

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad**

«Diseño de un Sistema de Trasmisión  
digital de Protocolo Múltiple en una  
Red Satelital usando T D M A»

**TESIS DE GRADO**

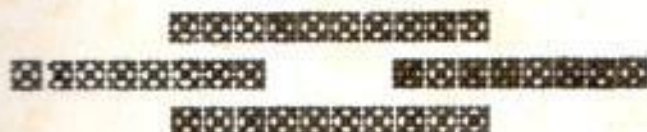
Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**ESPECIALIZACION: ELECTRONICA**

**PRESENTADA POR:**

**Ricardo Terán S.**



**AÑO            LECTIVO**  
**1989           -    1990**

**GUAYAQUIL**

**ECUADOR**

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD.

"Diseño de un Sistema de Transmisión  
Digital de Protocolo Múltiple en una  
Red Satelital usando TDMA."

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD  
ESPECIALIZACION: ELECTRONICA

Presentada por:

RICARDO TERAN S.

GUAYAQUIL - ECUADOR

1989

## A G R A D E C I M I E N T O

AL ING. CESAR YEPEZ F.  
Director de Tesis, por su  
ayuda y colaboración tanto  
por la realización de este  
trabajo como su apoyo durante  
toda mi carrera.



ING. JORGE FLORES MACÍAS  
SUB-DECANO DE LA FIE



ING. CESAR YEPEZ FLORES  
DIRECTOR DE TESIS



ING. PEDRO CARLO PAREDES  
MIEMBRO PRINCIPAL



ING. PEDRO VARGAS CORDILLO  
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos profesionales de la ESPOL).

..... Ricardo Terán S. ....

Ricardo Terán Salazar

## RESUMEN :

En ésta tesis se analizará una clase de protocolo aplicable a un tipo de red de transmisión de comunicación satelital. Se realiza la comparación y cálculos de probabilidad en relación a otros protocolos. Se analiza los estados de la red: Transmisión efectiva, trabajo al vacío (idle) o sin carga y de colisión.

Al incrementarse la instalación de estaciones, por ejemplo en transmisiones efectivas nosotros debemos reducir cada período de trabajo sin carga, esto se obtiene a partir de la utilización de un Sistema de "Protocolo de Múltiple Transmisión".

En efecto nosotros usaremos una parte del estado de transmisión al vacío o sin carga para la transmisión múltiple, así indirectamente incrementamos el rendimiento de la red.

Varios parámetros son analizados, así como la probabilidad de colisión, trabajo al vacío o sin carga y el rendimiento, así como los tiempos de espera y de retardo.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VII
INDICE DE FIGURAS -----	IX
INTRODUCCION -----	XI
CAPITULO I	
DEFINICION DE PARAMETROS Y ASUMICIONES -----	13
CAPITULO II	
2.- ARQUITECTURA Y PROTOCOLOS -----	16
2.1 .- Modelo de Arquitectura -----	16
2.2 .- Protocolos Existentes -----	18
2.2.1. ALOHA Puro -----	19
2.2.2. ALOHA Ranurado -----	20
CAPITULO III	
3.- DESARROLLO DEL ANALISIS -----	21
3.1 .- Análisis General -----	21
3.2 .- ALOHA Puro -----	25
3.3 .- ALOHA Ranurado -----	29
3.4 .- Tamaño Optimo de las Ranuras --	32
3.4.1. Reducción del Tamaño de Ranura	32
3.4.2. Incremento del Tamaño del Slot	33
CAPITULO IV	
4.- ESTADOS DEL CANAL -----	36

CAPITULO V		Pág.
5.-	MULTIPLE TRANSMISION -----	44
5.1.-	Transmisión Doble -----	44
5.2.-	Transmisión Triple -----	58
5.3.-	m- Transmisión -----	71
5.4.-	Número Óptimo de transmisiones --	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----		80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----		82



## INTRODUCCION

En nuestro estudio, se simulará un sistema de red de transmisión via satélite conteniendo las siguientes características, [1][2][4][6] :

- . Transmisión Basada en Paquetes
- . Compartición de un Medio Común (modo de transmisión TDMA)
- . Sin Rotar pero Conteniendo
- . Colisión y Resolución
- . La Información es recibida por algunas o todas las estaciones

La Demanda que es importante en la conmutación de la red, así como el direccionamiento, control de flujo y/o de rotación no son concernientes aquí. Nuestro interés se centrará en el medio de acceso de los protocolos de control.

En el desarrollo de una red de transmisión, no todos los algoritmos de contenido previenen las colisiones. Considerando que el tiempo de propagación entre el satélite y la estación terrena es considerablemente grande (usualmente es de 540 ms. para ida y vuelta), la estación terrena no tiene conocimiento

del estado de la red. Así cuando una estación terrena tiene un paquete listo para transmitir, este desconoce si en las condiciones del canal, es decir si es que esta transmitiendo sin carga (estado idle) ó esta ocupado, por consiguiente las colisiones son inevitables. En esta búsqueda se ha dirigido hacia técnicas de incremento de la utilización del canal y se redujo las retransmisiones como resultado de las colisiones.

La tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

Capítulo 1 : Terminología, definiciones y asunciones.

Capítulo 2 : Selección y descripción de un modelo de arquitectura para una red satelital /HUB, y algunos protocolos existentes.

Capítulo 3 : Desarrollo del análisis del contenido basado en los protocolos.

Capítulo 4 : Explicación y definición de los tres estados de una red de transmisión para un tipo de sistema de comunicación satelital y las probabilidades de que esta red este en cualquiera de estos tres estados.

Capítulo 5 : Se hace referencia del protocolo de múltiple transmisión para presentarlo y analizarlo.

## CAPITULO I

### 1.-DEFINICION DE PARAMETROS Y ASUMICIONKS

Slot ó Ranura : Un tiempo de transmisión de un paquete, la unidad de tiempo para el rendimiento en esta tesis.

G : La carga normalizada referida de la red ó el número de paquetes transmitidos por tiempo de transmisión de paquetes en la red incluyendo las retransmisiones.

N : La probabilidad de que este arribando en arribando a una estación terrena en la siguiente ranura.

S : La probabilidad de que ahí halla exactamente una estación terrena lista para transmitir un paquete en la siguiente ranura (se puede decir que éste es el

rendimiento normalizado de la red)

- I :                    Porcentaje del periodo de Idle (transmisión sin carga) ó la probabilidad de que ninguna estación terrena esté transmitiendo en la siguiente ranura.
- C :                    Porcentaje del Periodo de Colisión, ó la probabilidad de que aquí se encuentren dos o más estaciones terrenas transmitiendo paquetes en la siguiente ranura.
- W :                    Tiempo de Espera, el intervalo de tiempo en el que existe entre el tiempo cuando el primer paquete está arriivando en una (SES) estación terrena cualquiera y el tiempo cuando esta transmisión efectiva empieza.
- D :                    Retardo, intervalo de tiempo entre el tiempo en que el primer paquete arriva a una estación terrena y el tiempo en el que es recibida exitosamente para este

destino.

- $T_p$  : Tiempo de propagación de ida y vuelta entre la estación terrena y el satélite  
 $T_s$  : Velocidad de transmisión (kbit/s)  
 $a$  : Tiempo de propagación normalizado de ida y vuelta (Pt/ranura)  
 HUB : Sistema de Transmisión de alta Potencia para comunicación satelital.  
 TDMA : Acceso Múltiple por división de tiempo.

Suposiciones:

1. El canal está libre de errores
2. Todos los paquetes son de igual tamaño.

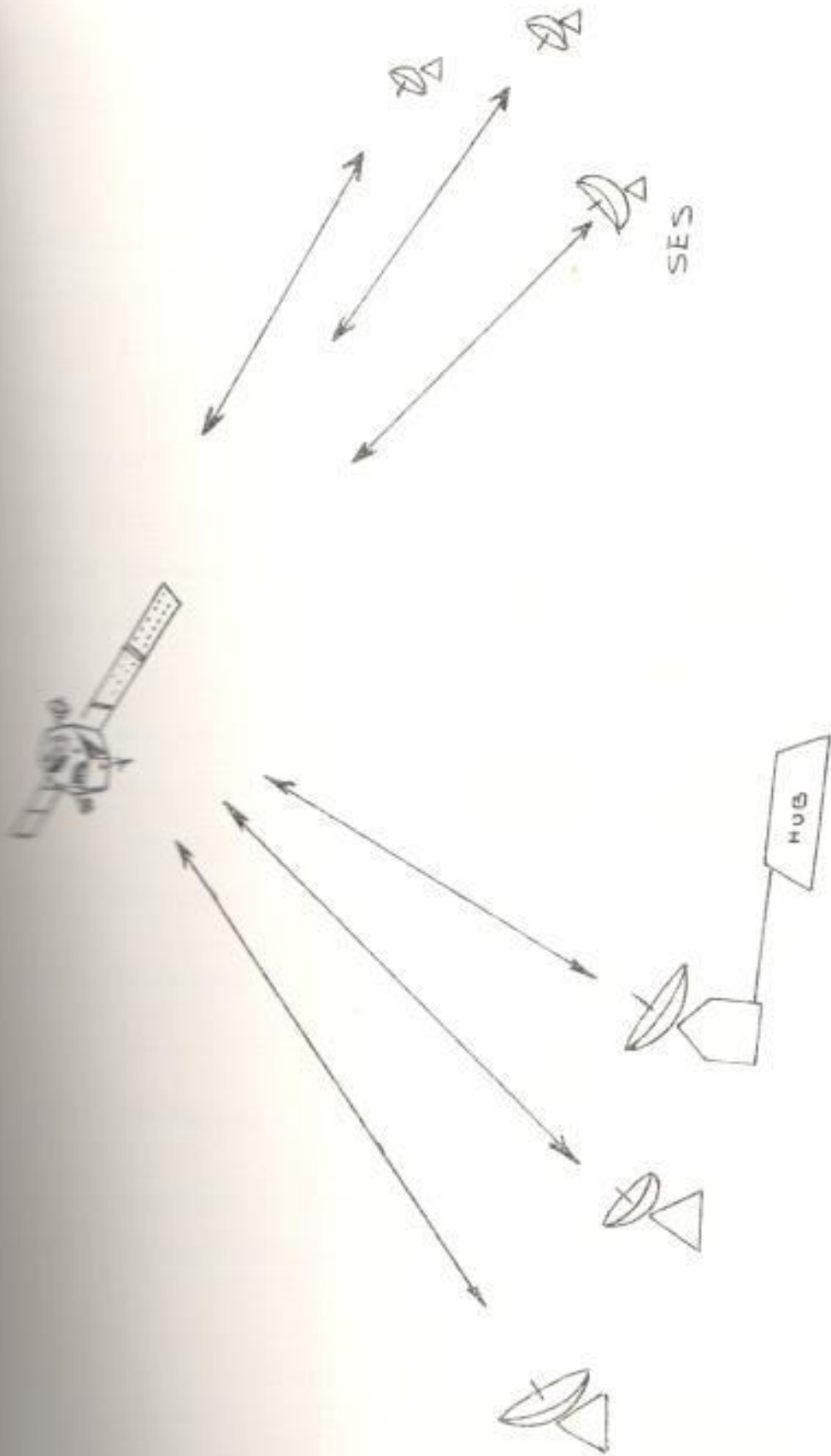
## CAPITULO 2

### 2.- ARQUITECTURA Y PROTOCOLOS.

La presente sección, se encargará de describir el modelo de arquitectura para una red de comunicaciones satelital/HUB, la cual será analizada para unos protocolos específicos [1][2], ALOHA PURO y ALOHA RANURADO.

#### 2.1.- Modelo de Arquitectura

El modelo de la red de comunicación satélite /HUB, como es presentado en la Fig. 1, consiste de un simple satélite, un HUB y muchas pequeñas estaciones terrenas (SES), las cuales son de baja potencia. El satélite es una simple repetidora. Toda la información de un SES a un HUB y desde el HUB al SES va a través del satélite. Cada SES no puede comunicarse directamente con otro SES. La comunicación que existe entre cada una se debe hacer a través del HUB por medio del satélite. El HUB es un transmisor de alta potencia. Así cuando un SES desea transmitir un paquete hacia otro SES, este primero transmite este paquete al HUB por vía satélite, entonces el HUB transmite el paquete con destino SES por medio del satélite. La red utiliza dos



RED DE COMUNICACION  
VIA SATELITE

Fig. 1

canales  $f_1$  y  $f_2$ .  $f_1$  es la frecuencia utilizada por el SES para transmitir al HUB y la  $f_2$  es la frecuencia de transmisión del HUB.

$f_2$  es simplemente la frecuencia de ( time division multiplex ) transmisión del canal en TDMA de tal manera que en la cual sólo se transmitan paquetes en él.

Así  $f_2$  es una frecuencia para la cual el canal libre de colisiones. De otra manera, todo el contenido que hay en la estación terrena pasa por  $f_1$  todo el tiempo, por consiguiente, el desarrollo de la frecuencia  $f_1$  es la más importante en el modelo de arquitectura de red.

El mecanismo para tanto ALOHA RANURADO Y PURO será analizado [1][2]. Damos los resultados aquí solamente como comparación.

Nuestro principal propósito es el de demostrar el desarrollo de la transmisión múltiple usando ALOHA RANURADO.

### 2.2.- Protocolos Existentes

Aquí se da dos bien conocidos protocolos: ALOHA PURO y ALOHA RANURADO para desarrollo.



### 2.2.1 ALOHA Puro

El más reciente protocolo para una red de comunicación satélite, conocido como ALOHA, fue desarrollado por la Universidad de Hawai en el año de 1970 [3]. El protocolo tiene las siguientes características:

Donde sea que una estación terrena tenga un paquete listo, esta transmitirá el paquete inmediatamente. Así dos o más estaciones terrenas pueden transmitir paquetes simultáneamente cercanos (o dentro de un período cercano de tiempo). Este llevará a la condición de colisión con resultados de transmitir basura en los datos. Cuando los paquetes colisionados arriban al HUB, este simplemente ignora la basura de la información. La estación terrena, después, envía un paquete, esperará un reconocimiento desde el HUB. Después de dos de propagación de ida y vuelta sin que se reciba una señal de reconocimiento la estación enviará una retransmisión del paquete cuando éste reciba un reconocimiento. Cuando el HUB recibe un paquete transmitido exitosamente, éste envía el paquete a la estación terrena destino y al mismo tiempo envía la estación terrena una señal de reconocimiento.

El protocolo ALOHA Puro es tan sencillo como puede

verse, pero este sufre de gran cantidad de colisiones todo el tiempo, y el máximo rendimiento es solamente el 18% cuando  $G = 1$  [1][2].

### 2.2.2. ALOHA Ranurado

El ALOHA Ranurado [12] es una modificación del ALOHA Puro, en el cual el tiempo sobre el canal (frecuencia desde la estación terrena al HUB) es organizado en ranuras de iguales tamaños (iguales a un tiempo de transmisión de paquete). Algunos paquetes comienzan el arranque al inicio de una ranura. En cualquier lado una estación terrena tiene un paquete listo, éste tiene que esperar hasta el inicio del siguiente slot o ranura para transmitir este paquete. Por consiguiente, todos los paquetes transmitidos son transmitidos efectivamente o todos colisionan. El ALOHA Ranurado tiene una ligera restricción, todos los paquetes tienen que esperar cerca de la mitad de un tiempo de transmisión de paquete y entonces necesita de alguna técnica de sincronización para la transmisión de la estación terrena, pero reduce la probabilidad de colisión. Este es bien conocido que para el mismo rendimiento del ALOHA Ranurado que es dos veces que el del ALOHA Puro.

## CAPITULO 3

### 3.- DESARROLLO DEL ANALISIS.

La Utilización del Canal es un parámetro muy importante de todas las redes. Este es la unidad de medida de información de red que liberará en una unidad de tiempo. Además, la eficiencia y la utilización de los incrementos de la red como el rendimiento son incrementados, el alto rendimiento es lo requerido para todo.

#### 3.1 Análisis General.

Supongamos que la red consista de "n" estaciones terrenas 1, 2, ..., n. La i-ésima estación terrena tiene un paquete para transmitir en una ranura dada con la probabilidad  $g_i$  incluyendo las retransmisiones.

Por consiguiente, la carga normal referida de toda la red es:

$$G = g_1 + g_2 + \dots + g_n \quad 3-1$$

Además todas las  $g_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) son mutuamente exclusivas, la probabilidad  $S_i$  de que solamente la i-

ésima estación tenga un paquete listo para transmitir y que todas las otras  $n-1$  estaciones terrenas no lo hagan es:

$$s_i = g_i * \prod_{i < j} (1-g_j) \quad 3-2$$

La probabilidad de que exactamente una de las  $n$  estaciones terrenas tenga un paquete listo en el siguiente slot o ranura es el rendimiento  $S$  de la red:

$$S = s_1 + s_2 + \dots + s_n \quad 3-3$$

En lo sucesivo, para efectos de simplificación, se adoptará la siguiente asunción:

$$\text{asunción 3 : } g_1 = g_2 = \dots = g_n = g \quad \text{y} \\ s_1 = s_2 = \dots = s_n = s$$

de la ecuación 3-1 tenemos

$$G = n * g \quad \text{y} \quad g = G / n \quad 3-4$$

de la ecuación 3-2 tenemos que :

$$s = g * (1-g)^{n-1} \quad 3-5$$

de la ecuación 3-3 y 3-4 y 3-5 tenemos el rendimiento para la red S :

$$S = n * s = n * g * (1-g)^{n-1} = G * (1-g)^{n-1} \quad 3-6$$

En General , se considera el intervalo de tiempo de t slots (ranuras). La probabilidad de que una estación terrena tenga un paquete listo en t ranuras es  $t * g$  (tg para abreviación) . De 3-6 , la probabilidad  $S_t$  de que exactamente una de las n estaciones terrenas transmita en t ranuras es :

$$S_t = t * G * (1-tg)^{n-1} \quad 3-7$$

La probabilidad  $I_t$  de que ninguna estación terrena transmita en t ranuras es :

$$I_t = (1-tg)^n \quad 3-8$$

Esta es la probabilidad  $I_t$  de que la red esté

trabajando al vacío en el período de  $t$  slots (ranuras).  
 La probabilidad  $C_t$  de que dos o más estaciones terrenas transmitan en  $t$  ranuras es:

$$C_t = \sum_{n=2}^{\infty} * \binom{n}{k} (tG)^k * (1-tG)^{n-k} \quad 3-9$$

De las ecuaciones 3-7, 3-8, 3-9 tenemos que

$$S_t + I_t + C_t = \sum_{n=0}^{\infty} \binom{n}{k} (tG)^k * (1-tG)^{n-k} = 1^n = 1 \quad 3-10$$

$$C_t = 1 - S_t - I_t \quad 3-11$$

Para una infinita cantidad de estaciones terrenas ,  
 haciendo

$n \rightarrow \infty$  y aplicando el teorema de Poisson:

$$\binom{n}{k} p^k * (1-p)^{n-k} = e^{-np} * (np)^k / k! \text{ como } n \rightarrow \infty$$

aplicamos esto a 3-7 , 3-8 tenemos

$$S_t = tG * e^{-tG} \quad 3-12$$

$$I_t = e^{-tG}$$

3-13

Reemplazando 3-12, 3-13 en 3-11, tenemos

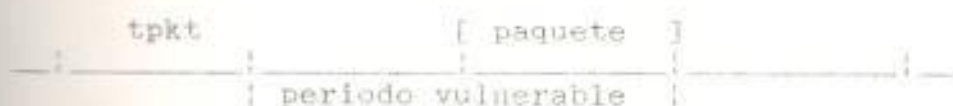
$$C_t = 1 - S_t - I_t = 1 - tGe^{-tG} - e^{-tG}$$

3-14

### 3.2 ALOHA Puro

La performance de ALOHA Puro es bien conocido

El resultado aquí sólo para comparación.



$tpkt$ : tiempo de transmisión de paquete

Fig. 2 Canal del ALOHA Puro

En un sistema de ALOHA Puro, una estación terrena puede transmitir inmediatamente un paquete cuando se

encuentre listo. La Fig. 2 muestra que en el protocolo del ALOHA Puro pueden colisionar si allí están dos o más paquetes siendo transmitidos dentro de dos tiempos de transmisión de paquete. Esto implica de que el periodo de vulnerabilidad es dos tiempos de paquete de transmisión (2 ranuras). Lo favorable de este protocolo es de que ahí no habrá colisión si y sólo si solo una estación terrena transmite un paquete en el periodo de dos Slots (ranuras). De 3-7 tenemos la probabilidad de que una estación terrena transmita en dos slots es:

$$S_2 = 2G * (1-2g)^{n-1} \quad 3-15$$

sumiendo un número infinito de estaciones

$$S_2 = 2G * e^{-2G} \quad 3-16$$

Pero el rendimiento por definición de la sección 2 es el número de paquetes transmitidos en un tiempo de transmisión de paquete ó la probabilidad de que solamente una estación terrena transmita un paquete en un tiempo de transmisión de paquete y no dos. Derivando la ecuación 3-15 y 3-16 para 2 tenemos que el rendimiento  $S_p$  del ALOHA Puro es :



$$S_p = G * (1-2g)^{n-1} \quad 3-17$$

para un número infinito de estaciones terrenas

$$S_p = G * e^{-2G} \quad 3-18$$

Si diferenciamos la ecuación 3-18 con respecto a  $G$  e igualamos a cero, encontramos que  $G = 1/2$ . Así el máximo rendimiento del ALOHA Puro es

$$S_{pa} = (1/2) * e^{-1} = 1/2e = 0.18$$

La Fig. 3 muestra el rendimiento versus carga referida  $G$  del ALOHA Puro con  $n$  estaciones, donde  $n = 20, 40$  y un número infinito de las mismas, respectivamente.

En equilibrio  $N = S$ , allí se encuentran  $S$  paquetes dentro, están  $G$  ( $G > S$ ) siendo transmitidos.

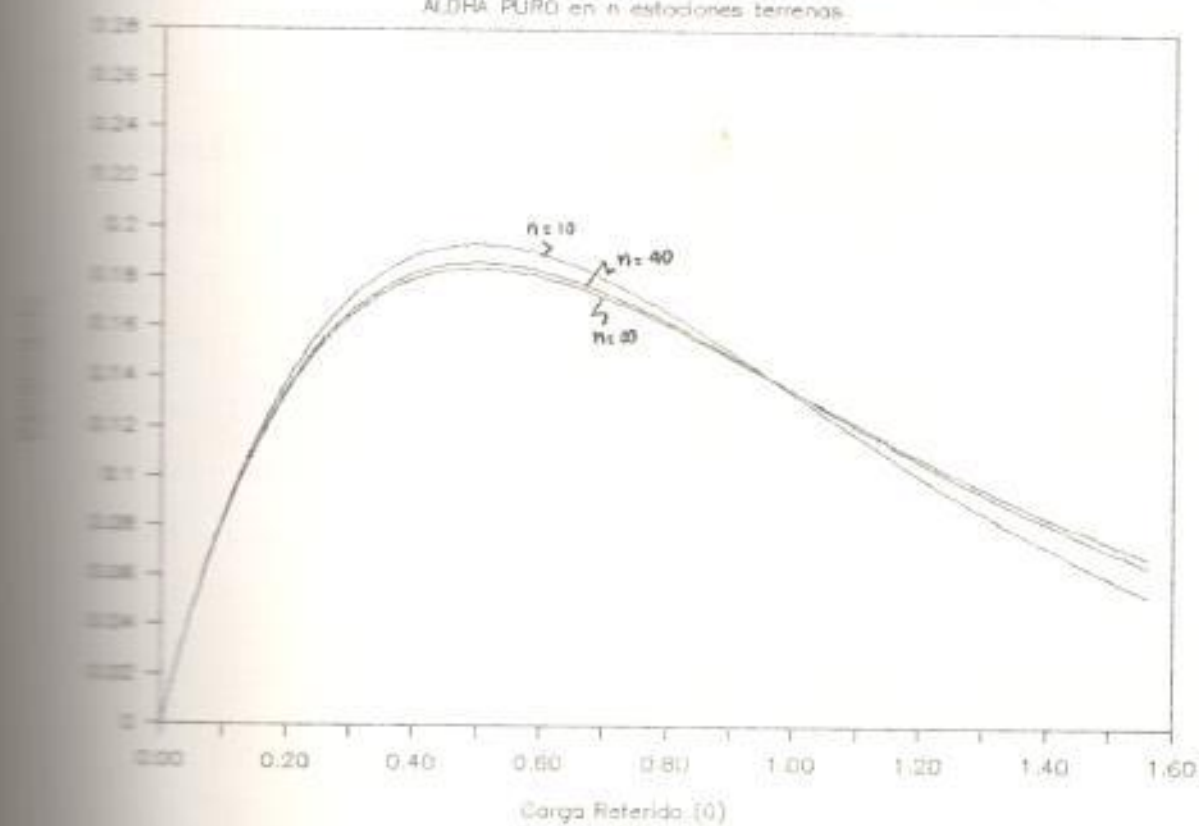
Al dentro del promedio, cada paquete es transmitido una de  $G/S$  veces.

Por consiguiente la demora de cada paquete,  $D$  es

$$D = (G/S-1) * (2a + 1 + (K + 1) / 2) + 2a + 1 \quad 3-20$$

Fig.3 Rendimiento vs. Carga Referida

ALPHA PURO en n estaciones terrenas



\* Donde  $K$  es el número máximo de veces de transmisión de espera de un paquete después de colisión.

### 3.3 ALOHA Ranurado

En el caso del ALOHA Ranurado, cada paquete es transmitido al inicio de una ranura. Por consiguiente, si ellos chocaran totalmente o la transmisión será efectiva totalmente. La Fig. 4 presenta el periodo de vulnerabilidad del ALOHA Ranurado es un tiempo de transmisión de paquete (1 slot). Allí será un promedio de  $1/2$  ranura de tiempo de espera por cada paquete de transmisión.



tv - Periodo Vulnerable

Fig. 4 Canal del ALOHA Ranurado

El rendimiento  $S_s$  del protocolo del ALOHA Ranurado, puede ser obtenido de 3-7, haciendo  $t=1$  ( la probabilidad de que sólo una estación terrena transmita

en una ranura )

$$S_s = G * (1-g)^{n-1} \quad 3-21$$

y para una infinita cantidad de estaciones

$$S_s = G * e^{-G} \quad 3-22$$

La Fig. 5 muestra el rendimiento versus carga referida al del ALOHA Ranurado con n estaciones terrenas , donde  $n = 10, 40$  y un infinito número de estaciones terrenas respectivamente.

Si diferenciamos la ecuación 3-22 con respecto a G e igualando a cero . Obtenemos  $G = 1$  . Por consiguiente el máximo rendimiento  $S_s$  del ALOHA Ranurado es

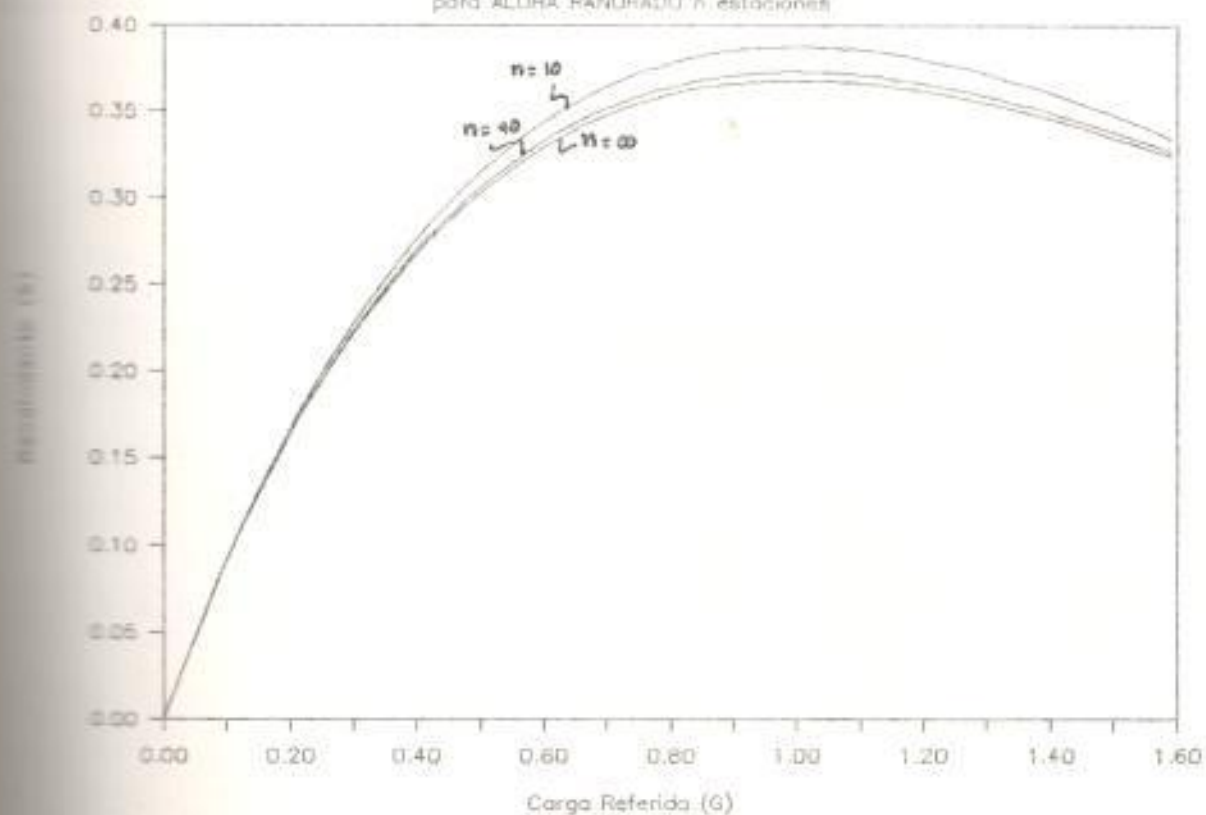
$$S_{sm} = e^{-1} = 0.37 \quad 3-23$$

Por la ecuación 3-20 podremos obtener el retraso  $D_s$  para el Protocolo de ALOHA Ranurado que es :

$$D_s = (G/S-1) * (2a + (3/2)) + (k+1) + 2a + (3/2) \quad 3-24$$

FIG.5 Rendimiento VS Carga Referida

para ALDHA PANURADO n estaciones



### 2.4 Tamaño Optimo de Ranura

El rendimiento del ALOHA ranurado es dos veces mayor que el del ALOHA Puro, así el efecto del periodo de vulnerabilidad del ALOHA Ranurado es reducido a la mitad que el del ALOHA Puro y para organización del tiempo del canal dentro de ranuras continuas quienes tienen igual tamaño a un tiempo de transmisión de paquete. Reduciendo la reducción del periodo de vulnerabilidad que sin duda mejorará el rendimiento. Algo que podemos hacer es cambiar el tamaño del slot (ranura) , para observar cuán vulnerable este periodo puede ser.

#### 2.4.1 Reduciendo Tamaño de la Ranura

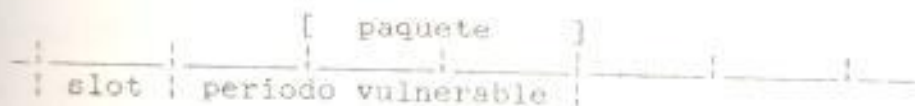


Fig. 6 Reduciendo Periodo del Slot

Reduciendo el tamaño del slot a la mitad , este será un tiempo de transmisión de paquete igual a 2 Slots. En este caso , de la Fig. 6 se puede ver que el periodo de vulnerabilidad es de 3 slots (un paquete y medio de

tiempo de transmisión). Así el rendimiento es:

$$S = G * (1 - 1.5G)^{n-1} \quad 3-25$$

y asumiendo un infinito número de estaciones,

$$S = G * e^{-1.5G} \quad 3-26$$

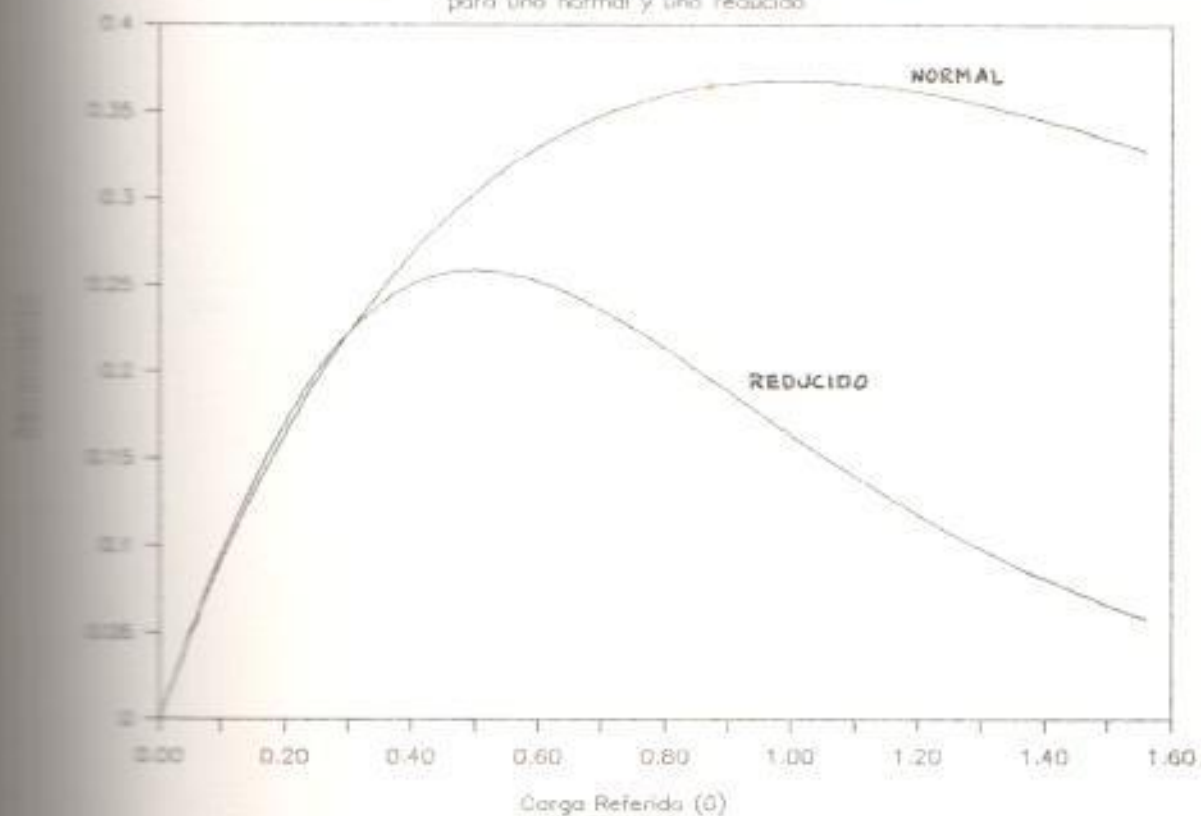
Podemos observar que con este resultado el protocolo de CSMA Pausado es mejor cuando  $S_s = G e^{-G}$ . De la Fig. 7 observamos la comparación entre el tamaño normal de un slot y uno reducido. De la Fig. 7 podemos ver que la reducción del tamaño del Slot no es factible.

#### 2.4.2 Incrementando el Tamaño del Slot.

Consideremos ahora, el tamaño del slot es un paquete y medio de tiempo de transmisión. La Fig. 8 presenta la condición del canal de incremento del tamaño del slot. De la Fig. 8, es obvio que el período de vulnerabilidad es como un paquete y medio del tiempo de transmisión, y después de la transmisión de cada paquete es un período de transmisión al vacío de tiempo de medio paquete de transmisión. Este no es factible.

Del incremento y decrecimiento del tamaño del slot,

Fig.7 Comparación entre ALOHA RANURADO  
para una normal y uno reducido





se extrae el siguiente resultado: Que este incremento o reducción no es favorable para el ALOHA Ranurado. Por consiguiente, el tamaño óptimo del slot es una unidad tiempo de transmisión de paquete.



Fig. 8 Incrementando el tamaño del Slot.

## CAPITULO 4

### 4.- LOS ESTADOS DEL CANAL (TRANSMISION, TRANSM. AL VACIO (IDLE) , COLISION )

Como podemos ver el desarrollo del ALOHA Ranurado es mucho mejor que el ALOHA Puro, por consiguiente sólo se considera el protocolo para el ALOHA Ranurado en el desarrollo de esta tesis.

En una red de Transmisión Satelital, el retardo en la propagación es extremadamente larga comparada al tiempo de transmisión de un paquete, una estación terrena no tiene conocimiento de la situación actual de la otra estación terrena. Por consiguiente la red puede encontrarse en cualquiera de estos tres estados a la vez

1. Estado de Transmisión: Solamente una de las  $n$  estaciones está transmitiendo ( transmisión efectiva)
2. Estado de Colisión : Dos o más estaciones están transmitiendo al mismo tiempo.  
(Colisión Eminente)
3. Estado de Idle : Ninguna de la  $n$  estaciones

esta transmitiendo (transmisión al vacío o sin carga)

La probabilidad  $I$  de que la red este en estado de Idle es la probabilidad de que ninguna de las  $n$  estaciones terrenas transmitan en un slot dado :

$$I = (1-g)^n \quad 4-1$$

Utilizando el teorema de Poisson , para un infinito número de estaciones terrenas.

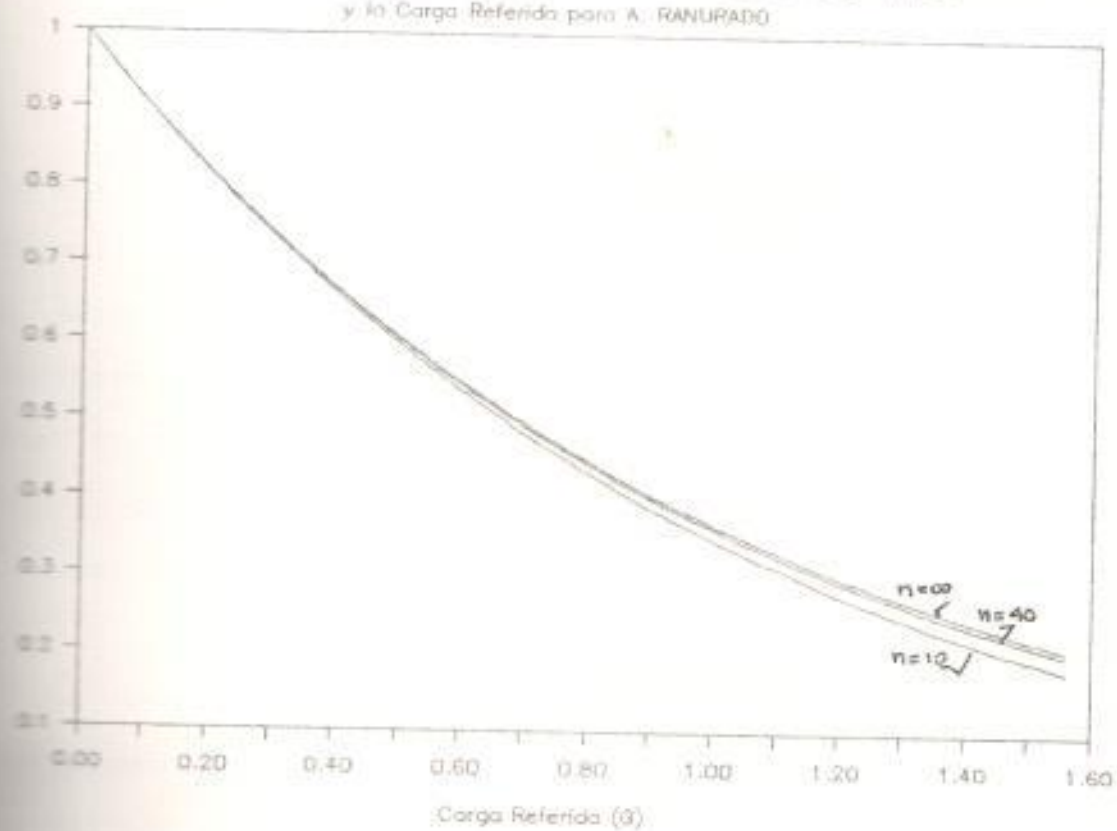
$$I = e^{-G} \quad 4-2$$

La Fig. 9 presenta las curvas de  $I$  versus Carga referida  $G$  para  $n$  estaciones terrenas , donde  $n = 10 , 40 , e$  infinito número de estaciones terrenas , respectivamente

De la Fig. 9 podemos ver que cuando  $G = 1$ , la red está aproximadamente el 37 % del tiempo en estado de Idle (transmisión al vacío).

La probabilidad de que la red esta en estado de transmisión es la probabilidad de que solamente una de las  $n$  estaciones terrenas transmita un paquete en un slot, entonces el rendimiento  $S$  es

Fig.9 Probabilidad de Período de Idie  
y la Carga Referida para A. RANURADO



$$S = G * (1-g)^{n-1}$$

4-3

o para un infinito número de estaciones terrenas.

$$S = G * e^{-G}$$

4-4

La Fig. 5 muestra las curvas de S versus carga referida normalizada G considerando diferentes valores para n estaciones terrenas, donde n = 10, 40 y un número infinito de estaciones terrenas respectivamente. De la Fig. 5 podemos ver que cuando G = 1 es aproximadamente 37 % de el tiempo en que una red está en estado de transmisión.

La probabilidad de que la red este en estado de colisión es la probabilidad C de que dos o mas estaciones terrenas transmitan paquetes en el mismo slot:

$$C = \sum_{n=2}^k \binom{n}{k} g^k * (1-g)^{n-k}$$

4-5

Además  $S + I + C = 1$  entonces  $C = 1 - S - I$ . Para un número infinito de estaciones terrenas sería

$$C = 1 - e^{-G} - G - G * e^{-G}$$

4-6

La Fig. 10 da las curvas de  $C$  versus carga referida  $G$  con  $n$  estaciones terrenas, donde  $n = 10, 40$  y un número infinito de estaciones terrenas respectivamente.

Con la Fig. 10 se puede observar que para cuando  $G = 1$  la red esta en estado de Colisión el 26 % del tiempo.

Seguidamente explicaremos  $G, S,$  y  $C$ . El número total de los paquetes transmitidos por una red es  $G$  paquetes, en la

cual están siendo transmitido exitosamente  $S$  (en condiciones normales de equilibrio,  $N = S$  el número de nuevos paquetes es también  $S$ )

El número de colisiones es  $C$ . Porque cualquier colisión produce retransmisión así el número normalizado de retransmisiones de cada paquete es  $C/S$ , este también es el tiempo de espera normalizado de cada paquete  $W_n$

$$W_n = C/S$$

5-7

La Fig. 11 da las curvas de  $W_n$  versus  $S$  con  $n$  estaciones terrenas para  $n = 10, 40, \infty$ .

Para el análisis, podemos ver que solamente el 37 % de la capacidad del canal es utilizado. Esto implica

Fig.10 Probabilidad de Colisión vs.  
y la Carga Referida para A: FANURADO

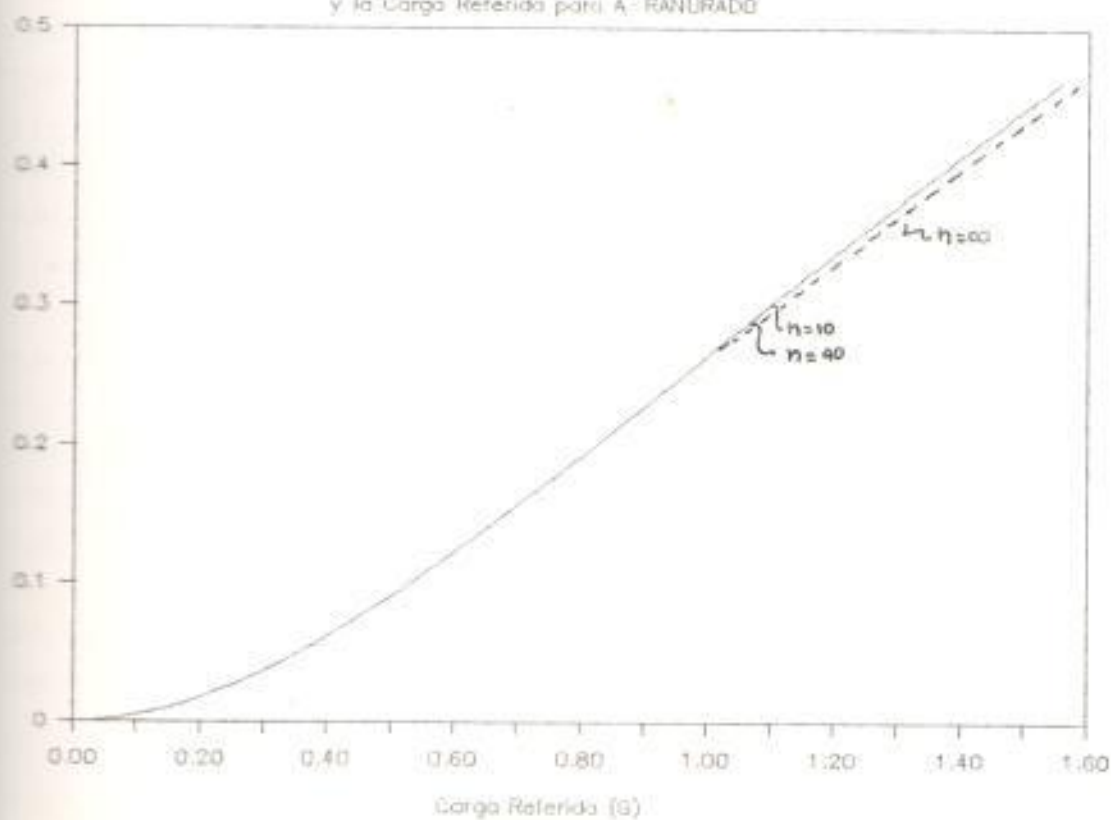
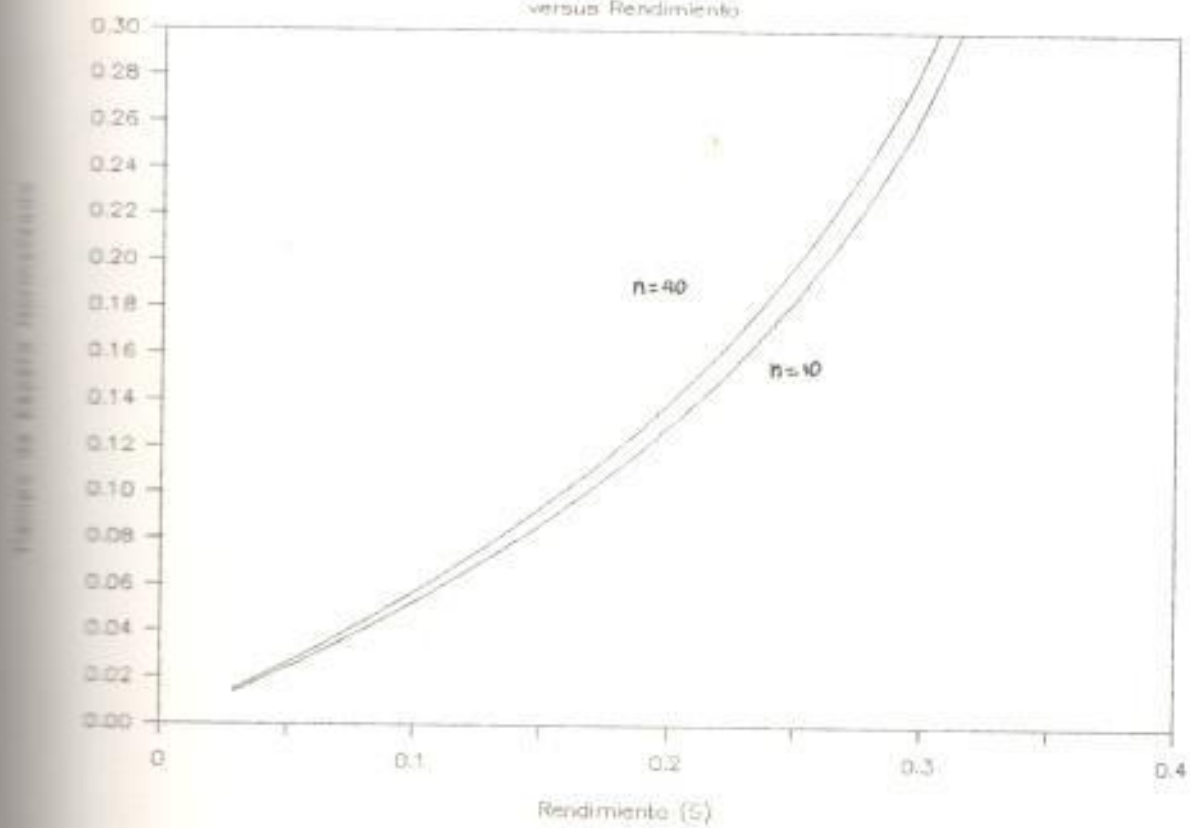


FIG.11 Número de Retransmisiones  $W_n$   
versus Rendimiento





que mas del 63 % de la capacidad del canal es desperdiciado. Especificamente, cerca del 37 % de la capacidad del canal es usado para no hacer nada (idle) y cerca del 26 % de la capacidad del canal es usada para transmitir alguna información con basura (colisión). Al incrementar el rendimiento de la red, debemos ver como reducir cualquier periodo de idle o periodo de colisión.

## CAPITULO 5

### 5.- TRANSMISION MULTIPLE.

Al reducir el periodo de Idle , se puede incrementar el tráfico de la red. Si llega al maximo valor cuando  $G = 1$ , si nosotros incrementamos  $G$ , seguramente el periodo de Idle , podrá ser reducido , pero el rendimiento podrá ser reducido al mismo tiempo . Pero esto no es lo que deseamos , por consiguiente  $G$  no puede ser incrementado . Podremos transmitir todos los paquetes muchas veces en lugar de una sola vez [5]. El tráfico de la red es incrementado y el HUB tiene que seguir el sendero de los duplicados. En el siguiente análisis podremos ver la ganancia desde la transmisión múltiple. El protocolo normal del ALOHA Ranurado , descrito en la sección 2.2 es referido como una transmisión simple.

#### 5.1 TRANSMISION DOBLE.-

Definición del Protocolo: En cualquier lugar una estación terrena tiene un paquete listo , éste transmitirá el paquete dos veces en vez de una. Entre las dos transmisiones, aquí hay un intervalo de tiempo de longitud aleatoria.

Obtenemos así que cuando uno cualquiera o ambos de las dos transmisiones chocan, la señal de la estación terrena repetirá la doble transmisión.

Todo el paquete de la estación terrena es transmitida dos veces, así la probabilidad de que una estación terrena haga una transmisión de paquete en la siguiente ranura es  $2 * G$  ( $2G$ ). en esta situación, la probabilidad de que la red este en estado de idle es la probabilidad  $I_1$  que todas las  $n$  estaciones terrenas no transmitan en una ranura es

$$I_1 = (1-2g)^n \quad 5-1$$

o asumiendo un número infinito de estaciones terrenas (aplicando Poisson)

$$I_1 = e^{-2G} \quad 5-2$$

La Fig. 12 da las curvas de  $I$  vs. Carga referida  $G$  con  $n$  estaciones terrenas, donde  $n = 10, 40, 100$  respectivamente. La Fig. 13 es la comparación del periodo del Idle de un normal ALOHA Ranurado, y de una doble transmisión en ALOHA Ranurado.

Como  $1-2g < 1-g$  tenemos que  $I^* < I$  de la Fig. 13.

FIG.12 Distribución del Período de Idle  
para la Doble Trans. P

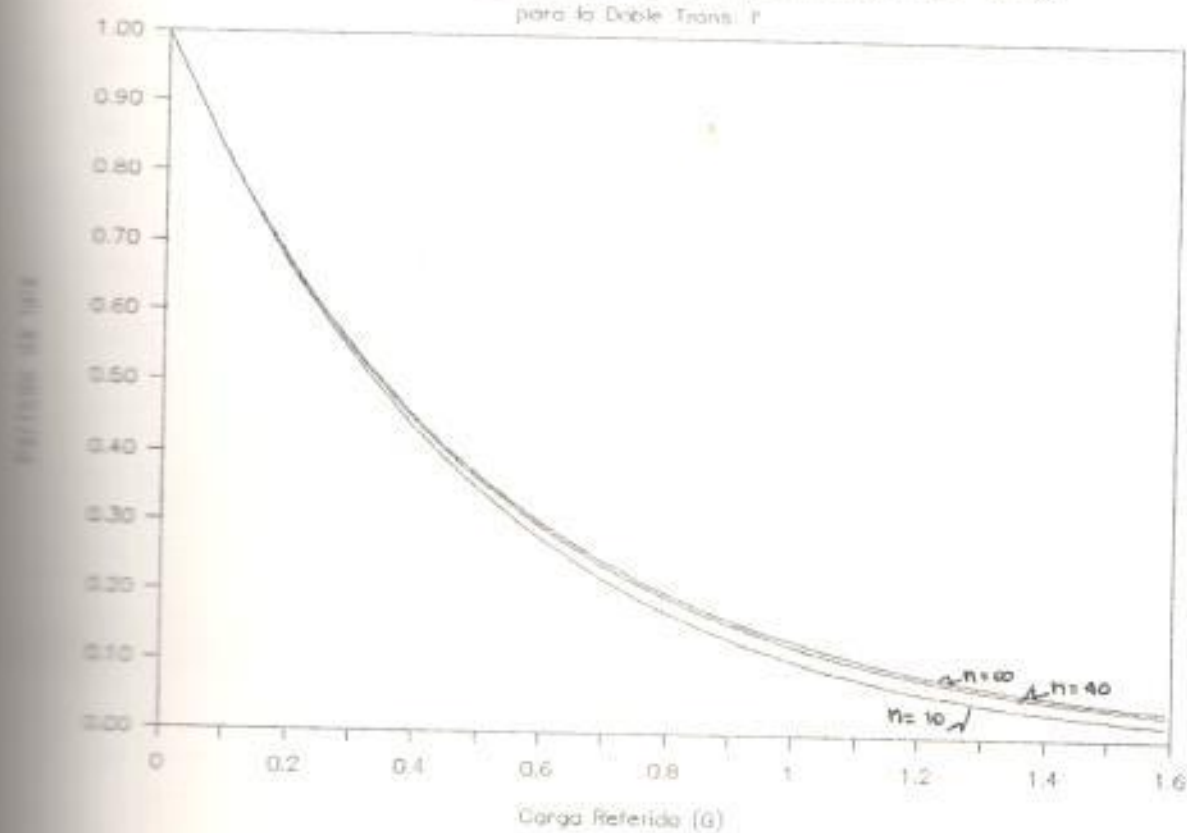
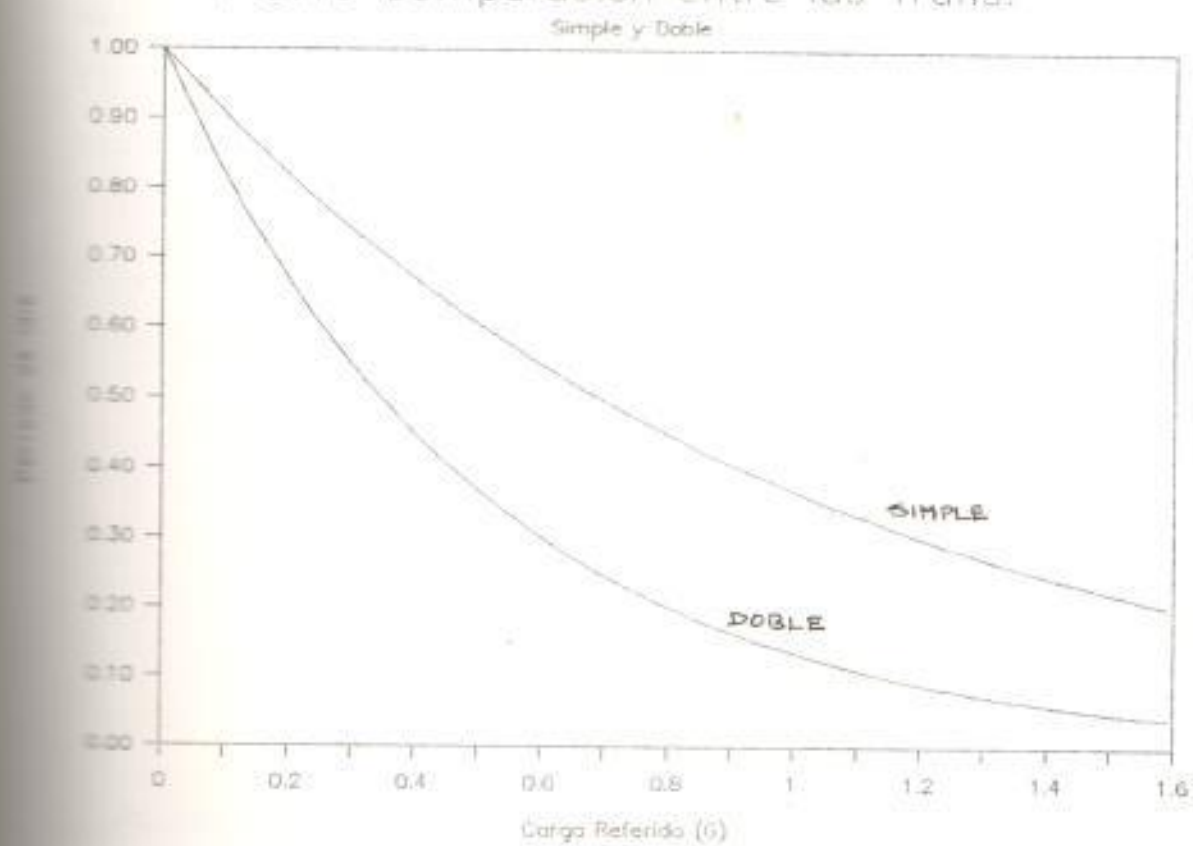


FIG.13 Comparación entre las Trans.



podemos ver de que la utilización del canal es incrementada por más de un 50 %. En el incremento de la utilización del canal hay que considerar dos situaciones algunas veces es factible ( para transmisiones efectivas) y algunas veces no es efectiva (colisión). El interés es el de encontrar cuanto es factible y que cantidad no es factible.

Ahora , el rendimiento es la probabilidad de que cualquiera de la primera o segunda transmisión es factible . Esto esta compuesta de dos partes:

- 1 . La Probabilidad  $P_1$  de que la primera transmisión sea exitosa.
- 2 . La Probabilidad  $P_2$  de que la primera transmisión colisione y la segunda transmisión sea exitosa.

En otras palabras , el rendimiento es la probabilidad de que la primera transmisión sea efectiva más la probabilidad de que estos paquetes colisionen a la primera transmisión son transmitidos exitosamente en la segunda transmisión .

Cuando una estación terrena transmitiere un paquete exitosamente a la primera transmisión trata de que la estación terrena tenga un paquete a transmitir ( con la probabilidad  $g$ ) y todas las otras  $n-1$  estaciones

terrenas transmitan algún paquete (con la probabilidad  $(1-2g)^{n-1}$ ). Así la probabilidad  $P_1$  de que alguna de las  $n$  estaciones terrenas transmitan un paquete exitosamente a la primera transmisión y otras  $n-1$  estaciones no lo hagan,

$$P_1 = n * g * (1-2g)^{n-1} = G * (1-2g)^{n-1} \quad 5-3$$

o para un número infinito de estaciones terrenas

$$P_1 = G * e^{-2G} \quad 5-4$$

Ahora, si se considera estos paquetes los cuales han colisionado en el primer intento de transmisión, la probabilidad de que estos paquetes que han colisionado en la primera transmisión sean transmitido exitosamente a la segunda transmisión es la probabilidad de que una estación terrena tenga un paquete colisionado a la primera transmisión  $(G-P_1)$  veces la probabilidad de que otras  $n-1$  estaciones no transmitan  $(1-2g)^{n-1}$ , así  $P_2$  es:

$$P_2 = (G-P_1) * (1-2g)^{n-1} \quad 5-5$$

De la ecuación 5-3 con 5-5 tenemos que el rendimiento para la doble transmisión  $S_2$  es:

$$S1 = P1 + P2 = 2 * P1 - G * (1 - 2G)^{n-1} \quad 5-6$$

para un número infinito de estaciones terrenas

$$S1 = 2 * G * e^{-2G} - G * (e^{-2G})^2 \quad 5-7$$

La Fig. 14 da las curvas de  $S1$  versus  $G$  con  $n$  estaciones terrenas donde  $n = 10, 40$ , e infinito número de estaciones terrenas respectivamente. La Fig 15. es la comparación del rendimiento de un normal ALOHA Ranurado con ALOHA Ranurado para la doble transmisión.

De la Fig. 15, podemos ver que en el rango entre  $G = 0.2$  y  $G = 0.5$ , el rendimiento de la doble transmisión  $S1$  es cerca del 10% mayor que el de la transmisión simple ( $Ss$ ), el máximo valor de  $S1$  no es de tanta diferencia que el de  $Ss$ . Entonces para estos estados en una red particular:  $G$  no es más que 0.5, se puede mejorar el rendimiento a partir de la doble transmisión.

La Probabilidad  $C$  de que la red este en estado de colisión es la probabilidad de que dos o más estaciones terrenas transmitan paquetes en un mismo slot (recurs):



Fig.14 Rendimiento de la doble trans.  
SI con n estaciones terrenas

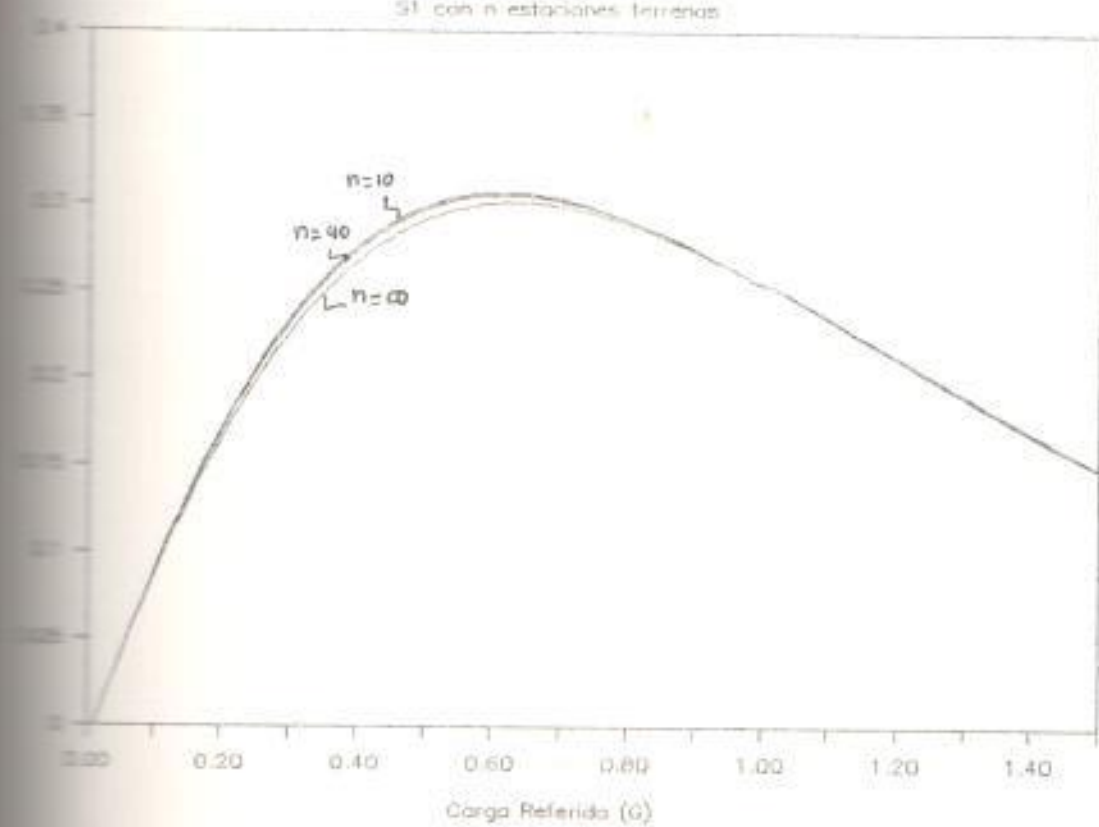
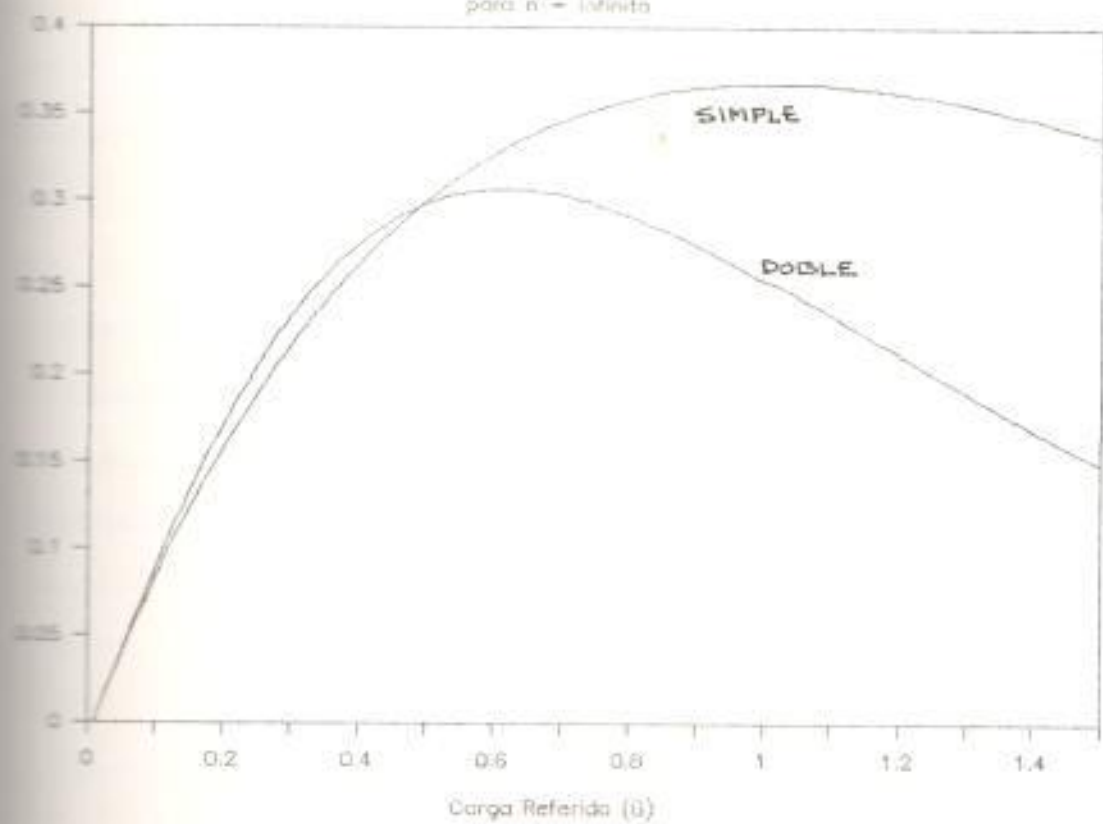


Fig.15. Comparación entre S y S1

para  $n \rightarrow \infty$ 

$$C' = (2g)^k * (1-2g)^{n-k} \quad 5-8$$

La Fig. 16 presenta las curvas de  $C'$  versus  $G$ , con  $n$  estaciones terrenas,  $n = 10, 40$  respectivamente. La fig. 17 presenta la comparación de colisión entre la doble transmisión y la transmisión simple. De esta gráfica podemos comparar los dos tipos de colisiones notar que  $C'$  es mucho mejor que  $C$ . Pero aquí se nota una diferencia muy significativa: que en la doble transmisión no todas las colisiones producen retransmisiones. Solamente cuando ambas de las dos transmisiones de un paquete colisionan hace el envío de retransmisión a la estación terrena el paquete colisionado. La probabilidad de retransmisión  $C_1$  es la probabilidad de que ambas transmisiones colisionen:

$$C_1 = C^2 \quad 5-9$$

La Fig. 18 presenta las curvas de probabilidad de retransmisión versus rendimiento  $S_1$  con  $n$  estaciones terrenas,  $n = 10, 40$  respectivamente. La Fig. 19 presenta la comparación de la doble transmisión y la transmisión simple. De aquí podemos ver que  $C_1$  es mucho menor que  $C$  (en efecto es menor que la mitad) en el rango de  $G = 0$  y  $G = 0.5$ . Esto nos dice de que el número de retransmisiones de la doble transmisión es menor que el de la transmisión simple si  $G$  es menor que 0.5.

Fig.16 Período de Colisión  $C'$  vs Carga

Referida para la doble transmisión

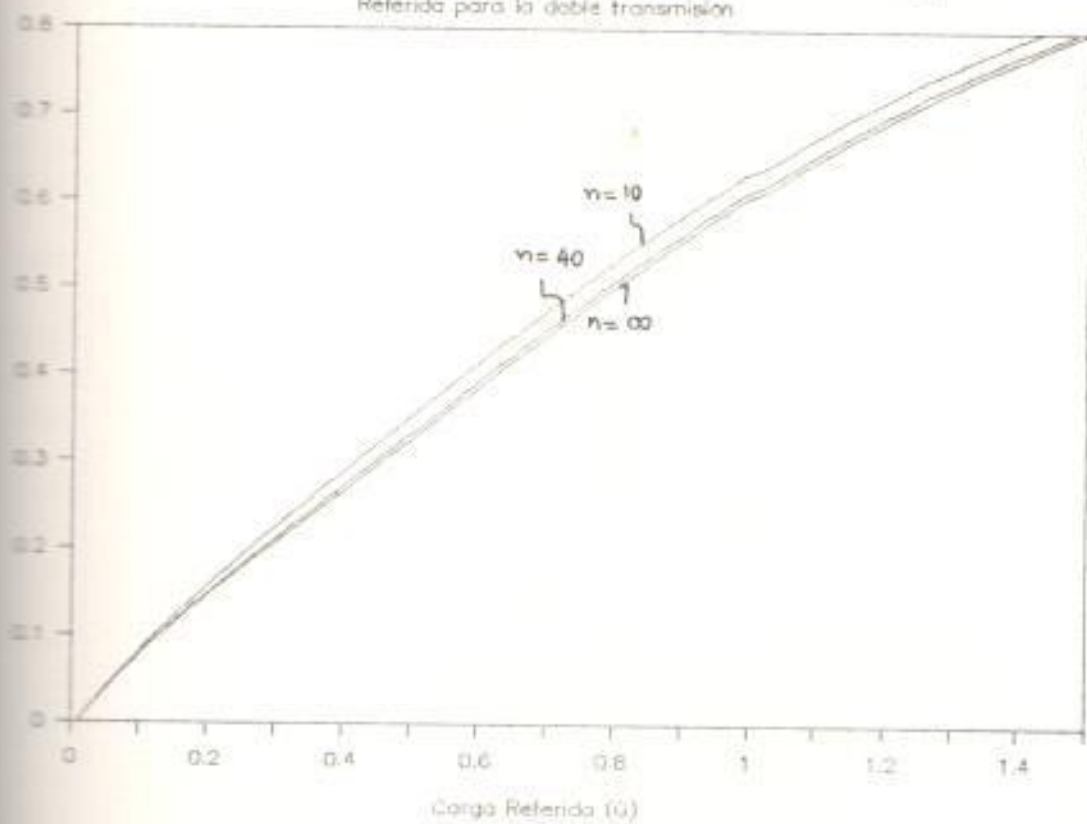


FIG.17 Comparación entre C y C'

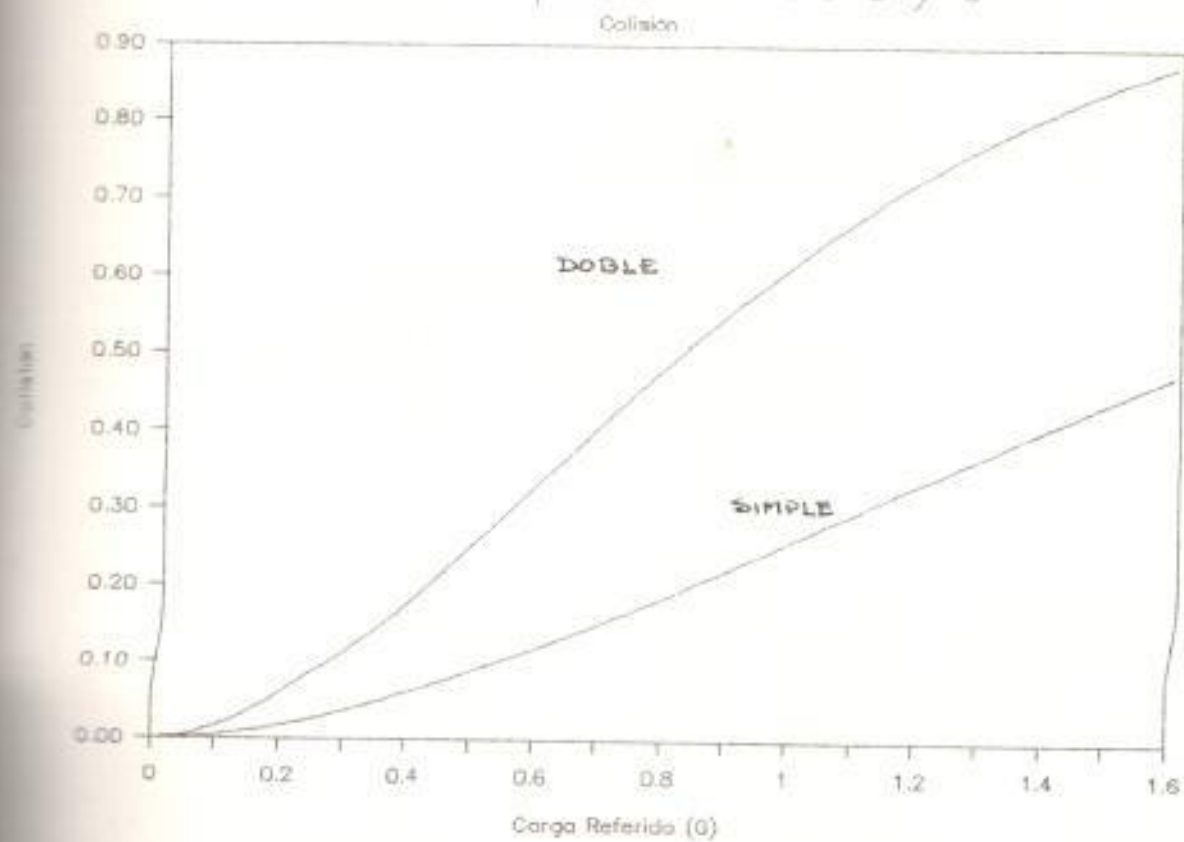


FIG.18 Distribución de Retransmisiones  
para la Doble Transmisión

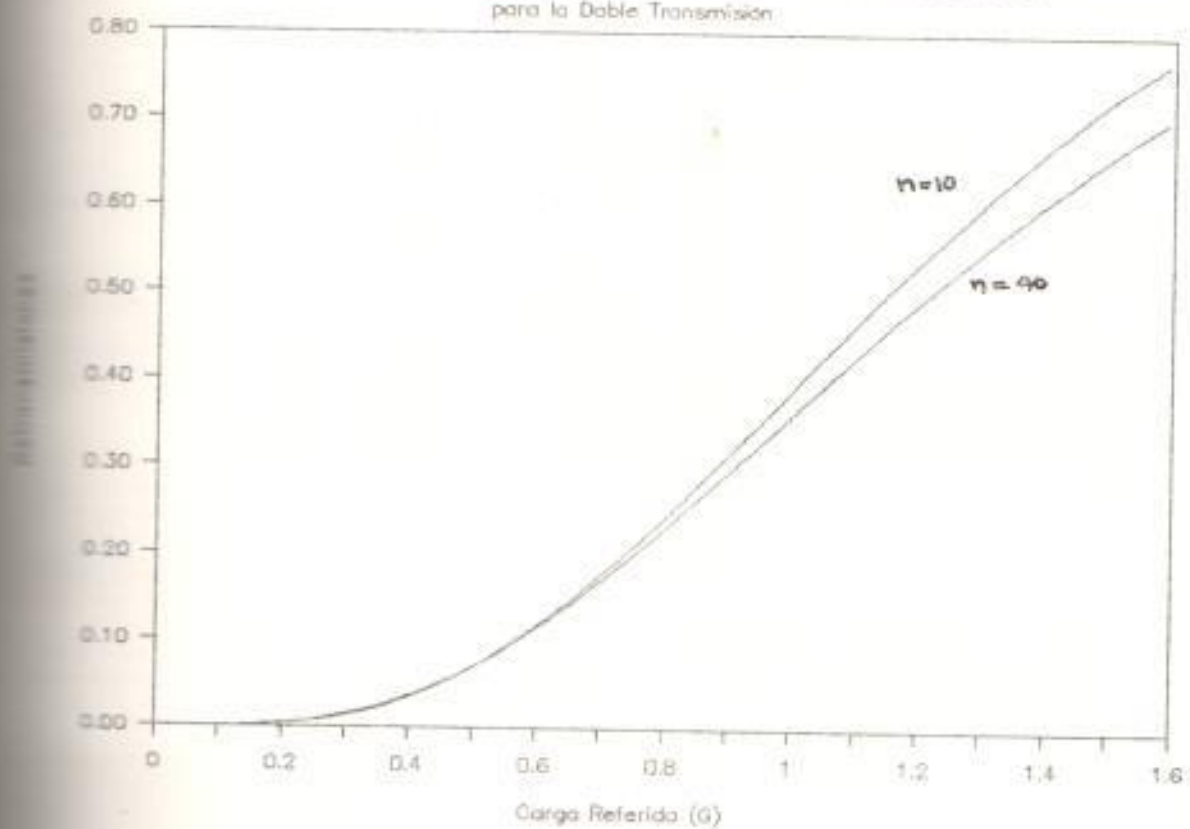
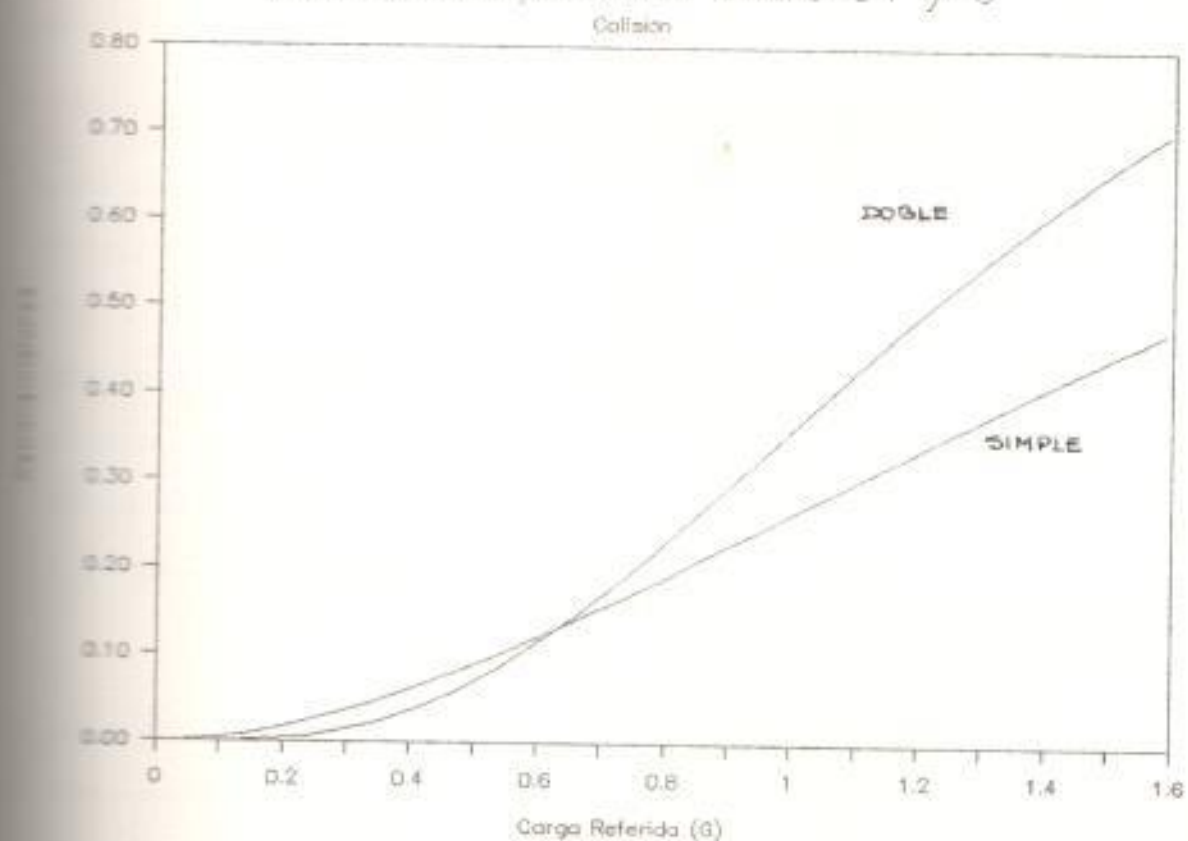


FIG.19 Comparación entre C1 y C



De la ecuación 5-7 encontramos el tiempo de espera normalizado de cada paquete  $W_1$  para la doble transmisión

$$W_1 = C1/S1$$

5-10

La Fig. 20 da las curvas de  $W_1$  versus rendimiento  $S_1$  para el ALOHA RANURADO para retransmisiones con "n" estaciones terrenas,  $n = 10, 40$  respectivamente. La Fig. 21 da la comparación de la transmisión doble y la transmisión simple. De la fig. 21, podemos ver que el tiempo de espera normalizado de la doble transmisión es mucho menor a la mitad de la transmisión simple cuando  $G$  es menor que 0.5.

De esto, podemos concluir de esta gráfica que la transmisión de varios paquetes, dos veces, en vez de una sola incrementaremos el rendimiento de la red, reduciremos el periodo de idle y la probabilidad de retransmisión cuando  $G$  es menor que 0.5.

La siguiente pregunta es : ¿ Cuántas transmisiones por cada paquete es la óptima?

### 5.2 Triple Transmisión

Definición de Protocolo : En cualquier lugar en que una estación terrena tenga un paquete listo, éste es transmitido tres veces. El intervalo entre las dos



FIG.20 Retransmisiones W1 versus

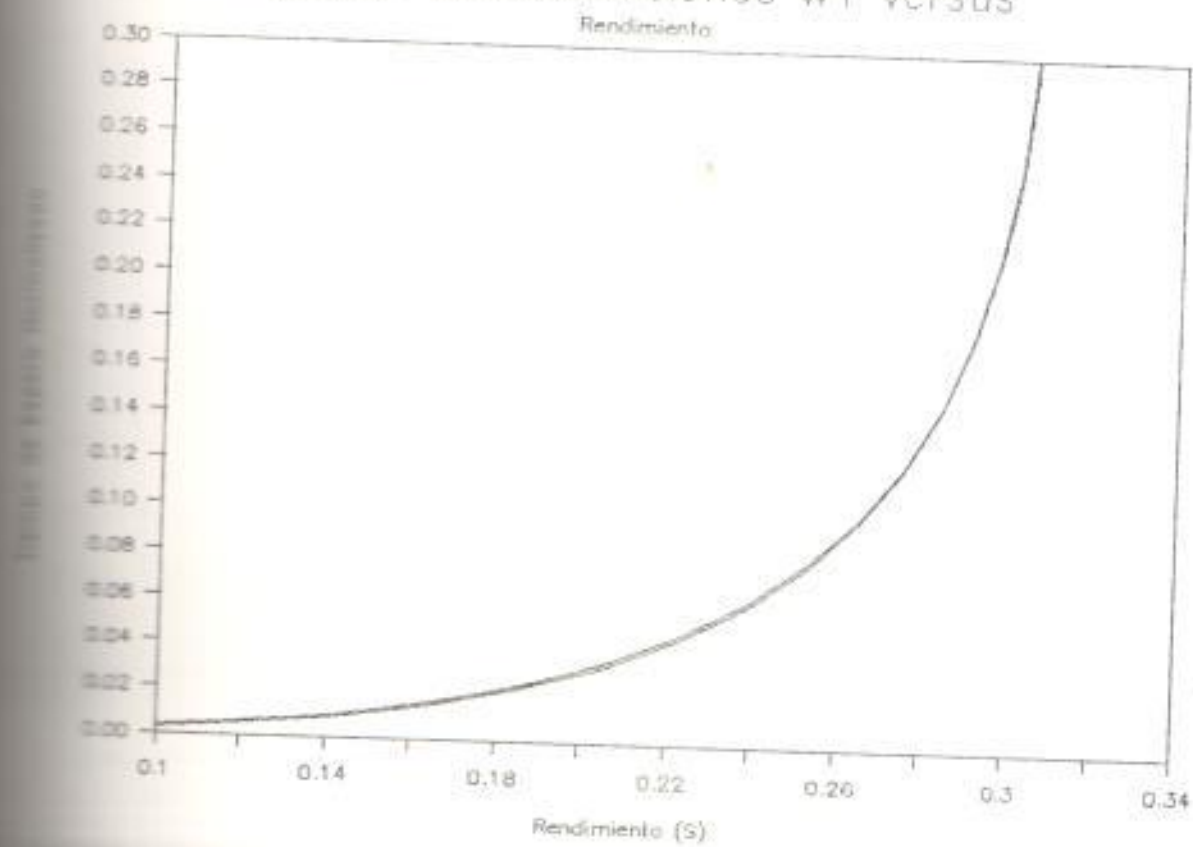
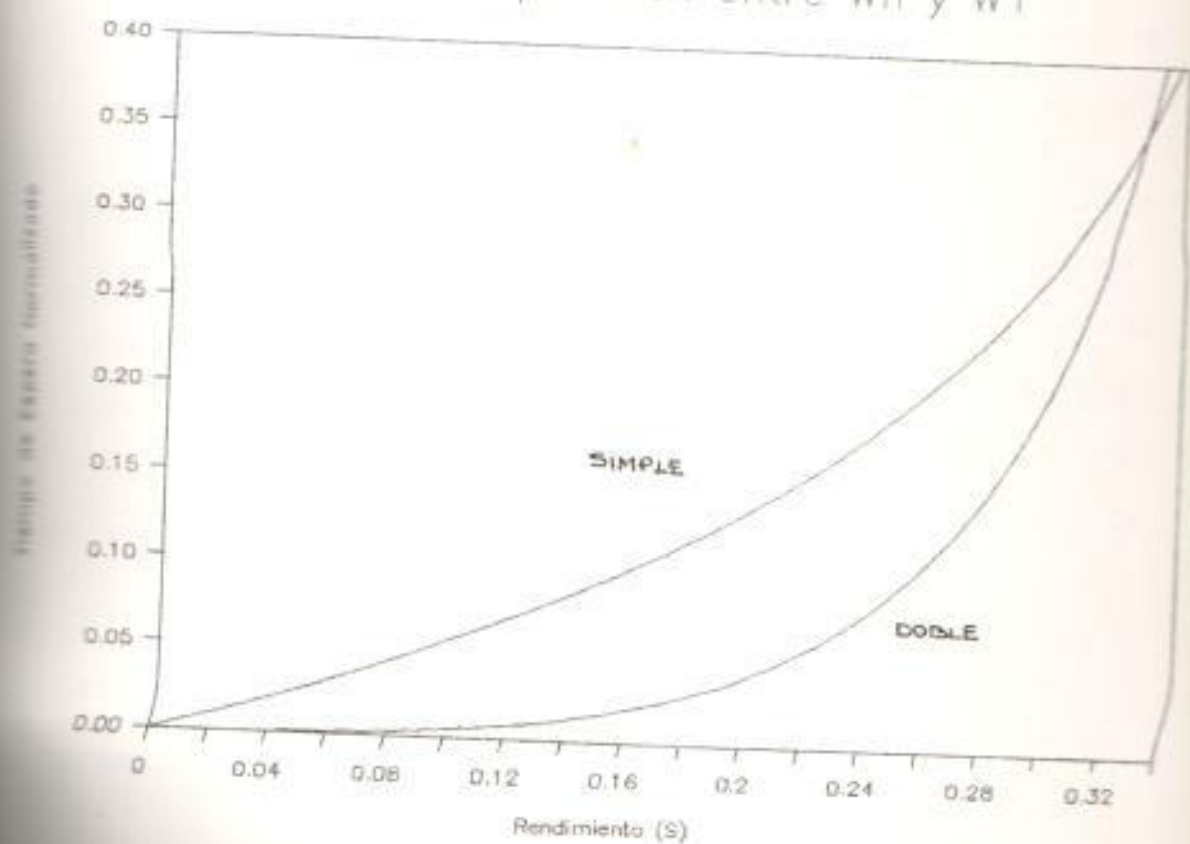


FIG.21 Comparación entre  $W_n$  y  $W_1$ 

transmisiones es lo llamado "longitud aleatoria". Lo que se desea es que uno o dos de las tres sean factibles. Si todas las transmisiones del paquete colisionan la estación terrena enviará nuevamente la triple transmisión.

Toda la transmisión de la estación terrena, sus paquetes, son transmitidos tres veces, así entonces la probabilidad de que una estación terrena pueda transmitir un paquete en el siguiente slot es  $3 * g$  ( $3g$  para abreviación) y el tráfico total de la red entera es  $3 * G$  ( $3G$ ). Lo siguiente es el análisis de la transmisión triple.

La Probabilidad  $I_2$  de que la red este en estado de idle es la probabilidad de que todas las  $n$  estaciones no transmitan en un slot dado es:

$$I_2 = (1-3g)^n$$

5-11

= para un infinito número de estaciones terrenas

$$I_2 = e^{-3G}$$

5-12

La Fig. 22 da las curvas de  $I_2$  versus  $G$  para  $n$  estaciones terrenas,  $n = 10, 40$  e infinito número de estaciones terrenas respectivamente. La Fig. 23 es la

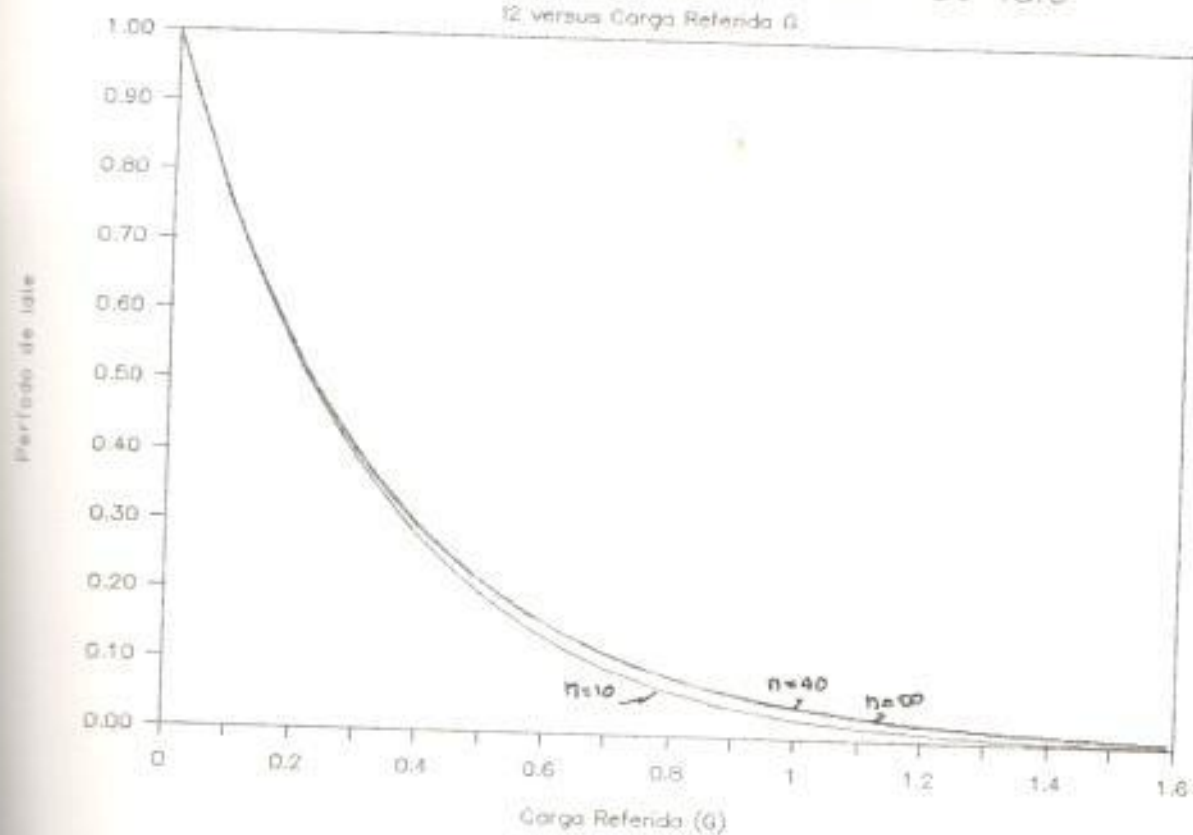
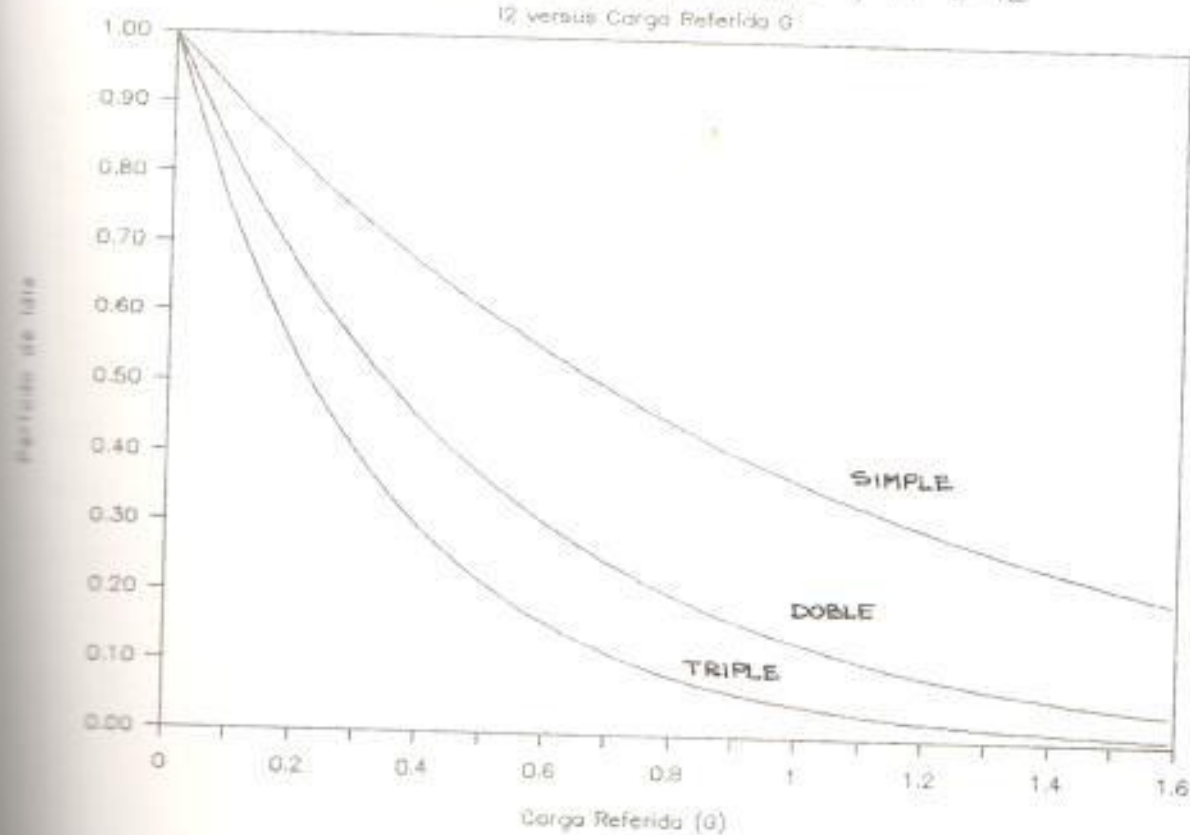
FIG.22 Distribución del Período de Idle  
f2 versus Carga Referida G.

FIG.23 Comparación entre I, II e II  
12 versus Carga Referida  $G$



comparación del periodo de idle para la transmisión simple, doble y triple transmisión.

De la Fig. 23, se puede observar que la utilización del canal es incrementada cerca de un 50 %. También algo del incremento es factible (transmisión exitosa) y algo no lo es (colisión).

Ahora, el rendimiento de la transmisión simple es la probabilidad de que uno de las tres transmisiones es exitosa, excluyendo los duplicados. Esto está compuesta por dos partes :

- 1 . La Probabilidad  $P_1$  de que la primera transmisión sea exitosa.
- 2 . La Probabilidad  $P_2$  de que la primera transmisión colisione y la segunda transmisión sea exitosa.
- 3 . La Probabilidad  $P_3$  de que la primera y segunda transmisión colisionen y la tercera sea exitosa.

En otras palabras, el rendimiento de la triple transmisión es la probabilidad de que la primera transmisión es efectiva más la probabilidad de que

estos paquetes colisionen en la primera transmisión son transmitidos exitosamente en la segunda transmisión más la probabilidad de que estos paquetes colisionados en la primera y segunda transmisiones sean transmitidos exitosamente en la tercera transmisión.

Una estación terrena transmite un paquete exitosamente a la primera transmisión cuando la estación terrena tiene un paquete a transmitir (la probabilidad es  $g$ ) y todas las otras  $n-1$  estaciones terrenas no transmita algún paquete de todos (la probabilidad es  $(1-3g)^{n-1}$ ). Así  $P_1$  es entonces la probabilidad que una de las  $n$  estaciones terrenas transmita un paquete exitosamente a la primera transmisión y las otras  $n-1$  estaciones terrenas no lo hagan.

$$P_1 = n * g * (1 - 3g)^{n-1} = G * (1-3g)^{n-1} \quad 5-13$$

para una infinita cantidad de estaciones terrenas

$$P_1 = G * e^{-3G} \quad 5-14$$

Para una estación terrena en particular, se va a considerar sólo esos paquetes los cuales han colisionado a la primera transmisión. La probabilidad  $P_2$  que esos paquetes colisionados a la primera

transmisión sean transmitidos exitosamente a la segunda transmisión es la probabilidad de que una estación terrena tenga un paquete colisionado a la primera transmisión  $(G-P_1)$  veces la probabilidad de que otras  $n-1$  estaciones terrenas no transmitan  $(1-3g)^{n-1}$ :

$$P_2 = (G-P_1) * (1-3g)^{n-1} \quad 5-15$$

Ahora, consideraremos esos paquetes los cuales colisionaron a la primera y segunda transmisión. La probabilidad  $P_3$  de que esos paquetes los cuales han colisionado en la primera y segunda transmisión sean transmitidos efectivamente a la tercera transmisión es la probabilidad de que de que una estación terrena tenga un paquete colisionado a la primera y segunda transmisión  $(G-P_1-P_2)$  veces la probabilidad de que otras  $n-1$  estaciones terrenas no transmitan  $(1-3g)^{n-1}$ :

$$P_3 = (G-P_1-P_2) * (1-3g)^{n-1} \quad 5-16$$

De 5-13, 5-15, y 5-16 nosotros tenemos el rendimiento de la transmisión simple,  $S_2$  es

$$S_2 = P_1 + P_2 + P_3 = 3 * P_1 - 3 * G * ((1-3g)^{n-1})^2 + G * ((1-3g)^{n-1})^3 \quad 5-18$$



La fig.24 da las curvas de  $S_2$  versus  $G$  con  $n$  estaciones terrenas con  $n = 10, 40$  e infinito número de estaciones terrenas. La fig. 25 es la comparación de rendimiento para la transmisión simple, doble y triple transmisión.

De Fig. 25 podemos observar de que el rendimiento de la transmisión triple es mejor que la transmisión simple y doble cuando  $G$  es menor que 0.4.

La probabilidad  $C''$  de que la red este en estado de colisión es la probabilidad de que dos o mas estaciones terrenas transmitan paquetes en el mismo slot es:

$$C'' = \sum_{k=2}^n \binom{n}{k} (3g)^k * (1-3g)^{n-k} \quad 5-19$$

La Fig.26 presenta las curvas de  $C''$  versus  $G$  con  $n$  estaciones terrenas para  $n = 10, 40$ , e infinito número de estaciones respectivamente. La Fig. 27 da la comparación de la triple transmisión, doble y simple transmisión. De las gráficas podemos ver que  $C''$  es menor que  $C'$  y que  $C$ . En este caso no todas las colisiones causen retransmisiones. Solamente cuando todas tres transmisiones de un paquete colisionan, al hacerlo la estación terrena retransmitirá el paquete. La probabilidad  $C_2$  de que todas transmisiones del mismo paquete colisionen es:

FIG.24 Rendimiento para la Triple Trans  
versus Carga Referida (G)

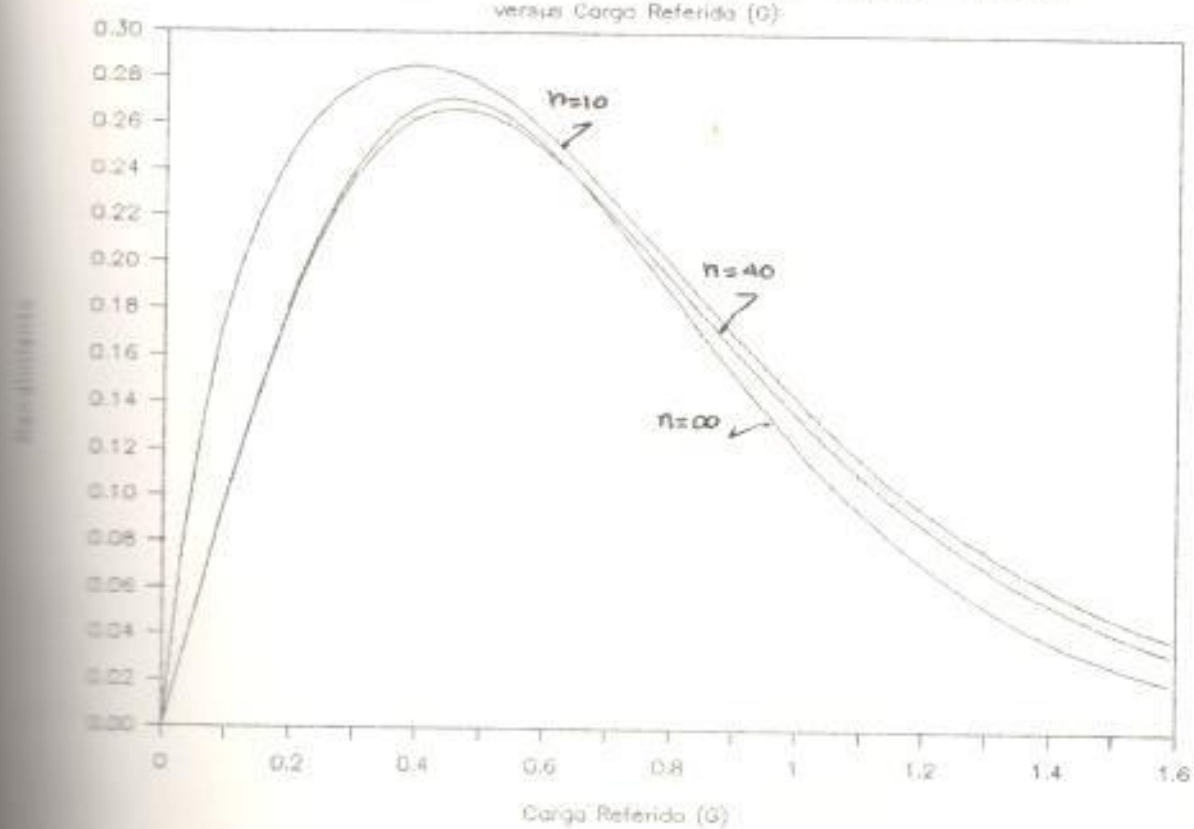


FIG.25 Comparación entre Rendimientos  
para la Simple, Doble y Triple

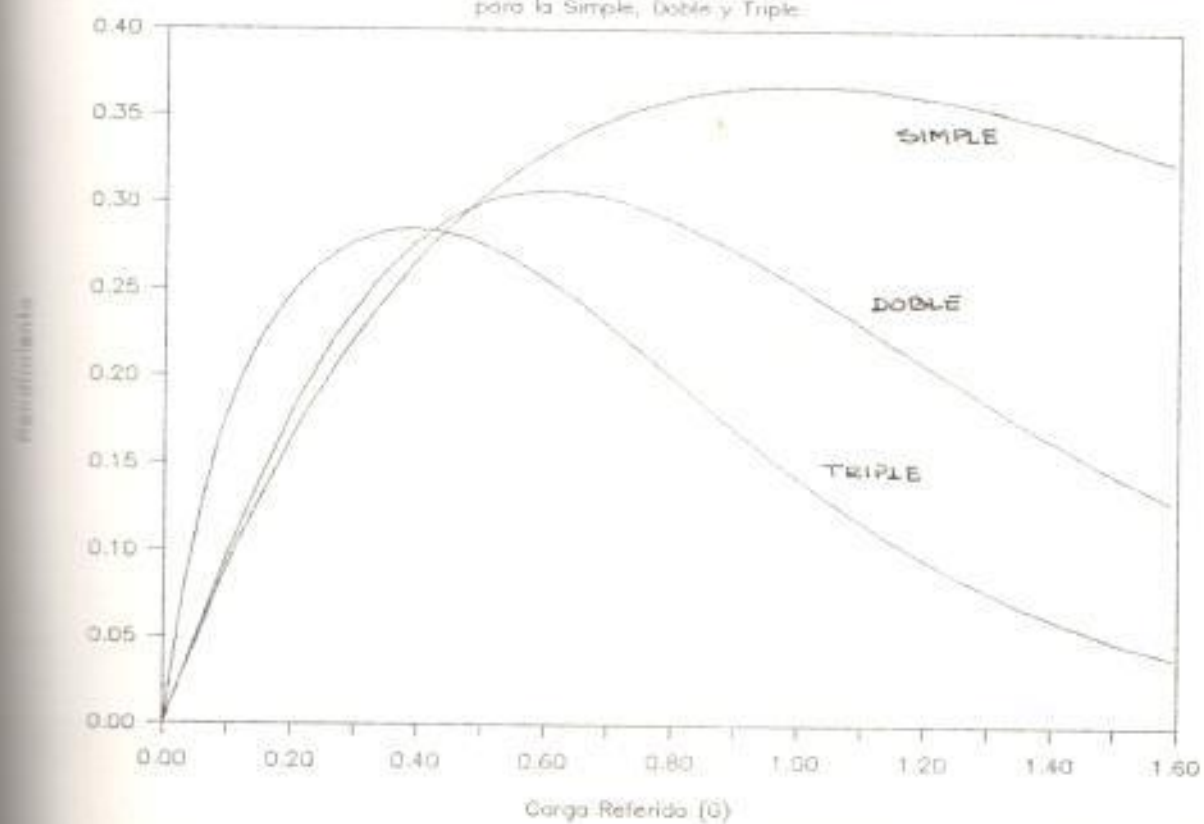
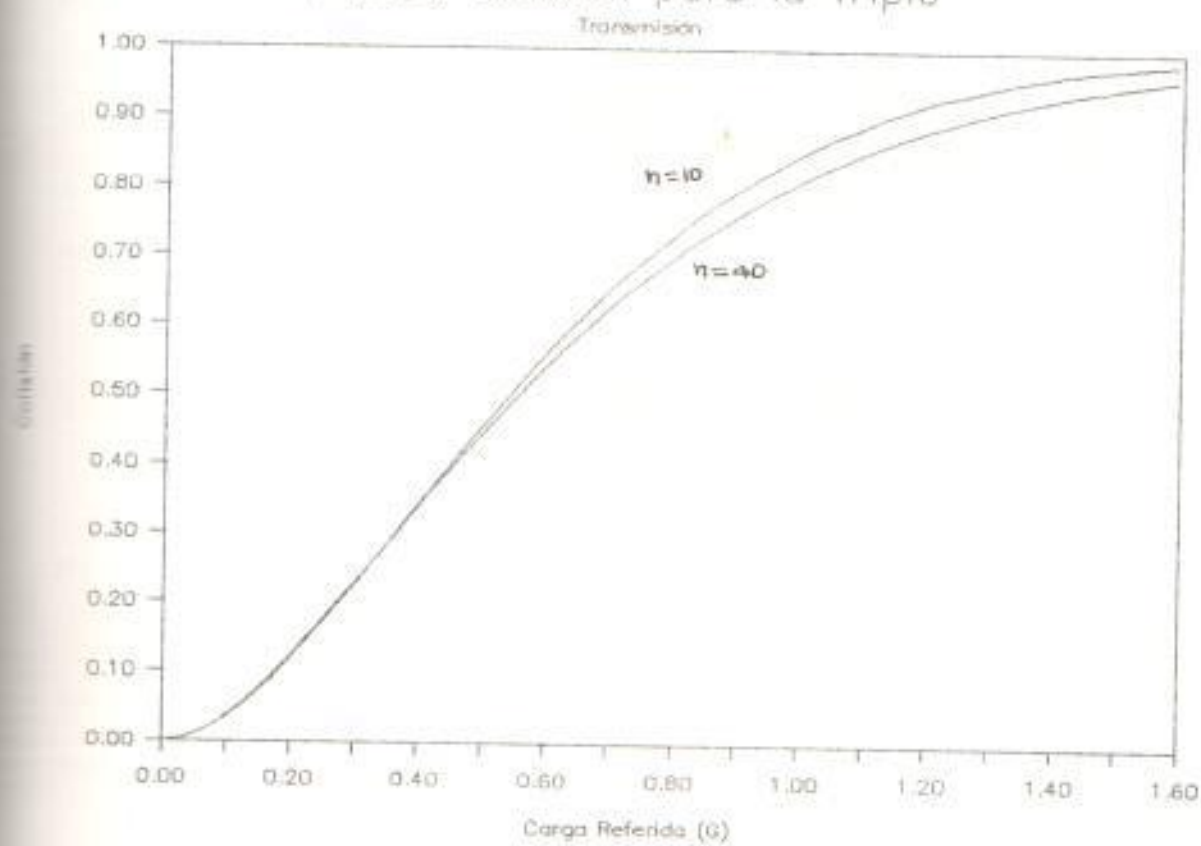


FIG.26 Colisión para la Triple



$$C_2 = C^{-3}$$

5-20

Las figs. 28 presenta las curvas de la probabilidad de retransmisión versus rendimiento  $S$  para la transmisión triple, doble y simple respectivamente. De las curvas podemos ver que  $c_2$  es menor que  $C_1$  y que  $C$  cuando  $S$  es menor que 0.25.

De la ecuación 5-10 nosotros se tiene el tiempo de espera normalizado  $W_2$  de al Triple transmisión es:

$$W_2 = C_2/S_2$$

5-21

La Fig.29 presenta las curvas de tiempo de espera normalizado  $W_2, W_1, W$  versus Rendimiento para la triple transmisión ,doble y simple transmisión cuando  $G$  es menor que 0.4.

### 5.3 M-Transmisión

Definición de Protocolo: En cualquier lugar una estación terrena tiene un paquete listo para transmitir, éste es transmitido  $m$  veces. Entre dos cualquiera transmisiones hay el llamado intervalo de tiempo de longitud promedio. Alguna de la  $s$   $m$

FIG.27 Comparación entre las Colisiones  
para los tres tipos de Transmisiones

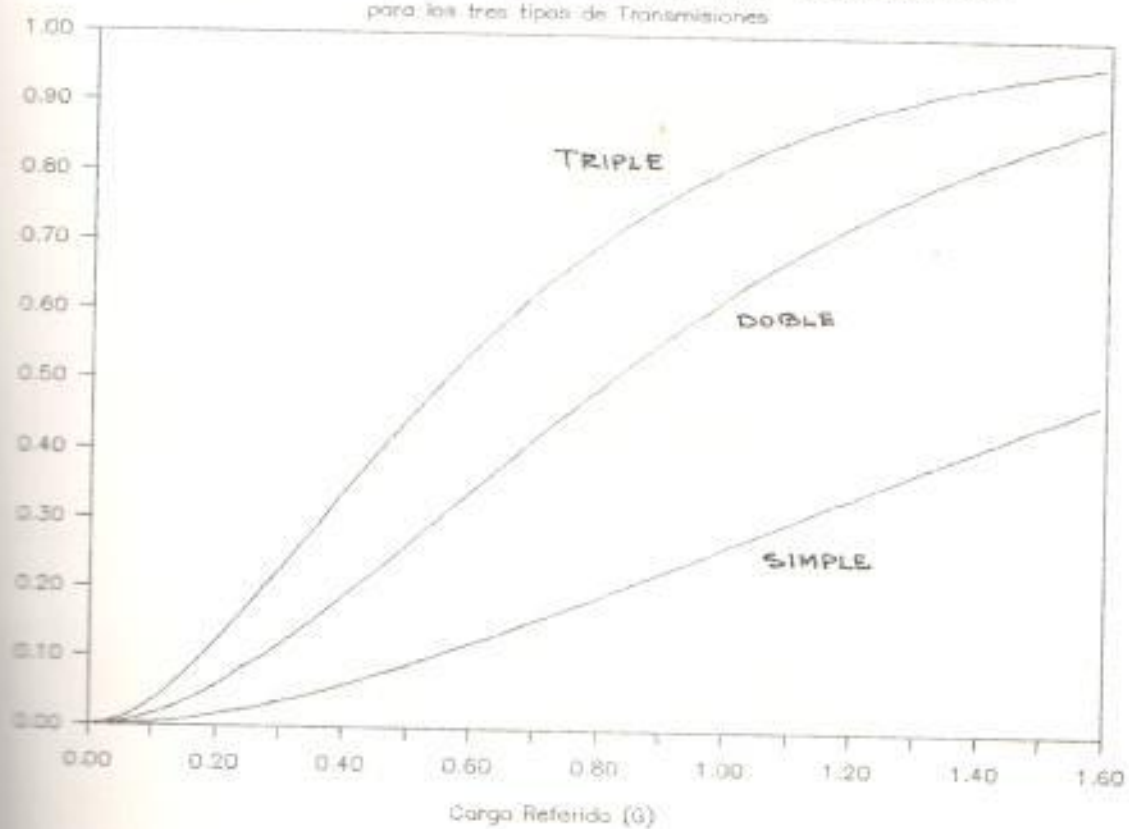


FIG.28-A Retransmisión vs Rendimiento

para Trans Simple

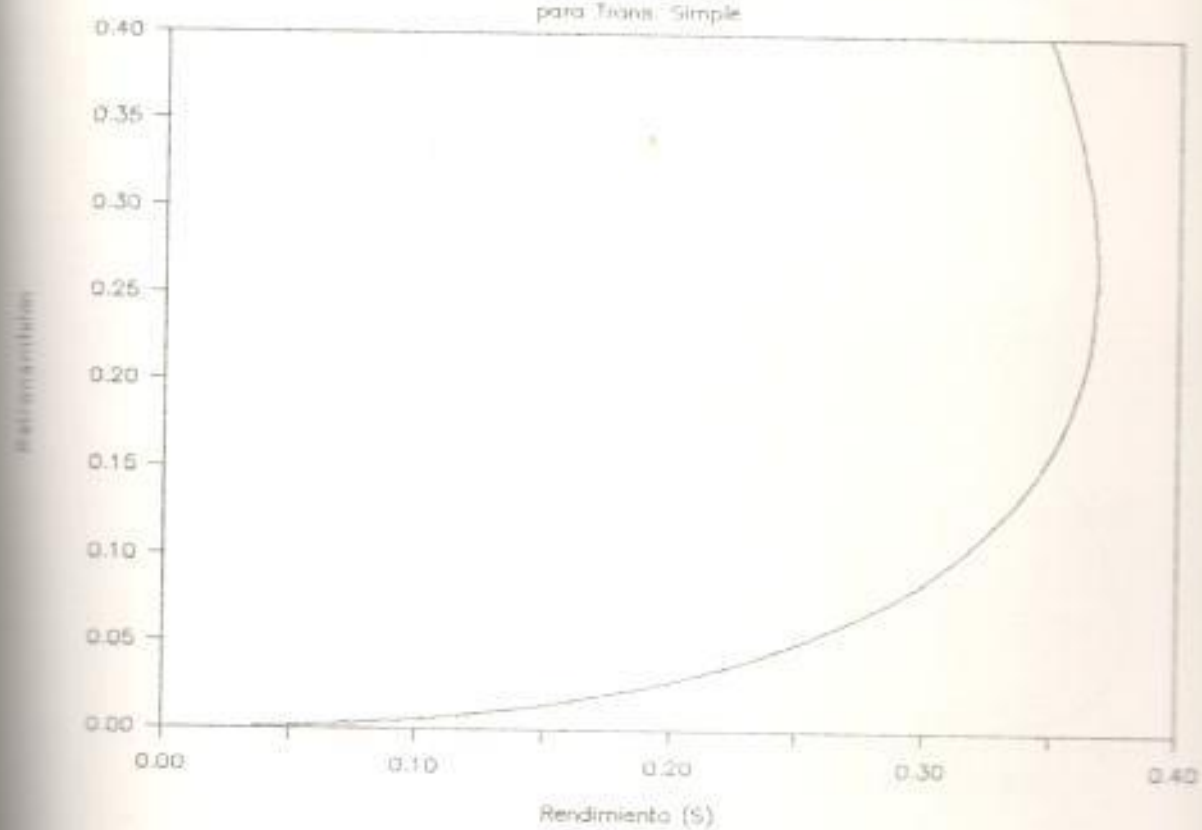


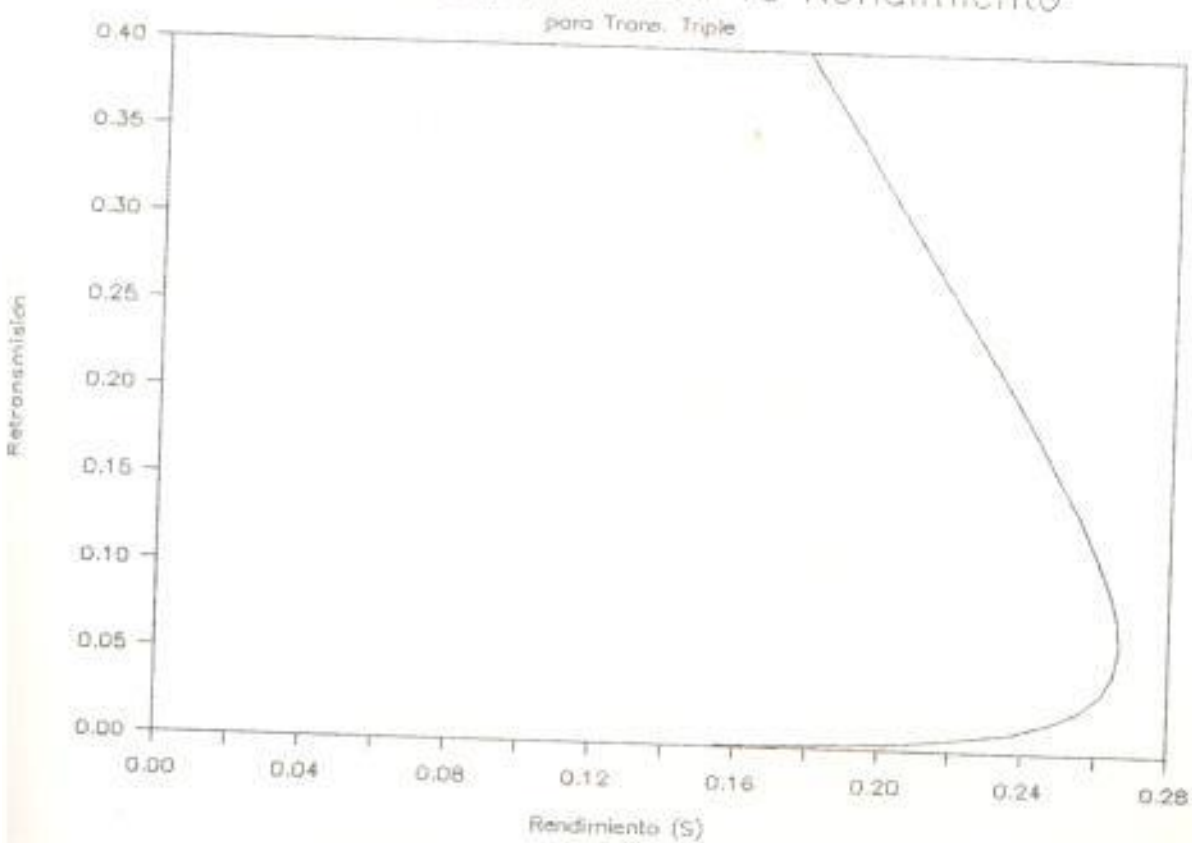
FIG.28-B Retransmisión vs Rendimiento  
para Trans. Triple



FIG.28-C Retransmisión vs Rendimiento  
para Trans. Doble

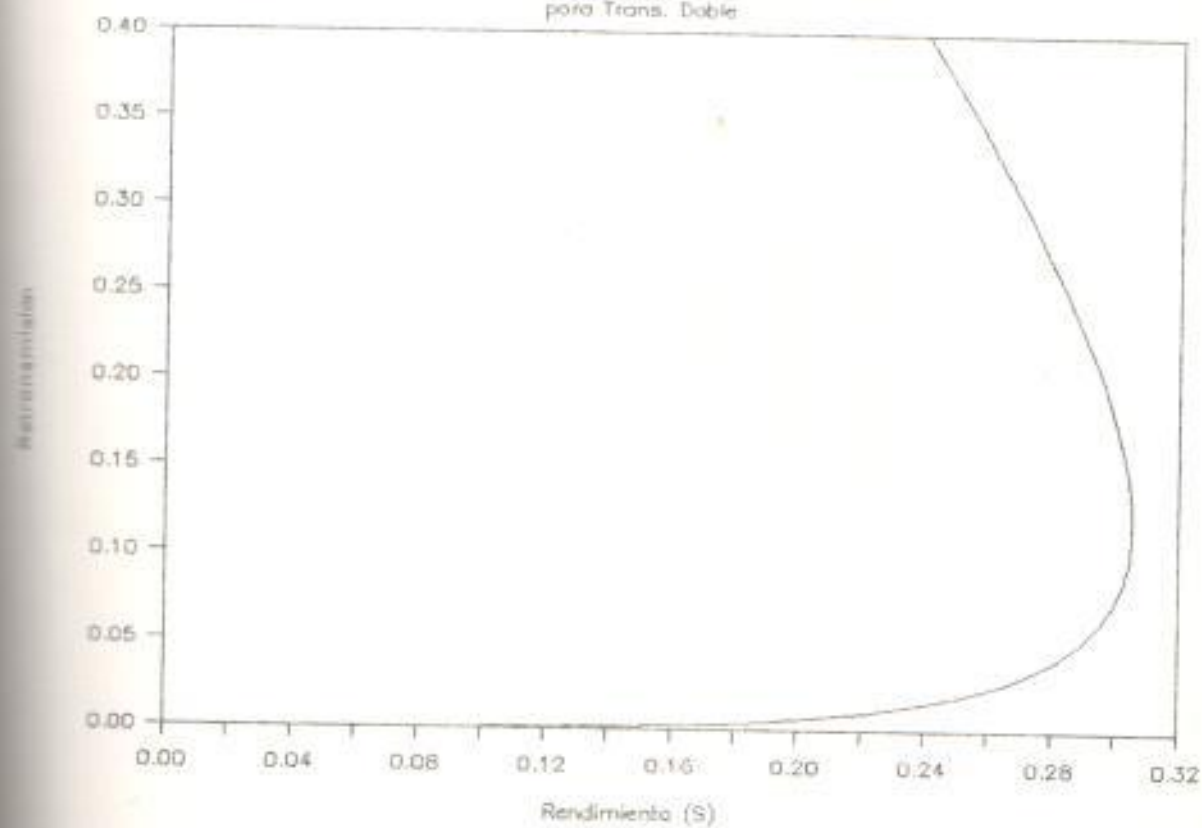
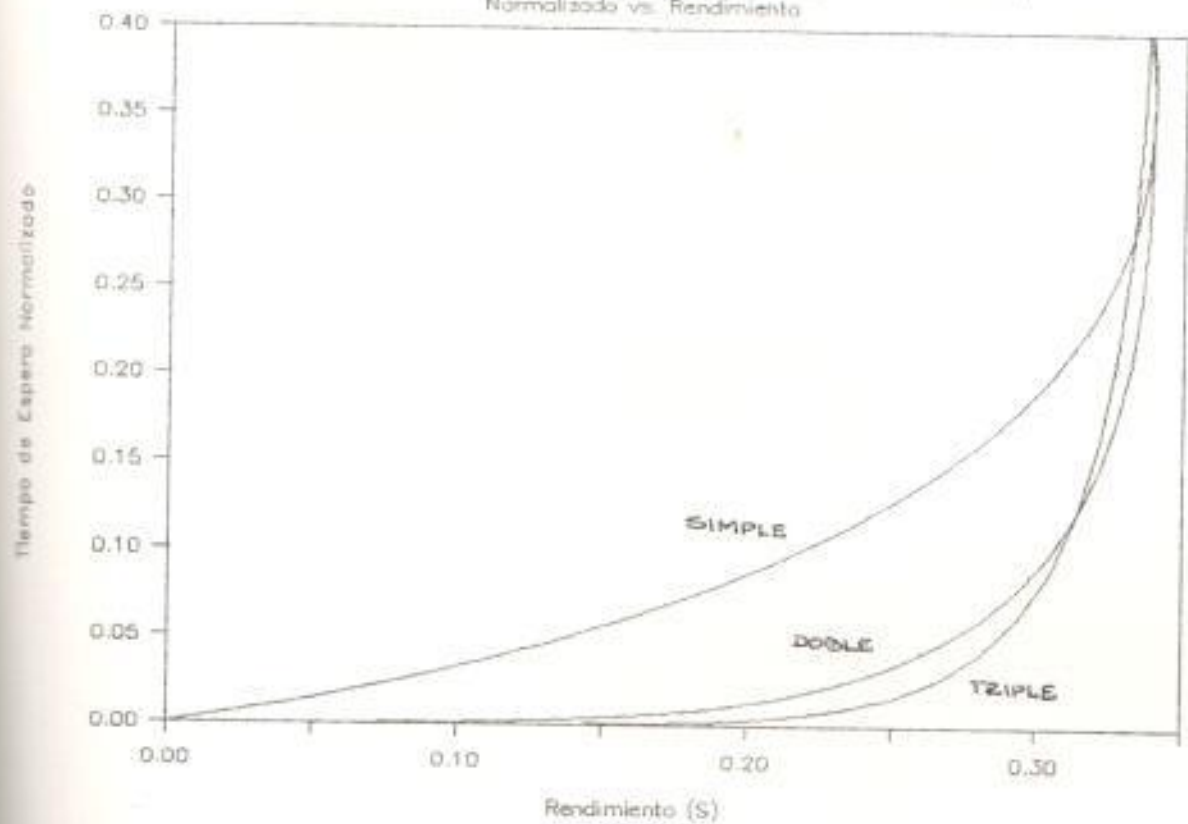


FIG.29 Comparación del Tiempo de Espera

Normalizado vs. Rendimiento



transmisiones es exitosa permite al HUB el recibir el paquete. Si todas las  $m$  transmisiones colisionan, la estación terrena enviará el paquete de nuevo  $m$  veces.

Ahora, todas las estaciones terrenas transmiten sus paquetes  $m$  veces, por consiguiente, la probabilidad de que una estación terrena transmita un paquete en el siguiente slot es  $m \cdot g$  ( $mg$  para abreviación), y el tráfico total de la red entera es  $m \cdot G$  ( $mG$ ). De la discusión de la sección 5.1 podemos deducir lo siguiente:

1. La Probabilidad  $I_m$  de que una red este en estado de idle es la probabilidad de que todas las  $n$  estaciones no transmiten en un slot dado es:

$$I_m = (1 - mg)^n \quad 5-22$$

2. El rendimiento  $S$  de una red es la probabilidad de que solamente uno de las  $n$  estaciones transmitan y una de las  $m$  transmisiones sea efectivo es:

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_m \quad 5-23$$

Donde  $S_1$  es la probabilidad de que la primera

transmisión sea efectiva .  $S_2$  es la probabilidad de que estos paquetes colisionados en la primera transmisión sean transmitidos sin ningún problema o exitosamente a la segunda transmisión ..... y Así entonces  $S_m$  es la probabilidad de que estos paquetes colisionados en todas las  $m-1$  transmisiones sean transmitidos exitosamente a las  $m$ -transmisión .

3. La probabilidad  $C_m$  de que la red este en estado de colisión la cual es la probabilidad de que dos o más estaciones terrenas transmitan en un mismo slot es:

$$C_m = \sum_{n=2}^N \binom{n}{k} * (mg)^k * (1-mg)^{n-k} \quad 5-24$$

#### 5.4 Número Optimo de Transmisiones

De acuerdo a los resultados , se puede afirmar que el número de transmisiones de cada paquete afecta el desarrollo de la red. El número óptimo de transmisiones para una red particular depende de la carga de la red. Si la carga de la red es siempre mayor que 0.5 , la transmisión simple es la mejor elección . Si la carga  $G$  es alrededor de 0.5, la doble transmisión da el mejor performance. Si la carga de la red es cerca de .35, la

triple transmisión es preferida. Si la carga de la red  $G$  es menor que 0.3, podemos pensar en una transmisión cuádruple o quintuple. Por consiguiente no hay un número de combinaciones óptimos de transmisiones para todas las condiciones. Cada red particular tiene su óptimo número de transmisiones.

## CONCLUSIONES

La red de transmisión satélite tiene tres posibilidades : Transmisión , Colisión y Trabajo sin carga (Idle). La red sólo puede estar en uno solo de estos tres estados , solamente en el estado de transmisión es útil. Los otros dos estados no contribuyen al rendimiento de la red.

La estrategia de la múltiple transmisión puede ser utilizada para incrementar la utilización del canal, reducir el período de pérdida y reducir la probabilidad de retransmisión , debido a la colisión. Finalmente ésta incrementa al rendimiento de la red cuando la carga de la red no va mas allá de algunos valores ( dependiendo del número de transmisiones ). Entonces transmitimos cada paquete muchas veces , retransmitimos un paquete solamente cuando todas las transmisiones del mismo paquete colisionan. Así se reduce el número de retransmisiones por medio de la colisión .

Observamos gráficamente que la doble transmisión es mejor que la transmisión simple en un 10 % , que la probabilidad de retransmisión de la doble es solamente la mitad de la transmisión simple y el tiempo de espera normalizado es menor que la mitad de la transmisión de ésta transmisión simple en comparación con la doble y

así sucesivamente. Los resultados son deducidos usando el teorema de Poisson.

#### RECOMENDACIONES.

El Incremento demográfico para el país y sobre todo para Guayaquil : zona económicamente hiperactiva, exige una gran demanda en las comunicaciones via satélite , y para no encontrarnos con el problema que actualmente vive , la comunicación telefónica, es necesario preveer los problemas . En el desarrollo de una mejor planificación en las transmisiones satélites , es de recomendación la aplicación del sistema de transmisión múltiple por cuanto este sistema otorga las posibilidades para una mejor comunicación .

En lo que se refiere a evitar colisiones y aprovechar los espacios de trabajo al vacío de los sistemas , propongo éste estudio como un óptimo aprovechamiento , prevención de problemas y ayuda para una mejor planificación en el desarrollo en las comunicaciones de nuestro país.

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- " Data and Computer Communications " William Stallings.
- 2.- " Multiple - Access Protocols for Satellite " Parker Communication.  
Networks: A Performance Comparacion , Ghaji Tasska, IEEE, Vol72, #11, Noviembre 1984.
- 3.- " Avances en la tecnologia de paquetes por radio " IEEE, Noviembre 1978.
- 4.- " BITS # 46 " Wandel & Golterman
- 5.- " Telecommunications " VSATS, Febrero 1989
- 6.- "ALOHA Packet broad Casting - A Retrospect " Binder .R. Abramson. National Computer Conference , 1975.