulación práctica.

## Planteamiento del Problema

El uso de redes de área local (LAN) para la interconexión de sistemas de cómputo es hoy en día un estándar para la mayoría de las organizaciones empresariales. Existen muchas tecnologías LAN en el mercado, de las cuales el estándar de la (IEEE) 802.3 (mejor conocido como Ethernet) es una de las más usadas.

Existen muchos factores determinantes para la selección de la tecnología LAN a implantar, dentro de los cuales destacan los factores económicos y los de rendimiento. Estos últimos permiten medir el potencial de cierta tecnología tomando en cuenta las características específicas del modelo a implantar.

El estándar Ethernet esta basado en el protocolo de acceso al medio



Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect (CSMA/CD) con una velocidad de transmisión de 10 Mbit por segundo y fue creado y publicado por la International Standard Organization (ISO) en 1980 y sirvieron de base en 1985 para crear la norma IEEE802.3 y para futuras versiones de Ethernet (Fast-Ethernet y Gigabit-Ethernet).

El estándar Ethernet funciona en la práctica, pero desde el punto de vista teórico es difícil observar como trabaja dado el carácter probabilístico de las variables con las que opera.

El sobre-dimensionamiento o sub-dimensionamiento de las redes es un problema producto del diseño empírico de las mismas, lo que se traduce en una mala inversión económica o en mal rendimiento de las redes.

La necesidad de contar con una herramienta que permita determinar el rendimiento de una red LAN Ethernet, bajo ciertas condiciones específicas sin realizar inversión alguna en equipamiento de red, se traduce en un manejo eficiente de los recursos económicos de una organización.

Por lo antes expuesto el presente estudio plantea la formulación de un modelo matemático que permita estimar el rendimiento de una red LAN Ethernet, para así tener de antemano una aproximación de cómo funcionará la red a implantar.

Para lograr los objetivos del estudio, primero se investigaron los conceptos teóricos necesarios para comprender el funcionamiento de una red Ethernet, así como identificar las variables que afectan dicho funcionamiento. Luego se diseñará un modelo matemático que permita estimar el rendimiento de una red LAN Ethernet, y por último se comparará los valores teóricos con los simulados para validar el modelo desarrollado.

### **Metodología Aplicada**

El primer paso para realizar la investigación planteada, consistió en formular el modelo matemático que define el rendimiento de las redes ethernet. Para esto se utilizó la teoría y estudios pasados en el área de las redes ethernet que permitieron definir el modelo matemático a utilizar.

Los conceptos de intervalo de transmisión e intervalo de contención (definidos en el marco teórico), son fundamentales para definir el modelo matemático, ya que se puede definir la utilización máxima de una red ethernet como la longitud del intervalo de transmisión con respecto a un ciclo que consta de un intervalo de transmisión y otro de contención. Matemáticamente esto se traduce en:



$$U = \frac{I_T}{I_T + I_C} = \frac{\frac{1}{2a}}{\frac{1}{2a} + \frac{(1-A)}{A}} = \frac{1}{1 + \frac{2a(1-A)}{A}}$$

Las variables presentes en este modelo están basadas en indicadores que definen el experimento a realizar. En el caso de la variable A  $((1-1/N)^{N-1})$ , N es el número de computadores presente en la red, y en el caso de la  $(R.d/V.L)$ , R es la tasa de transmisión (constante = 10000000 bps), d es la distancia del bus en metros, V es la velocidad de propagación en el medio (constante =  $2 \times 10^8$  m/seg) y L es el tamaño del marco de datos en Bytes.

Definidos los parámetros a variar en el estudio (N,d,L), se establecieron los rangos para dichos parámetros. En el caso de N se realizaron cálculos para 2, 4, 8, y 16 computadores respectivamente, considerando el número de computadores presentes en el laboratorio de LICOM, así como que los mismos tuviesen las mismas características.

Para el parámetro d, se estableció una distancia constante para todos los experimentos de 200 m (limitaciones de materiales). Por último (y a pesar que en el mundo real no es así), se definieron valores fijos de 64, 128, 256, 512 y 1024 Bytes, para el tamaño del marco de los datos.

Es importante resaltar que para el caso del tamaño del marco de datos, a los valores fijos definidos se les sumaron 24 Bytes que representan 8 Bytes de preámbulo, 4 Bytes de chequeo de errores y 12 Bytes que representan el espacio entre paquetes (9,6  $\mu$ seg).

Tomando en cuenta los 24 Bytes sumados al valor del tamaño del marco de datos, se procedió a calcular el tiempo que representa el envío de esos Bytes:  $\text{Numero de Bytes} * 8 \text{ (bits)} / 10000000 \text{ bits/seg}$ . Luego se procedió a calcular la máxima cantidad de marcos que se pueden enviar por segundo:  $\frac{1 \text{ Frame}}{\text{Tiempo para enviar el frame}}$ ,

En el caso de un paquete de 64 Bytes tenemos que el tiempo para enviar el paquete es igual a  $((64 + 24) * 8 \text{ bits}) / 10000000 \text{ bits/seg} = 70,4 \mu\text{seg}$ , luego la cantidad máxima de marcos que pueden enviarse por segundo es igual a  $1/70,4 \mu\text{seg} = 14204,54 \text{ marcos/segundos}$ .

Esta fórmula permitió el cálculo de la máxima cantidad de marcos que se puede transmitir por segundo, para cada uno de los tamaños de marco definidos. Luego se procedió a calcular con el modelo matemático formulado



la utilización máxima de la red, manteniendo constante el tamaño del marco de datos y variando el número de computadores presentes en la red. Al multiplicar la máxima cantidad de marcos que se puede enviar por segundo, por el porcentaje de utilización de la red calculado para cada caso, se produce como resultado el número máximo de marcos que se puede enviar por esa red, y por consiguiente se puede medir el rendimiento de la misma.

El segundo paso consistió en simular prácticamente los experimentos realizados teóricamente, para comprobar la veracidad de los mismos. Para esto se utilizaron los equipos de computación de la Licenciatura en Computación de la facultad Experimental de Ciencias de LUZ.

Para lograr lo antes expuesto se utilizó un simulador de redes ethernet (NETSIM), que permite establecer los parámetros básicos definidos en el experimento (número de computadores, tamaño del bus, tamaño del marco de datos, entre otros).

Se realizaron 10 repeticiones por cada experimento simulado, esto con la finalidad de obtener un valor promedio que se acerque a los valores que se presentan en condiciones de operación normal.

Por último, al comparar los valores del modelo matemático con los valores prácticos, se demostró que el modelo desarrollado representa una estimación válida de lo que ocurre en la práctica.

### **Materiales y Equipos**

Los equipos de computación utilizados son de los laboratorios de docencia de LICOM. Se utilizaron 16 equipos de computación con las mismas características (celeron 400 Mhz, 64 Mb de memoria ram, disco duro de 4 Gb, tarjeta de red 10 base 2), para evitar que el rendimiento de las estaciones presentes en la red influyera en el rendimiento de la misma. Desde el punto de vista de la red, se utilizó 1 concentrador marca genius (10 base 2) y aproximadamente 200 m de cable coaxial.

En cuanto al software, se utilizó un simulador de redes llamado NETSIM, desarrollado para la plataforma Solaris (UNIX), recopilado para la Linux distribución redhat 7.2. Este software fue desarrollado por el profesor Lewis Barnett, miembro del departamento de Matemática y Computación de la Universidad de Richmond.

### **Resultados de la Investigación**

Los experimentos fueron realizados manipulando dos variables



fundamentales las cuales (según la teoría expuesta) juegan un papel fundamental en el rendimiento de las redes ethernet.

Las variables manipuladas fueron número de computadores y tamaño del marco de datos. En el caso del número de computadores se utilizaron 2, 4, 8, 16, computadores, mientras que en cuanto al tamaño del marco de datos se utilizaron marcos de 64, 128, 256, 512, 1024 Bytes.

El estudio consistió en conectar a un bus de 200 m de cable 10 base 2 (coaxial fino) el número de computadores antes descrito, ubicando los mismos a distancias iguales. Para cada valor definido de la variable tamaño del marco de datos, se varió el tamaño del número de computadores. Se realizó la simulación de la transmisión de 30000 marcos de datos a través de la red, para poder determinar el rendimiento de la misma.

### Experimento 1: Marcos de datos de 64 Bytes

$$\frac{\text{Tiempo para enviar un marco de 64 bytes} = (64 + 24) * 8 \text{ bits}}{10000000 \text{ bits / seg}} = 70,4 \mu\text{seg}$$

$$\text{Número de Marcos por segundo} = \frac{1 \text{ marco}}{70,4 \mu\text{seg}} = 14204,54 \text{ marcos/seg}$$

$$a = \frac{R.d}{V.L} = \frac{10000000 \text{ bps} \times 200 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/seg} \times (64 \times 8 \text{ bits})} = 1,953125 \times 10^{-2}$$

### 2 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^1 = 0,5 \quad U = \frac{1}{1,039063} = 0,962406$$

$$14204,54 \text{ marcos/seg} \times 0,96240602 = 13670,54 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando tráfico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (13878,57 marcos/seg).



#### 4 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{4}\right)^3 = 0,421875 \quad U = \frac{1}{1,05353} = 0,94919$$

$$14204,54 \text{ marcos/seg} \times 0,94919 = 13482,81 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acerca al calculado por el modelo matemático formulado (13719,98 marcos/seg).

#### 8 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{8}\right)^7 = 0,392696 \quad U = \frac{1}{1,06041} = 0,9430313$$

$$14204,54 \text{ marcos/seg} \times 0,9430313 = 13395,33 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (13684,68 marcos/seg).

#### 16 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{16}\right)^{15} = 0,379812 \quad U = \frac{1}{1,063784} = 0,94004$$

$$14204,54 \text{ marcos/seg} \times 0,940040 = 13352,84 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (13031,65 marcos/seg).

#### Experimento 2: Marcos de datos de 128 Bytes

Tiempo para enviar un marco de 128 bytes=

$$\frac{(128 + 24) * 8 \text{ bits}}{10000000 \text{ bits / seg}} = 121,6\mu\text{seg}$$



$$\text{Número de Marcos por segundo} = \frac{1 \text{ marco}}{121,6\mu\text{seg}} = 8223,68 \text{ marcos/seg}$$

$$a = \frac{R.d}{V.L} = \frac{10000000\text{bps} \times 200\text{m}}{2 \times 10^8 \text{m/seg} \times (128 \times 8\text{bits})} = 9,765625 \times 10^{-3}$$

## 2 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^1 = 0,5 \quad U = \frac{1}{1,019531} = 0,980842$$

$$8223,6842 \text{ marcos/seg} \times 0,980842 = 8066,14 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (8113,49 marcos/seg).

## 4 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{4}\right)^3 = 0,421875 \quad U = \frac{1}{1,026765} = 0,973932$$

$$8223,6842 \text{ marcos/seg} \times 0,973932 = 8009,31 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (8111,33 marcos/seg).

## 8 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{8}\right)^7 = 0,392696 \quad U = \frac{1}{1,030205} = 0,970680$$

$$8223,6842 \text{ marcos/seg} \times 0,970680 = 7982,57 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (8008,67 marcos/seg).



### 16 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{16}\right)^{15} = 0,379812 \quad U = \frac{1}{1,031892} = 0,969094$$

$$8223,6842 \text{ marcos/seg} \times 0,969094 = 7969,52 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el numero de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (7783,2373 marcos/seg).

### Experimento 3: Marcos de datos de 256 Bytes

Aplicando los conocimientos expuestos en el marco teórico, se calculó la máxima cantidad de marcos que se puede enviar dadas las características de la red definida para el estudio.

$$\text{Tiempo para enviar un marco de 256 bytes} = \frac{(256 + 24) * 8 \text{ bits}}{10000000 \text{ bits / seg}} = 224 \mu\text{seg}$$

$$\text{Número de Marcos por segundo} = \frac{1 \text{ marco}}{224 \mu\text{seg}} = 4464,2857 \text{ marcos/seg}$$

$$a = \frac{R.d}{V.L} = \frac{10000000 \text{bps} \times 200\text{m}}{2 \times 10^8 \text{m/seg} \times (256 \times 8 \text{bits})} = 4,882812 \times 10^{-3}$$

Luego se procedió a calcular la utilización máxima de la red definida para el experimento, utilizando el concepto de utilización máxima de una red ethernet descrito en la teoría.

### 2 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^1 = 0,5 \quad U = \frac{1}{1,009765} = 0,990328$$

$$4464,2857 \text{ marcos/seg} \times 0,990328 = 4421,11 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de



marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (4431,6769 marcos/seg).

#### 4 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{4}\right)^3 = 0,421875 \quad U = \frac{1}{1,013382} = 0,986794$$

$$4464,2857 \text{ marcos/seg} \times 0,986794 = 4405,33 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acerca al calculado por el modelo matemático formulado (4421,8313 marcos/seg).

#### 8 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{8}\right)^7 = 0,392696 \quad U = \frac{1}{1,015102} = 0,985122$$

$$4464,2857 \text{ marcos/seg} \times 0,985122 = 4397,87 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (4373,027 marcos/seg).

#### 16 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{16}\right)^{15} = 0,379812 \quad U = \frac{1}{1,015946} = 0,984304$$

$$4464,2857 \text{ marcos/seg} \times 0,984304 = 4394,22 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (4275,7982 marcos/seg).

#### Experimento 4: Marcos de datos de 512 Bytes

Aplicando los conocimientos expuestos en el marco teórico, se calculó la máxima cantidad de marcos que se puede enviar dadas las características de la red definida para el estudio.



Tiempo para enviar un marco de 512 bytes=

$$\frac{(512 + 24) * 8 \text{ bits}}{10000000 \text{ bits / seg}} = 428,8\mu\text{seg}$$

Número de Marcos por segundo=

$$\frac{1 \text{ marco}}{\text{tiempo para enviar el marco de 512 Bytes}} = \frac{1 \text{ marco}}{428,8\mu\text{seg}} =$$

$$2385,4962 \text{ marcos/seg}$$

$$a = \frac{R.d}{V.L} = \frac{10000000\text{bps} \times 200\text{m}}{2 \times 10^8 \text{m/seg} \times (512 \times 8\text{bits})} = 2,441406 \times 10^{-3}$$

Luego se procedió a calcular la utilización máxima de la red definida para el experimento, utilizando el concepto de utilización máxima de una red ethernet descrito en la teoría.

## 2 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^1 = 0,5 \quad U = \frac{1}{1,004882} = 0,995140$$

$$2385,4962 \text{ marcos/seg} \times 0,995140 = 2373,90 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (2323,20 marcos/seg).

## 4 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{4}\right)^3 = 0,421875 \quad U = \frac{1}{1,006691} = 0,993353$$

$$2385,4962 \text{ marcos/seg} \times 0,993353 = 2369,64 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (2314,5637 marcos/seg).



### 8 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{8}\right)^7 = 0,392696 \quad U = \frac{1}{1,007551} = 0,992505$$

$$2385,4962 \text{ marcos/seg} \times 0,992505 = 2367,62 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (2292,14 marcos/seg).

### 16 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{16}\right)^{15} = 0,379812 \quad U = \frac{1}{1,007973} = 0,992090$$

$$2385,4962 \text{ marcos/seg} \times 0,992090 = 2366,63 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando trafico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (2257,9268 marcos/seg).

### Experimento 5: Marcos de datos de 1024 Bytes

$$\text{Tiempo para enviar un marco de 1024 bytes} = \frac{(1024 + 24) * 8 \text{ bits}}{10000000 \text{ bits/seg}} = 838,4 \mu\text{seg}$$

$$\text{Número de Marcos por segundo} = \frac{1 \text{ marco}}{838,4 \mu\text{seg}} = 1192,74 \text{ marcos/seg}$$

$$a = \frac{R.d}{V.L} = \frac{10000000 \text{ bps} \times 200 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/seg} \times (1024 \times 8 \text{ bits})} = 1,220703 \times 10^{-3}$$

### 2 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^1 = 0,5 \quad U = \frac{1}{1,002441} = 0,997564$$



$$1192,7481 \text{ marcos/seg} \times 0,997564 = 1189,84 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando tráfico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (1190,4369 marcos/seg).

#### 4 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{4}\right)^3 = 0,421875 \quad U = \frac{1}{1,003345} = 0,996665$$

$$1192,7481 \text{ marcos/seg} \times 0,996665 = 1188,77 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando tráfico máximo en la red) se acerca al calculado por el modelo matemático formulado (1185,4112 marcos/seg).

#### 8 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{8}\right)^7 = 0,392696 \quad U = \frac{1}{1,003775} = 0,996238$$

$$1192,7481 \text{ marcos/seg} \times 0,996238 = 1188,26 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando tráfico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (1175,4585 marcos/seg).

#### 16 Computadores:

$$A = \left(1 - \frac{1}{16}\right)^{15} = 0,379812 \quad U = \frac{1}{1,003986} = 0,996029$$

$$1192,7481 \text{ marcos/seg} \times 0,996029 = 1188,01 \text{ marcos/seg}$$

Los resultados obtenidos del simulador NETSIM sobre el número de marcos transmitidos (considerando tráfico máximo en la red) se acercan al calculado por el modelo matemático formulado (1166,5723 marcos/seg).

#### Análisis de los Resultados

Los resultados obtenidos de la comparación entre el modelo teórico y el



modelo simulado indican que con un error porcentual mínimo el modelo matemático formulado permite estimar el rendimiento de una red ethernet.

Dos aspectos especiales se observaron durante las simulaciones:

Primero se observó que a medida que aumentan el número de computadores presentes en la red, aumenta la diferencia entre los valores del modelo matemático y los valores de la simulación práctica. Esto es producto de que el cálculo de la probabilidad de acceso al medio de un computador (A), depende directamente del número de computadores presentes en la red (N), dado que  $A=(1-1/N)^{N-1}$ .

Segundo se comprobó que a medida que se aumenta el tamaño del paquete utilizado para enviar información a través de la red, se disminuye el error entre el modelo matemático y las simulaciones practicas, inclusive para los experimentos con 16 computadores.

Todo lo antes expuesto, sumado a los resultados mostrados en el presente capitulo, permiten demostrar la validez del modelo matemático formulado y en consecuencia su futura utilización en casos donde se necesite estimar el rendimiento de una red ethernet bajo ciertos parámetros específicos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOGGS David, KENT Christopher, MOGUL Jeffrey. 1988. Measured Capacity of an Ethernet: Myths and Reality. Computer Communication Reviews. Vol. 18. No. 4. Pags. 222-234.

HAMMOND Joseph L., O'REILLY Meter J.P. 1986. Performance Analysis of Local Computer Networks. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts. USA.

STALLINGS, William. 1996. Data and Computer Communications. Quinta Edición. Prentice – Hall. Upper Saddle River, New Jersey. USA

TANENBAUM, Andrew. 1997. Redes de Computadores. Tercera Edición. Pearson Educación. Naucalpán de Juárez. México

UNIVERSITY OF RICHMOND. 1992. Netsim User's Manual. [Anuncio]. Richmond: Barnett Lewis. Obtenido de la Red mundial el 3 de Noviembre de 2002: [http://www.mathcs.richmond.edu/~barnett/netsim/ns\\_user/](http://www.mathcs.richmond.edu/~barnett/netsim/ns_user/)