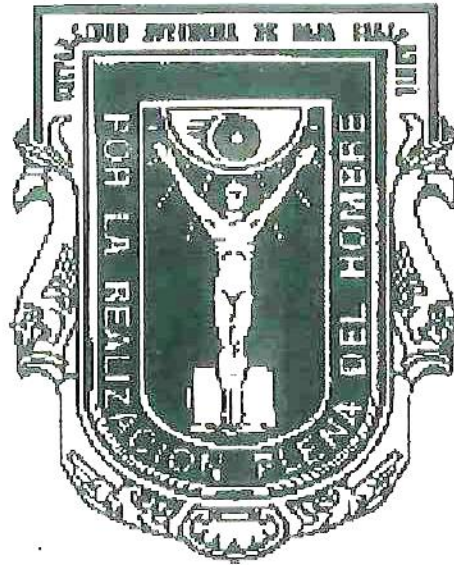


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS



SIMULACIÓN DE REDES VSAT DE DATOS

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de

LICENCIADO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES

presenta:

JOSÉ LORENZO GODOY CORRALES

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO; DICIEMBRE 1996.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

SIMULACIÓN DE REDES VSAT DE DATOS

T E S I S P R O F E S I O N A L

QUE PRESENTA

JOSÉ LORENZO GODOY CORRALES

APROBADO POR:



MC. ERNESTO QUIROZ MORONES

Presidente del jurado



L.C.C. EVELIO MARTÍNEZ MARTÍNEZ
SECRETARIO



FIS. FRANCISCO JUÁREZ GARCIA
1er. VOCAL

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con el más grande de los cariños a mis padres:

Roberto Godoy Martínez y Concepción Corrales Cornejo

Por el esfuerzo y apoyo realizado para darme la mejor de las herencias, mi educación

A mi esposa

Gilda Muñoz Bonilla

Por ser la luz que ilumina mi camino, compartir mis penas y alegrías, y por darme el

mejor de los regalos

Nuestra hija

Michelle Godoy Muñoz

Quien ha venido a darle sentido a nuestras vidas regosijandonos de felicidad.

A mis hermanos:

***Lucia Dinorah, Jesús Roberto, Patricia, Carmen Karina y Carmen
Zarina***

Por ejemplificar el camino que debería de seguir, marcando así, la pauta para trazar mis

propias metas.

A mis familiares

***Lucia Martínez Vda. de Godoy, y
María del Carmen Godoy Martínez***

Por brindarme tan maravillosa infancia y apoyarme siempre para realizar mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi amigo y director de tesis

M.C. Ernesto Quiroz Morones

Por su apoyo y amistad incondicional

A los miembros de mi comité de tesis: L.C.C Evelio Martínez Martínez, Fis. Francisco Juárez García, M.C. Omar Álvarez Xochihua y Ing. Enrique Pacheco Cabrera por sus valiosas aportaciones para el logro de este trabajo

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada donde realicé mi tesis de licenciatura y siempre estuvieron en la mejor disposición de apoyarme.

A mis amigos y al personal del Cicese.

A la Universidad Autónoma de Baja California por brindarme la oportunidad de desarrollarme educacionalmente.

A mis compañeros y amigos de la facultad de ciencias y especialmente a:

Mary Cervantes (*Mary la Cubana*), **Edgar Manzanrez** (*el Acapulco*), **Victor Torres** (*el IRQ Turbo Ensamblar*), **Javier Gaynor** (*el compadre Osito*), **Alejandro León** (*el lión*), **Hector Jiménez** (*el Pato*), **Angel Dueñas** (*el Tata Dueñas*), **Roberto Soto** (*el albañil*) y a los Rollo (**Rogelio Segovia e Irma Sarmiento**).

RESUMEN de la tesis de José Lorenzo Godoy Corrales presentada como requisito parcial para la obtención de la licenciatura en CIENCIAS COMPUTACIONALES Ensenada, Baja California, México. Diciembre de 1996.

SIMULACIÓN DE REDES VSAT DE DATOS

Resumen Aprobado:


M.C. Ernesto Quiroz Morones
Director de tesis

Las redes VSAT de datos ocupan un importante nicho de comunicaciones en redes de cómputo corporativas. Cubriendo un espectro de necesidades tales como; diversidad de tasas de transmisión (desde ráfagas de unas decenas de bytes/segundo hasta transmisión continua a 64 Kbps), y flexibilidad en el número de VSATs que forman la red. El análisis de estas redes se puede llevar a cabo mediante formulación matemática utilizando valores medios; otro método es por medio de simulación, que permite caracterizar mejor la naturaleza aleatoria de estos sistemas.

Considerando lo anterior, en el presente trabajo de tesis se efectúa un análisis de tres de los protocolos de multi-acceso al satélite mas representativos en redes VSAT, a saber: (a) Aloha clásico (Acceso aleatorio, ningún control) (b) Aloha ranurado (Acceso aleatorio, algún control) (c) TDMA-DAMA (Acceso por demanda, control total). Para efectuar este análisis se formularon cuatro modelos utilizando dos diferentes herramientas de simulación, COMNET III Y SIMSCRIPT II.5. Con el primero se implementaron los protocolos Aloha clásico y Aloha ranurado, en tanto que en el segundo Aloha ranurado y TDMA-DAMA/Aloha Ranurado. El análisis de resultados indica que el comportamiento de los modelos simulados coincide con el registrado en la literatura.

El aspecto mas original del trabajo presentado consiste en el desarrollo del simulador SIMDAMA (SIMSCRIPT II.5), el cual permite simular, analizar y diseñar redes VSAT TDMA-DAMA con canal de solicitud Aloha ranurado, para diversas condiciones de carga de tráfico y número de nodos de la red.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Antecedentes	1
I.2. Planteamiento del problema	3
I.3. Objetivo	3
I.4. Metas	3
I.5. Infraestructura utilizada	4
I.6. Marco de referencia	5
I.7. Método de presentación	5
II. COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE	7
II.1. Las ventajas de las comunicaciones por satélite	7
II.2. Breve historia de la tecnología satelital	9
II.2.1. Orígenes	11
II.2.2. Desarrollo	12
II.3. Componentes de un enlace satelital	16
II.3.1. Satélites y espacio satelital	17
II.3.2. Estaciones terrenas	18
II.3.3. Estaciones telemetria, trayectoria y comandos (TTC)	19
II.3.4. Centro de control de red	20

CONTENIDO *(continuación)*

	<u>Página</u>
II.4. Aplicaciones actuales	20
II.5. Métodos de acceso al satélite	21
II.5.1. Protocolos Presagiados	21
II.5.1.1.FDMA	23
II.5.1.2.TDMA	24
II.5.2. Protocolos por contención	25
II.5.2.1.Aloha	25
II.5.2.2.Aloha-Ranurado	27
II.5.3. Protocolos de tipo controlado	28
II.5.3.1.DAMA	28
II.6. Sistemas VSAT	29
II.6.1. Componentes de un sistema VSAT	30
II.6.2. Evolución de los sistemas VSAT	31
II.6.3. Servicios que proporciona un sistema VSAT	32
II.6.4. Ejemplos de sistemas VSAT	33
II.6.4.1.Chevron	34
II.6.4.2.Almacenes Kmart	34
II.6.4.3.Compañía Ford	35
II.6.5. Tendencias a un mayor uso	35

CONTENIDO (*continuación*)

	<u>Página</u>
II.6.6. Áreas de aplicación de sistemas VSAT	36
III. MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES	38
III.1. La simulación como metodología de análisis de sistemas	39
III.1.1. Sistemas	40
III.1.1.1. Características de los sistemas	41
III.1.2. Modelos	42
III.1.2.1. Clasificación de los modelos	43
III.1.3. Simulación	45
III.1.3.1. Metodología para un estudio de simulación	46
III.1.3.2. Ventajas y desventajas de la simulación	48
III.1.3.3. Áreas de aplicación de la simulación	50
III.2. Utilización de la simulación en telecomunicaciones	51
III.2.1. Objetivos de la simulación en comunicaciones	51
III.2.2. Tipos de software de simulación	52
III.2.3. Análisis de software comercial de simulación para comunicaciones	54
III.3. Breve descripción de las herramientas de simulación utilizadas	57
III.3.1. Descripción de SIMSCRIPT II.5	57

CONTENIDO *(continuación)*

	<u>Página</u>
III.3.2. Descripción de COMNET III	60
 IV. MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS VSAT	 65
IV.1. Criterios de selección de los métodos de acceso a simular	65
IV.2. Modelos propuestos para: Aloha, Aloha-Ranurado y DAMA/Aloha-Ranurado	66
IV.2.1. Definiciones y notaciones utilizadas para describir los modelos	67
IV.2.2. Modelo conceptual del protocolo Aloha	69
IV.2.3. Modelo conceptual del protocolo Aloha-Ranurado	70
IV.2.4. Modelo conceptual del protocolo TDMA-DAMA/Aloha-Ranurado	72
IV.2.5. Modelo funcional de la Red	74
IV.3. Objetivos y metodología para realizar las simulaciones	74
IV.4. Implementación en COMNET III	76
IV.4.1. Topología de red	76
IV.4.2. Tráfico de red	78
IV.4.3. Protocolo de red	80
IV.4.4. Parámetros de ejecución	81
IV.5. Implementación en SIMSCRIPT II.5	82
IV.5.1. Preamble	83

CONTENIDO (*continuación*)

	<u>Página</u>
IV.5.2. Main	84
IV.5.3. Leer.Datos.In	85
IV.5.4. Inicializar	85
IV.5.5. Nodo.Generador	86
IV.5.6. Nodo	86
IV.5.7. Operación.Nodo	87
IV.5.8. Apuntador.Ranura	89
IV.5.9. Dama	90
IV.5.10. Reporte	91
 V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN	 93
V.1. Síntesis y análisis de resultados	93
V.1.1. Consideraciones iniciales	93
V.1.2. Análisis de Retardo Promedio (<i>RP</i>)	94
V.1.3. Análisis de Caudal Eficaz (<i>CE</i>)	96
V.2. Discusión	98
V.3. Validación de los resultados obtenidos	103
V.3.1. Referencias de análisis de simulación	103
V.3.2. Validación del simulador COMNET III para Aloha y Aloha-R	104

CONTENIDO *(continuación)*

	<u>Página</u>
V.3.3. Validación del simulador SIMDAMA para DAMA y el subcanal Aloha-R	105
 VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 107
VI.1. Sobre el cumplimiento de los objetivos de la tesis	107
VI.2. Desarrollo de SIMDAMA	108
VI.3. Experiencias sobre las capacidades y limitaciones de COMNET III	110
VI.4. Experiencias sobre las capacidades y limitaciones de SIMSCRIPT II.5	112
VI.5. Recomendaciones para la programación de sistemas de simulación	
 BIBLIOGRAFÍA	 114
APÉNDICES	
A. Código fuente del modelo DAMA/Aloha-Ranurado	115
B. Glosario	128
C. Disquetes de modelos de sistemas VSAT	

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. <i>Ventaja geométrica de los satélites de órbita (a) y su capacidad de establecer intercomunicación en Malla (b)</i>	8
2. <i>Cobertura global</i>	15
3. <i>Componentes de una red satelital</i>	17
4. <i>Subsistemas de una ET típica</i>	19
5. <i>Sistema VSAT bajo un esquema FDMA</i>	23
6. <i>Sistema VSAT bajo un esquema TDMA</i>	24
7. <i>Sistema VSAT bajo un esquema Aloha Clásico</i>	27
8. <i>Sistema VSAT bajo un esquema Aloha Ranurado</i>	28
9. <i>Distribución gráfica de las 4 principales áreas de aplicación en que se clasifica el tráfico de sistemas de telecomunicaciones</i>	37
10. <i>Simulación de sistemas</i>	40
11. <i>Clasificación de modelos simbólicos</i>	44
12. <i>Estructura de un programa en SIMSCRIPT</i>	58
13. <i>La plataforma en que fué desarrollado COMNET III</i>	61
14. <i>Estructura o marco del mensaje Aloha</i>	69
15. <i>Diagrama Conceptual de los protocolos Aloha y Aloha-R</i>	71
16. <i>Diagrama Conceptual del protocolo DAMA ALOHA-R</i>	73

LISTA DE FIGURAS *(continuación)*

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
17.	<i>Iconos para establecer la topología de una red VSAT</i>	77
18.	<i>Modelo Aloha con 60 nodos</i>	82
19.	<i>Diagrama de estructura jerárquica de procedimientos y procesos</i>	85
20.	<i>Diagrama de flujo principal</i>	84
21.	<i>Diagrama de flujo del procedimiento INICIALIZAR</i>	85
22.	<i>Diagrama de flujo del proceso NODO.GENERADOR.</i>	86
23.	<i>Diagrama de flujo del proceso NODO</i>	87
24.	<i>Diagrama de flujo de procedimiento OPERACION.NODO</i>	88
25.	<i>Diagrama de flujo de la función APUNTADOR.RANURA</i>	89
26.	<i>Diagrama de flujo del procedimiento DAMA</i>	90
27.	<i>Diagrama de flujo del proceso REPORTE</i>	91
28.	<i>Número de nodos contra Retardo Promedio (RP)</i>	95
29.	<i>Número de nodos contra Utilización (CE)</i>	97
30.	<i>CE contra Retardo Promedio</i>	98
31.	<i>Comparación entre los modelos desarrollados para COMNET y SIMDAMA</i>	99
32.	<i>Comparación de los resultados de Aloha-R entre COMNET y SIMDAMA</i>	105
33.	<i>Comparación de los resultados de DAMA Aloha-R</i>	106

LISTA DE TABLAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. <i>Comparación entre las 5 tecnologías más populares</i>	9
2. <i>Desarrollo satelital</i>	16
3. <i>Servicios que proporciona un satélite doméstico</i>	20
4. <i>Clasificación de protocolos</i>	21
5. <i>Comparación resumida de protocolos aplicables a sistemas VSAT de datos (Raychaudhuri, D. et al . 1988)</i>	22
6. <i>Ejemplos de modelos físicos</i>	44
7. <i>Características del software comercial de simulación</i>	55
8. <i>Capacidades estadísticas del software comercial de simulación de comunicaciones</i>	56
9. <i>Soporte al usuario</i>	56
10. <i>Reportes de rendimiento</i>	57
11. <i>Parámetros que definen el modelo funcional</i>	74
12. <i>Estructura Every NODO</i>	83
13. <i>Datos de entrada del modulo LEER.DATOS.IN</i>	85
14. <i>Datos de salida del proceso REPORTE</i>	92

SIMULACIÓN DE REDES VSAT DE DATOS

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes

Los sistemas satelitales VSAT (Very Small Aperture Terminals – Terminales de Apertura Muy Pequeña) han encontrado una amplia gama de aplicaciones a nivel corporativo, universitario, gubernamental, etc., siguiendo de cerca los pasos de reducción de tamaño y costo que tuvieron los sistemas de cómputo para llegar a las baratas computadoras "personales" actuales.

Los sistemas de comunicaciones VSAT son una tecnología de comunicaciones por satélite muy reciente, iniciando su aplicación en 1980. El desarrollo de los sistemas VSAT ha ido de la mano con la necesidad de efectuar el "networking", es decir, la comunicación entre sistemas de cómputo. Representado actualmente un medio extremadamente confiable para la comunicación entre sistemas de cómputo. Por ésta razón su utilización se ha extendido a la banca automatizada, compañías de seguros, maquiladoras, industria y grandes cadenas comerciales, con redes que cuya dimensión va desde las decenas hasta mayores de 2,500 estaciones VSAT, prestando servicios como: el tener una rápida verificación de cheques y tarjetas de crédito, la obtención de información por parte de oficinas centrales acerca de los inventarios de sucursales y las preferencias de productos de sus clientes, así como la actualización de precios en las cajas registradoras en todas las tiendas del país simultáneamente.

Las principales características que definen a este tipo de sistemas son: Equipos de transmisión y retransmisión muy compactos, con una muy alta confiabilidad, rápido transporte e instalación para comunicar sitios remotos, manejo de bajo a medio volumen de información, etc.

En el transcurso de su evolución han surgido una variedad de sistemas, caracterizados principalmente por el método de acceso múltiple al satélite (Aloha, TDMA, SREJ-Aloha, DAMA, etc.). Por otro lado hay una amplia diversidad de escenarios de aplicación, cuyas necesidades difieren en intensidad de tráfico, número de nodos, ancho de banda, etc., de tal forma que cada esquema de multi-acceso VSAT tiene fortalezas y debilidades según la aplicación específica. De ahí la necesidad de efectuar un cuidadoso análisis para especificar qué sistemas VSAT es más adecuado en cada caso.

En los últimos años se ha podido recurrir a herramientas de cómputo que permiten simular estos sistemas, con el propósito de "probar" antes de construir. La simulación permite el análisis en la interacción de los parámetros de la cual especificar el sistema VSAT mas adecuado para cada aplicación.

La simulación de sistemas de comunicación hasta hace poco era una área poco explotada comercialmente por la industria del software, debido a que es un mercado potencialmente chico y a las grandes inversiones requeridas para desarrollar el software con la capacidad de modelar este tipo de sistemas. Actualmente existen en el mercado algunas herramientas de Software entre lenguajes y simuladores (por ejemplo: BONEs

Designer, SIMSCRIPT, COMNET, OPNET ANALYST, etc.) que nos permiten simular redes digitales de comunicaciones.

1.2 Planteamiento del problema

La problemática anteriormente mencionada asocia la necesidad del aprovechamiento de las técnicas de simulación con el análisis de los diversos escenarios de sistemas de comunicación. El presente trabajo de tesis realiza un estudio del rendimiento de sistemas VSAT para redes de cómputo con intensidades de tráfico variables. Se escogieron tres métodos de acceso al satélite representativos del espectro de sistemas VSAT disponibles (Aloha, Aloha-Ranurado y Multi-acceso en demanda). Para llevar a cabo el análisis se emplean técnicas de simulación, utilizando el simulador COMNET III y el lenguaje de simulación SIMSCRIPT II 5.

1.3 Objetivo

Efectuar el análisis de sistemas VSAT por medio de herramientas de simulación representativas del estado del arte de esta disciplina, y efectuar una evaluación de los resultados obtenidos y de las herramientas utilizadas.

1.4 Metas

Para llevar a cabo el objetivo mencionado se plantean las siguientes metas:

- I. Estudio de la tecnología de comunicaciones satelitales.

- II. Estudio de la tecnología de redes VSATs.
- III. Estudio de los simuladores y lenguajes de simulación en telecomunicaciones.
- IV. Seleccionar los sistemas VSAT específicos a analizar. Proponer y formular los modelos a simular.
- V. Simulación de los modelos en COMNET III.
- VI. Desarrollo de un modelo en SIMSCRIPT II.5.
- VII. Análisis de resultados obtenidos en ambos simuladores y comparación con los análisis matemáticos de modelos conocidos.

I.5 Infraestructura utilizada

La infraestructura utilizada para el desarrollo de este trabajo de tesis fueron:

A. Hardware:

- Laboratorio de simulación de redes de comunicación del área de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE.
- Computadoras PCs 80486 de 33 y 66 MHz de procesamiento y 16 Mb de memoria RAM.

B. Software de simulación:

- COMNET III para PC.
- SIMSCRIPT II.5 para PC.

C. Software de apoyo:

- Visual C++ 1.5

- EXCEL 5.0.

D. Software de edición.

- WINWORD 6.0.
- COREL DRAW 4.0.

I.6 Marco de referencia

En México se han efectuado algunos trabajos de análisis de redes VSATs como lo son: Tipos de Redes de Comunicación Satelitales y sus Aplicaciones [Corona, 1991] y Análisis de la Técnica de Espectro Extendido (CDMA) en Aplicaciones Satelitales con Tráfico Variable [Durazo, 1993], ambas desarrolladas en base a procedimientos analíticos. El estudio de los sistemas VSAT mediante una metodología de simulación es un tema poco explorado a nivel mundial, y no abordado hasta ahora en México. Lo cual es el tema central del presente trabajo de tesis.

I.7 Método de presentación

La forma escrita de presentar este trabajo es de la siguiente manera:

CAPÍTULO II

Plantea un panorama general del desarrollo de las comunicaciones satelitales desde sus inicios en los años 60's hasta la fecha. Se describen los componentes básicos de

un enlace satelital, los diferentes métodos de acceso al satélite (FDMA, TDMA, Aloha y DAMA), y finalmente una introducción a los sistemas VSATs.

CAPÍTULO III

Se analiza y discute la importancia de la simulación en el análisis de los sistemas de comunicación. Describe en forma genérica las herramientas de simulación existentes en el mercado, y su aplicación. Así como también se describe con detalle el simulador COMNET III y el lenguaje de simulación SIMSCRIPT II.5 que se emplean en el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO IV

Se seleccionan tres sistemas VSAT representativos en que se aplicará la metodología de simulación. Se describen los criterios de selección, así como los modelos propuestos para la simulación, los parámetros funcionales y la forma de implementarlos en COMNET III y SIMSCRIPT II.5

CAPÍTULO V

Se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, y se efectúa un análisis e interpretación de los mismos. Se comentan criterios de validación de los resultados.

CAPÍTULO VI

Se presentan conclusiones extraídas de la experiencia de conjugar las disciplinas de *simulación y sistemas de telecomunicaciones*. Se efectúan propuestas para dar continuidad al presente trabajo.

II COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

Este capítulo describe un panorama general del desarrollo de las comunicaciones satelitales, sistemas VSATs y los métodos de acceso más representativos para las redes VSAT utilizadas para comunicar sistemas de cómputo.

II.1 Las Ventajas de las Comunicaciones por Satélite

Son diversas las tecnologías de comunicaciones disponibles para el transporte de información, las cuales se caracterizan principalmente por el medio físico que interconecta los extremos transmisor y receptor. Las tecnologías mas populares son:

- Sistemas Satelitales (SS)
- Fibra Óptica
- Par Trenzado y Cable Coaxial
- Radio Microondas Digital (RMD)
- Distribución Local de Radio

Cada tecnología tiene sus fortalezas y debilidades, y en términos generales no son mutuamente excluyentes sino mas bien complementarias. La selección de una de ellas dependerá de varios factores como cobertura geográfica, distancia, tráfico, etc. A continuación se enuncian los principales aspectos que permiten apreciar las ventajas y las limitaciones que tiene los sistemas satelitales frente a otras tecnologías.

Sistemas Satelitales: Por su posición favorable sobre la tierra, los satélites son el mejor medio para proporcionar una área de cobertura de transmisión extensa, pudiendo inclusive abarcar continentes completos; también permite la transferencia de información a

través de ETs muy distantes o aisladas por barreras naturales (selvas, islas, sitios montañosos, etc.). Otra característica *sui generis* es que es insensible a la distancia, es decir, la distancia entre dos nodos puede ser de decenas a miles de Kms. sin afectar los costos de operación ni la calidad de la señal.

En la Figura 1 podemos observar la ventaja geométrica de un satélite en órbita, que le permite dar servicio a redes completamente interconectadas en malla. En una red con N nodos, se pueden establecer $[N(N-1)/2]$ enlaces sin introducir conmutación.

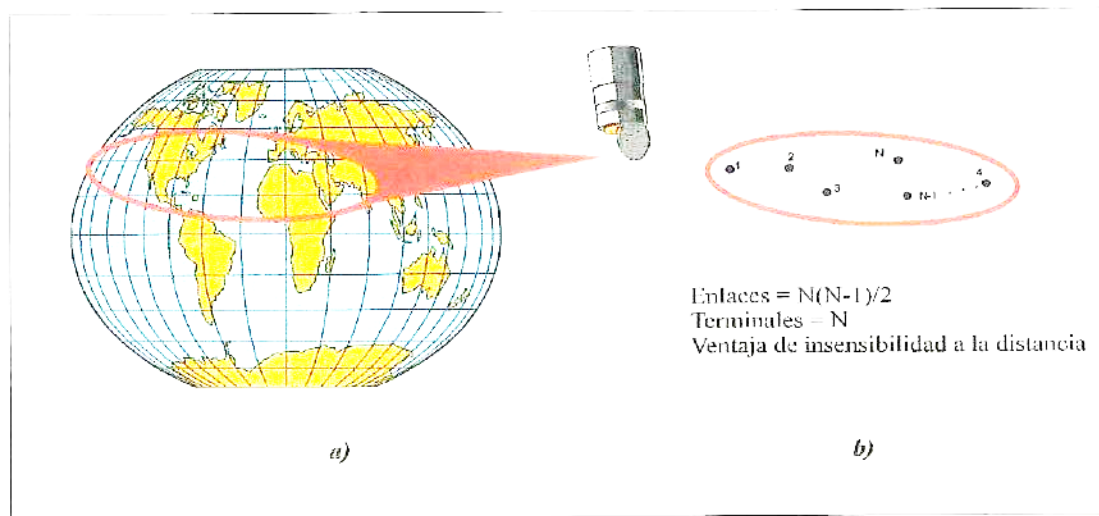


Figura 1. Ventaja geométrica de los satélites de órbita (a) y su capacidad de establecer intercomunicación en Malla (b).

Esta ventaja geométrica nos permite establecer enlaces de las siguientes formas (conectividad):

- Multipunto-a-Multipunto
- Multipunto-a-Punto

- Punto-a-Multipunto
- Punto-a-Punto
- Banda Ancha Móvil

Una desventaja de las comunicaciones satelitales es el *tiempo de propagación*, es decir, el tiempo aproximadamente de 250 milisegundos que tarda la señal en su viaje de ET-SAT-ET. Los sistemas de comunicación actuales ya están diseñados para minimizar este problema.

La tabla I muestra en forma comparativa las cinco tecnologías más comunes.

Tabla I. Comparación entre las 5 tecnologías más populares.

Tecnología	Alcance	Taza de Datos	Conectividad	Consideración Primaria
Satélite	Intercontinental	Media a Alta	Multi a Multi Punto a Multi Multi a Punto	Retardo de Propagación
Radio Digital de Microondas	Local/Regional	Alta	Punto a Punto	Geometría de la trayectoria de Transmisión
Fibra Óptica y Cable Coaxial	Local/Regional	Alta	Punto a Punto	Costo de construcción
Distribución Local de Radio	Local/Regional	Media a Alta	Punto a Punto Punto a Multi	Geometría de la Trayectoria de Transmisión
Par Trenzado	Local	Baja a Media	Punto a Punto	Costo de Construcción

Multi = MultiPuntos

II.2 Breve historia de la tecnología satelital

El desarrollo tecnológico que se ha presentado en el área de las comunicaciones satelitales desde sus inicios en los años 50's hasta la actualidad es de gran importancia, convirtiéndose en una parte integral en la operación de sistemas globales y regionales de televisión, telefónicos, radio, fax, cómputo, video conferencia, etc. El desarrollo tecnológico de los sistemas satelitales es atribuible a los avances obtenidos en los siguientes aspectos:

- Capacidad de transmisión
- Capacidad de lanzamiento
- Cobertura Satelital
- Estabilización satelital

Capacidad de Transmisión: Se refiere a la capacidad de transmitir señales de Radio Frecuencia (RF) por el espacio entre el satélite en órbita y las estaciones en Tierra. La capacidad de transmisión se mide en base al ancho de banda y potencia de transmisión.

Capacidad de lanzamiento: En un principio la tecnología de propulsión de cohetes a grandes alturas era muy limitada, por lo que el tamaño y peso de la carga útil era muy reducida (de solo unos cientos de Kgs). El cohete ha evolucionado hasta obtener una mayor capacidad de tamaño y carga útil (de miles de Kgs), e incluso en un mismo lanzamiento pueden ser colocados más de un satélite en órbita con la consiguiente

reducción de costos. Existe actualmente una nueva generación de cohetes, el sistema Taxis Espaciales (Space Shuttle), teniendo como característica adicional la reutilización de estos vehículos. Actualmente están trabajando en *Pegasus* una nueva generación de taxis espaciales cuya principal característica es que serán expulsados de un avión especial en vuelo a gran altura como si fuera un proyectil bélico y a partir de aquí iniciar su ascenso a la estratosfera hasta colocar los satélites en órbita de baja altura (**LEO** = Low Earth Orbit); estos vehículos serán de bajo costo y completamente automatizados.

Estabilización satelital: Para mantener fija la posición del satélite, antenas y celdas solares, se han desarrollado mecanismos de estabilización tales como: de Giro (Dual-Spin) y Triaxial (3-Axis).

Cobertura Satelital: El espacio territorial que cubre el haz electromagnético que transmite un satélite, se clasifica de acuerdo al área de cobertura en: internacional, regional y local. Inicialmente la cobertura internacional se dio debido a la necesidad de contar con comunicación telefónica transcontinental. Al aumentar las capacidades de los satélites y por lo tanto brindar mayores servicios y al alcance de muchos más usuarios crece el interés de cada país por tener su propio sistema satelital doméstico.

II.2.1 Orígenes

El concepto de comunicación por medio de sistemas satelitales tienen sus orígenes en 1945 cuando el escritor inglés de ciencia ficción *Arthur C. Clarke*, escribiendo para la revista "*Wireless World*" propuso un sistema de comunicaciones global utilizando

estaciones espaciales orbitando la Tierra a la misma velocidad de rotación de la Tierra, y no es sino hasta 1955 cuando J. R. Pierce director de la compañía US Bell Laboratories, define las bases teóricas para la utilización de satélites espaciales para la comunicación.

II.2.2 Desarrollo

Los primeros satélites experimentales que se utilizaron para la comunicación, trabajaban como un reflector pasivo o espejo, ya que las señales enviadas desde la Tierra rebotaban en sus superficies metálicas de aluminio.

En 1957 fue puesto en órbita el primer satélite artificial SPUTNIK (satélite ruso) transmitiendo sólo información de telemetría, es decir, información de medición de velocidad, altitud, comandos enviados desde la Tierra, etc., este satélite experimental tuvo una vida de 21 días. Posteriormente en 1958 los EUA comienzan con la serie EXPLORER I que al igual que el SPUTNIK sólo transmitió información telemétrica durante 5 meses. Ese mismo año el SCORE, primer satélite norteamericano colocado por la NASA, fué el primer satélite con capacidad de transmitir voz, utilizándose por el presidente Eisenhower para transmitir su mensaje de Navidad y Año Nuevo.

Con las grandes limitaciones electrónicas y de capacidad de lanzamiento al espacio (peso), en 1960 se crean una serie de satélites experimentales llamados pasivos, ya que funcionan como reflectores o espejos. El ECHO I fué un satélite puesto en una órbita a media altura con forma de un gran balón y superficie metálica. En ese mismo año el departamento de defensa de los EUA inicia una serie de proyectos satelitales, que

culminaría con la puesta en órbita del satélite COURIER, que trabajaba recibiendo mensajes y grabándolos en una cinta magnética ("Store-and-Forward") para posteriormente retransmitir al encontrarse en una posición favorable sobre un grupo de estaciones terrenas destino. Durante el recorrido de la trayectoria elíptica de su órbita, este satélite funcionó por 17 días.

En 1962 ocurren 3 eventos importantes:

1. TELSTAR I se convierte en el primer satélite de comunicaciones no gubernamental (de la compañía Bell System) usando un gran ancho de banda, siendo el primer repetidor activo en tiempo real.
2. Es colocado SYSCOM3, primer satélite en órbita geoestacionaria.
3. El presidente Kennedy realiza una serie de modificaciones a la legislación Americana de Comunicaciones, provocando profundas consecuencias a nivel internacional, permitiendo con ello la formación de corporaciones no gubernamentales para la utilización, desarrollo e implementación de sistemas de telecomunicaciones, que posteriormente involucraría a muchos más países. COMSAT (COMmunications SATellite corporation = Comunicaciones satelitales, la primera corporación de este tipo) crea en 1964 el consorcio INTELSAT (INternational TELEcommunications SATellite consortium = consorcio internacional de telecomunicaciones satelitales) para posteriormente en 1965 poner en operación el primer satélite internacional EARLY BIRD (INTELSAT I). Actualmente el consorcio Intelsat agrupa a más de 120 naciones en el mundo y a puesto en operación a más de 17 satélites.

La cobertura satelital también se ha modificado, debido a la reducción en los costos de construcción, lanzamiento y administración de sistemas satelitales, permitiendo pasar de una cobertura internacional a una cobertura local o doméstica. Este es el caso del sistema MOLNIYA, que en 1967 fué puesto en operación con 4 satélites ubicados en órbitas elípticas, con una duración de cobertura eficaz de 6 horas/satélite por lo que en suma este sistema cubría las 24 horas del día. Para el año de 1969 los satélites INTELSAT II y III lograron la primera cobertura total de la Tierra, para lo cual se requiere de 3 satélites como se observa en la figura 2.

En 1974 es puesto en órbita el satélite SYMPHONIE I, primer satélite geosíncrono con estabilización de tres ejes.

En 1976 el CTS (Communications Test Satellite = Satélite de Comunicaciones Experimental), permite las comunicaciones de alta potencia (200 Watts), haciendo posible la recepción de señales enviadas del satélite con antenas muy pequeñas llamadas VSATs. En este mismo año y debido al incremento en la potencia de los satélites, es posible su utilización para las comunicaciones móviles marítimas MARISAT I.

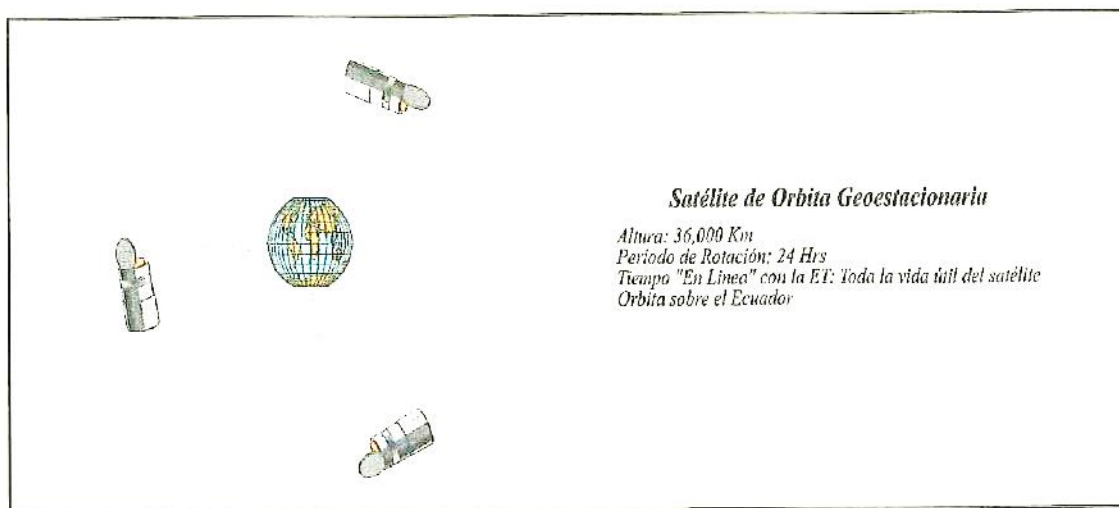


Figura 2. Cobertura global.

En 1981 fue lanzado el satélite INTELSAT V con estabilización a 3 ejes, celdas solares desplegables y con más de una banda de frecuencia (C y Ku). En 1983 es puesto en órbita EUTELSAT, primer "Satélite Regional" con cobertura para todos los países europeos y del Norte de África. Los satélites regionales son denominados así ya que proporcionan servicios a un conjunto de países con intereses comunes.

Actualmente existen en operación alrededor de 200 satélites funcionando en órbitas geoestacionarias (GEO). Desde 1964 hasta 1990 se han lanzado alrededor 300 satélites en órbitas GEO. En la tabla II se muestra una descripción resumida de los satélites más representativos en el desarrollo satelital.

Tabla II. Desarrollo satelital.

Nombre	Año	Tiempo Vida	Observaciones
SPUTNIK I	1957	21 días	Primer Satélite artificial (ruso)
SCORE	1958	12 días	Primer satélite con capacidad de transmitir voz
ECHO I	1960	-	Satélite pasivo con forma de balón
COURIER	1960	17 días	Satélite que grababa los mensajes en cinta magnética para después retransmitirlos
TELSTAR I	1962	1 año	Primer satélite no gubernamental
SYSCOM III	1962	-	Primer satélite en una órbita Geoestacionaria
EARLY BIRD	1965	18 meses	Primer satélite internacional
MOLNIYA	1967	-	Primer sistema satelital de cobertura local
INTELSAT II y III	1969	3y5 años	Se logra la primera cobertura total de la Tierra
SYMPHONIE I	1974	-	Primer satélite de estabilización en 3-ejes
CTS	1976	-	Primer satélite de alta potencia (200 watts) que permite reducir el tamaño de la antena de ET.
MARISAT I	1976	-	Primer satélite de comunicaciones móviles marítima
INTELSAT V	1981	7 años	Primer satélite de 3-ejes, banda C y Ku y celdas solares desplegables
MORELOS I	1985	9 años	Primer satélite Mexicano doméstico (Banda C y Ku)
EUTELSAT	1983	-	Primer satélite regional (europeo)
INTELSAT VI FS	1991	14 años	Matriz de conmutación a bordo
SOLIDARIDAD I	1994	14 años	Sistema Satelital Mexicano con cobertura regional y Banda C, Ku y L.

ET: Estación Terrena

II.3 Componentes de un enlace satelital

Un enlace satelital (ES) se obtiene al establecerse un canal de comunicación entre 2 o más estaciones terrenas a través de un satélite. La información (de voz, video o datos) que viaja a través de este canal será objeto de una serie de transformaciones necesarias para poder establecerse una comunicación segura y eficiente. En la figura 3 se observan los componentes de un sistema satelital típico, con los siguientes elementos:

- A. Satélite(s) y Espacio Satelital.
- B. Estaciones Terrenas (ET).
- C. Estaciones de Trayectoria-Telemetría y Comandos (TTC)
- D. Centro de Control de la Red.

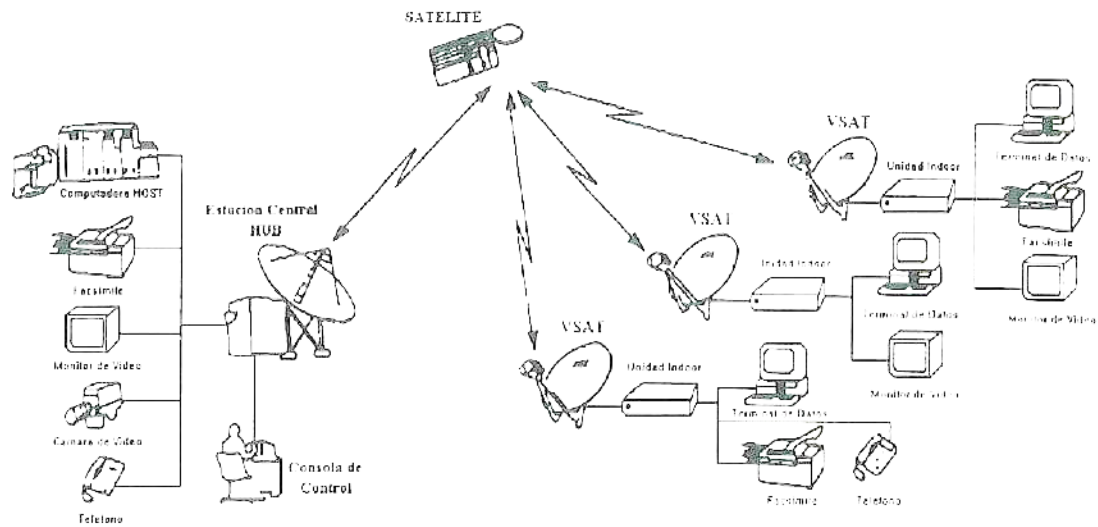


Figura 3. Componentes de una red satelital.

II.3.1 Satélite(s) y Espacio Satelital

Un sistema satelital se compone de uno o más satélites, donde la función del satélite es proveer un canal en el “cielo” a través del cual 2 o más ETs puedan transferir información. El canal satelital se divide en 2 partes, el enlace de subida (up-link) se efectúa a una frecuencia central predefinida. El satélite detecta la señal, la amplifica, la cambia de frecuencia central y retransmite en el enlace de bajada (down-link). Hay algunos aspectos que determinan la capacidad de un satélite de comunicaciones, estos son

- Ancho de banda
- Potencia de Transmisión
- Número de Transponders
- Frecuencia de operación

Ancho de Banda: Es la capacidad de ancho de banda espectral que un Transponder proporciona para transportar información. Los anchos de banda más utilizados son de: 30, 36, 72 y 108 MHz.

Potencia de Transmisión: Una señal de radio se debe transmitir con una fuerza proporcional a la distancia por recorrer, por lo que una señal que recorre 36 000 Km por el espacio, debe ser transmitida a una gran potencia

Número de Transponders: El equipo que recibe la señal, amplifica, cambia la frecuencia y retransmite se denomina Transponder. Típicamente un satélite transporta de 15 a 30 Transponders.

Frecuencias de operación: Las mas comunes en un enlace satelital son: Banda C (4/6 GHz) y Banda Ku (12/14 Ghz). La banda L (1/2 Ghz) se utiliza para comunicaciones móviles. La utilización de banda Ka (27/40 Ghz) está en la etapa experimental.

II.3.2 Estaciones Terrenas

La función de una estación terrena es la de enviar y recibir señales satelitales. Las primeras estaciones utilizaban antenas de 30 m de diámetro y potencias de transmisión mayores de 5 Kw, por lo cual requerían de sistemas de enfriamiento a base de helio líquido

Actualmente existen una amplia variedad de estaciones catalogadas por el tamaño de la antena parabólica, capacidad de recepción, potencia de radiación y por método de accesos al satélite (FDMA, TDMA, CDMA, etc.) así como sofisticación y costos.

Las estaciones de servicios domésticos de TV utilizan antenas desde 5m a 10m. Los sistemas de redes de datos VSATs usan antenas entre 1m y 2m de diámetro con potencias típicas de transmisión de 1 a 5W en servicios fijos, o USATs (Terminales de Apertura Ultra Pequeña) con un tamaño de antena de 0.5m de diámetro.

Una ET típica consiste de un subsistema de antena, un subsistema amplificador de potencia, un subsistema de amplificador de bajo ruido y un subsistema con equipo de comunicaciones terrestres, como se muestra en la figura 4.

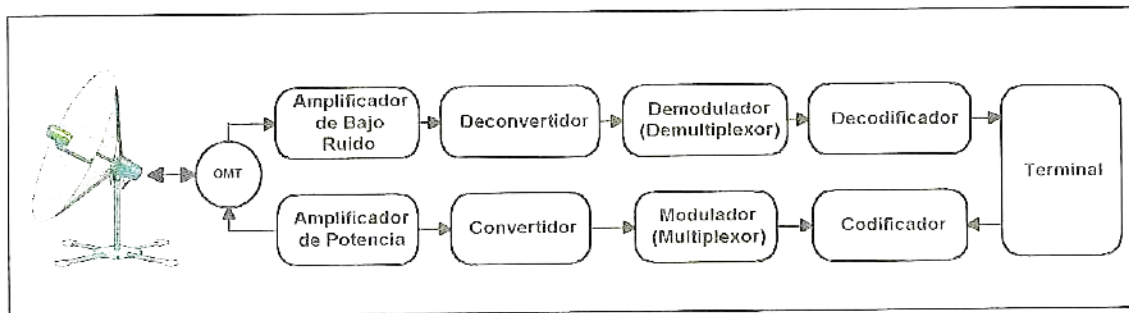


Figura 4. Subsistemas de una ET típica

II.3.3 Estaciones de Telemetría, Trayectoria y Comandos (TTC)

Usualmente dos de las estaciones terrenas se utilizan en la transmisión de comandos para mantener el control de altitud y recibir información telemétrica indicando el estado operacional del satélite.

II.3.4 Centro de Control de Red

Centro de control de red se ubica en una de las ET del sistema, su función es la de monitoreo y control del satélite y estaciones terrenas, de ser necesario localizar, diagnosticar y corregir fallas.

II.4 Aplicaciones actuales

En un principio debido a las grandes limitantes de los satélites, se utilizaban principalmente para la comunicación de servicios telefónicos, llegando a representar hasta el 80% de la capacidad satelital. Es a partir de los años 80s cuando la evolución tecnológica digital permite crear la infraestructura necesaria para poder soportar servicios mas especializados; estos servicios se pueden dividir en tres grupos: voz, video y datos. En la tabla III se muestran los servicios que proporciona un satélite doméstico.

Tabla III. *Servicios que proporciona un satélite doméstico.*

Servicios	Tecnologías
Telefónico (voz y datos a baja-vel.)	Voz analógica Voz digital
Datos a alta velocidad	Datos Interactivos
Redes Dedicadas	Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) Canal Único por Portadora (SCPC) Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)
Video conferencia	Voz digital Video analógico
TV broadcast	Analogico Digital
Radio Broadcast	Analogico Digital
Servicios Móviles	Voz Digital Datos Interactivos

Vel. = Velocidad

Los servicios de transferencia de datos, representan el mayor crecimiento evolutivo, impulsado principalmente por la necesidad apremiante de muchas corporaciones privadas, bancos, transnacionales, negocios financieros, etc. que requerian agilizar sus transacciones mas rápidamente en operaciones a larga distancia. La evolución ha generado un nuevo tipo tecnológico de redes llamadas VSATs muy eficientes, compactas y de bajo costo.

II.5 Método de Acceso al Satélite

Un protocolo de comunicación establece una forma metodológica de administrar los componentes de una red satelital que intervienen para lograr la comunicación entre sus nodos, de forma rápida, eficiente, consistente y segura, para obtener el máximo aprovechamiento posible de la carga útil del enlace satelital. Los protocolos se clasifican en Preasignados, Contención y Controlados, la tabla IV muestra la clasificación de los protocolos mas comunes y la tabla V¹ presenta una breve comparación.

A continuación se describen los aspectos fundamentales de cada tipo de protocolos.

II.5.1 Protocolos Pre-asignados

Los canales de frecuencia o tiempo se asignan de acuerdo a un plan en forma fija a cada ET.

Existen 2 tipos de protocolos Preasignados:

- Por división de Frecuencia (FDMA)
- Por División de Tiempo (TDMA)

Tabla IV. *Clasificación de protocolos.*

Preasignados	Contención	Controlado
FDMA	Aloha	DAMA/TDMA
TDMA	Aloha-Ranurado	DAMA/Aloha-Ranurado
	Srej-Aloha	DAMA/SCPC
	Tree CRA	
	ARRA	
	Random Access CDMA	
	Time Of Arrival CRA, Flap	

¹ Raychaudhuri, D.: "Channel Access Protocols for Ku-band VSAT Networks: A Comparative Evaluation-Table I Summary Comparison of Multiaccess Protocols Applicable to VSAT Data Networks", IEEE J. Selected Areas in Communications, Mayo 1988, Vol. 26, No. 5, pag. 36.

Tabla V. Comparación resumida de protocolos aplicables a sistemas VSAT de datos.

Protocolo de Multiacceso	Capacidad (Max. Rend.)	Retardo	Estabilidad	Robustes	VSAT Costo Comp.	Observaciones
Técnicas Fijas o Preasignadas						
TDMA	0.7-0.8	Medio-alto	Buena	Media	Medio	El retardo se incrementa conforme aumenta el No. de estaciones
FDMA/SCPC	0.7-0.8	Medio	Buena	Alta	Muy bajo	Aplicable sólo para estaciones con alto tráfico
Técnicas de Acceso Aleatorio (Contención)						
ALOHA	0.13-0.18	Bajo	Mala	Alta	Muy bajo	Aplicable a sistemas de mensajes de longitud variable, no requiere temporización
ALOHA-Ranurado	0.25-0.368	Bajo	Moderada	Alta	Baja-Medio	Técnica de ranurado simple (temporización); longitud de mensaje fija
SREJ-ALOHA	0.2-0.3	Bajo	Moderada	Alta	Bajo	Capacidad competitiva con ALOHA-Ranurado sin requerir temporización; longitud de mensaje variable
Tree CRA	0.43-0.49	Medio	Buena	Mala	Medio-alto	Longitud fija del mensaje; problemas de deadlock ¹
ARRA	0.5-0.6	Bajo	Moderada	Media	Media-alta	Estado de información usado para probar el desempeño del protocolo Aloha-Ranurado
Random Access CDMA	0.1-0.4	Muy Bajo	Moderada	Alta	Media	Ofrece un retardo bajo con ventajas SSMA; opera sin temporización; requiere FEC complejo para lograr un buen desempeño
Time-of-arrival CRA, FLAP, etc.	0.4-0.7	Bajo	Moderada	Alta	Media	Aprovecha información de tiempos de arribo en colisiones para probar el desempeño del canal ALOHA
Técnicas de acceso controlado						
DAMA/TDMA	0.6-0.8	Medio-alto	Buena	Mala	Alta	Generalmente atractiva para Tx de mensajes largos; Retardo alto debido a la reservación

Max. Rend. = Máximo Rendimiento; Comp. = Complejidad

¹ Se dice que un sistema está en Deadlock ("Punto muerto"), cuando trabaja indefinidamente tratando de realizar una operación, siendo necesario abortar el proceso y reinicializar el sistema.

II.5.1.1 FDMA

Protocolo de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA = Frequency-Division Multiple Access) que consiste en su forma mas simple de subdividir el ancho de banda del Transponder en pequeños anchos de banda asignándolos a pares de ETs, de esta manera un número de ETs pueden transmitir simultáneamente sin estorbarse unas a otras, a esta operación se le denomina “acceso múltiple”. Las subdivisiones son dinámicamente re-asignadas conforme la demanda de canales lo indique, la reasignación la efectúa un mecanismo de control el encargado de evitar que coincidan al mismo tiempo mas de una ET transmisora en una misma subdivisión. En la figura 5 se muestra en forma esquemática un sistema VSAT operando bajo un esquema FDMA.

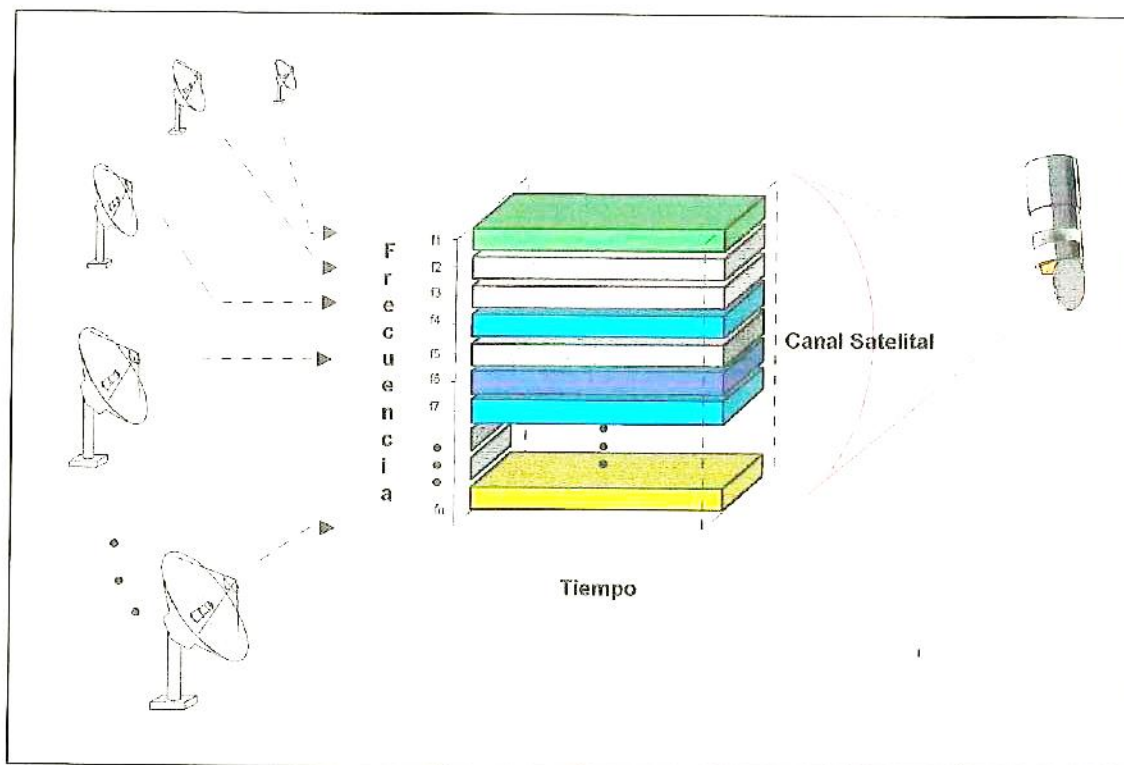


Figura 5. Sistema VSAT bajo un esquema FDMA.

Los sistemas FDMA se caracterizan por el alto tráfico de información entre sus ET. Soporta servicios analógicos o digitales en forma continua o en ráfagas (burst mode).

II.5.1.2 TDMA

Protocolo de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA = Time-division Múltiple Access). En su forma más simple TDMA asigna a cada ET del sistema una ranura (Slot) de tiempo R_i de igual duración para transmitir. Cada ET transmite en su ranura exclusiva ($R_1, R_2, \dots, R_n$) una ráfaga de bits a muy alta velocidad ocupando todo el ancho de banda disponible. En la figura 6 se muestra la forma esquemática de un sistema VSAT operando bajo un protocolo TDMA.

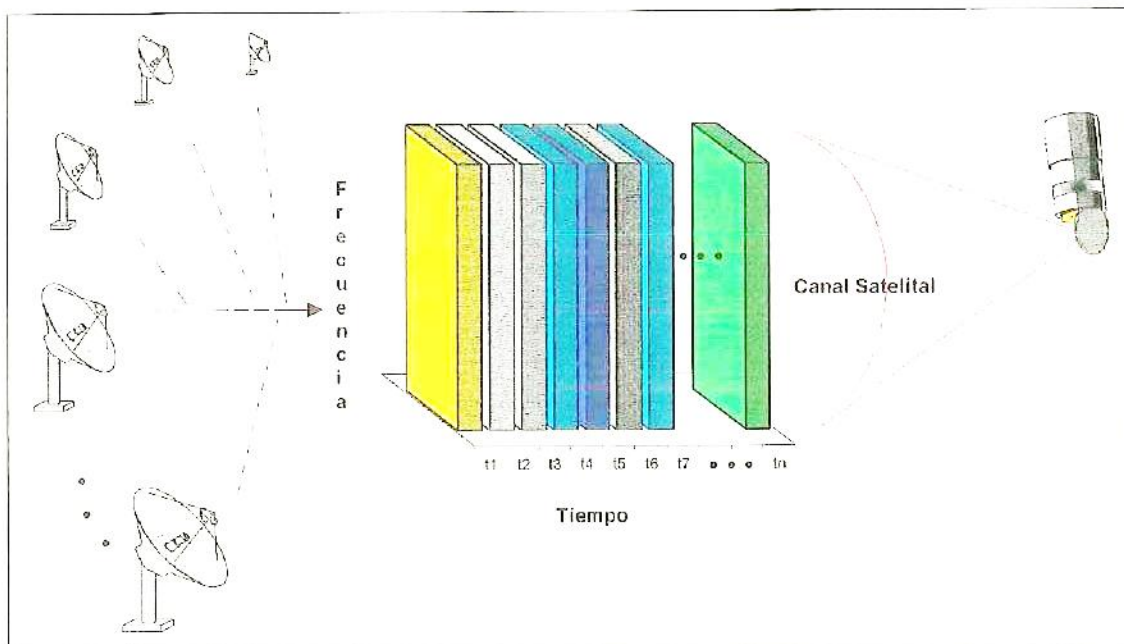


Figura 6. Sistema VSAT bajo un esquema TDMA.

La principal ventaja que los sistemas TDMA proporcionan, es el aprovechamiento de la potencia del amplificador del Transponder que puede ser utilizado a su máxima capacidad ya que no existen los problemas de intermodulación causado por interferencia entre canales multiplexados en frecuencia

El problema más crítico de un sistema TDMA esta asociado con la sincronización y control. Es necesario un muy buen mecanismo de control de tiempo, debido a los diferentes retardos que se pueden ocasionar en los tiempos de transmisión de cada ET por:

- Diferentes distancias entre el SAT y ET
- Diferentes longitudes de trayectoria
- Velocidad de procesamiento de las ETs, etc

II.5.2 Protocolos por Contención

Los protocolos por Contención comparten un sólo canal de enlace, accesado en forma aleatoria por el grupo de ET que forman la red

II.5.2.1 ALOHA

El canal Aloha es un esquema de acceso que no proporciona canales exclusivos para la transmisión como los sistemas TDMA, sino que cada ET realiza la transmisión de una ráfagas de datos en cuanto tiene el paquete listo, lo cual sucede en tiempos aleatorios

El control de transmisión Aloha es en esencia muy simple y aparentemente un escenario TDMA indisciplinado. Los mensajes son agrupados dentro de unidades llamados paquetes, que son transmitidos en ráfagas (bursts) aprovechando la máxima velocidad del enlace, al finalizar el proceso de fragmentación y empaquetamiento del mensaje.

Al ser transmitido un paquete a través del enlace satelital, este es recibido por todas las ETs del sistema, siendo procesado sólo por las estaciones destino. Si el paquete es recibido correctamente transmiten una señal de reconocimiento (ACK)

Una vez transmitido un paquete, la estación emisora espera una señal de reconocimiento (ACK) que debe ser transmitida por la ET destino, confirmando la recepción correcta del paquete, si un periodo de espera predeterminado es superado, se considera que el paquete sufrió una colisión y se inicia el proceso de retransmisión.

Cuando se detectan colisiones en el sistema, las estaciones emisoras involucradas inician el proceso de retransmisión, que consiste en generar un tiempo de espera pseudoaleatorio para romper sincronía, y disminuir la probabilidad de colisión al transmitir nuevamente el paquete. Cuanto mayor sea el rango de posibilidades para el asignamiento de tiempos de espera menor será la probabilidad de que ocurra la misma colisión. En la figura 7 se muestra el comportamiento de Aloha al ocurrir una colisión.

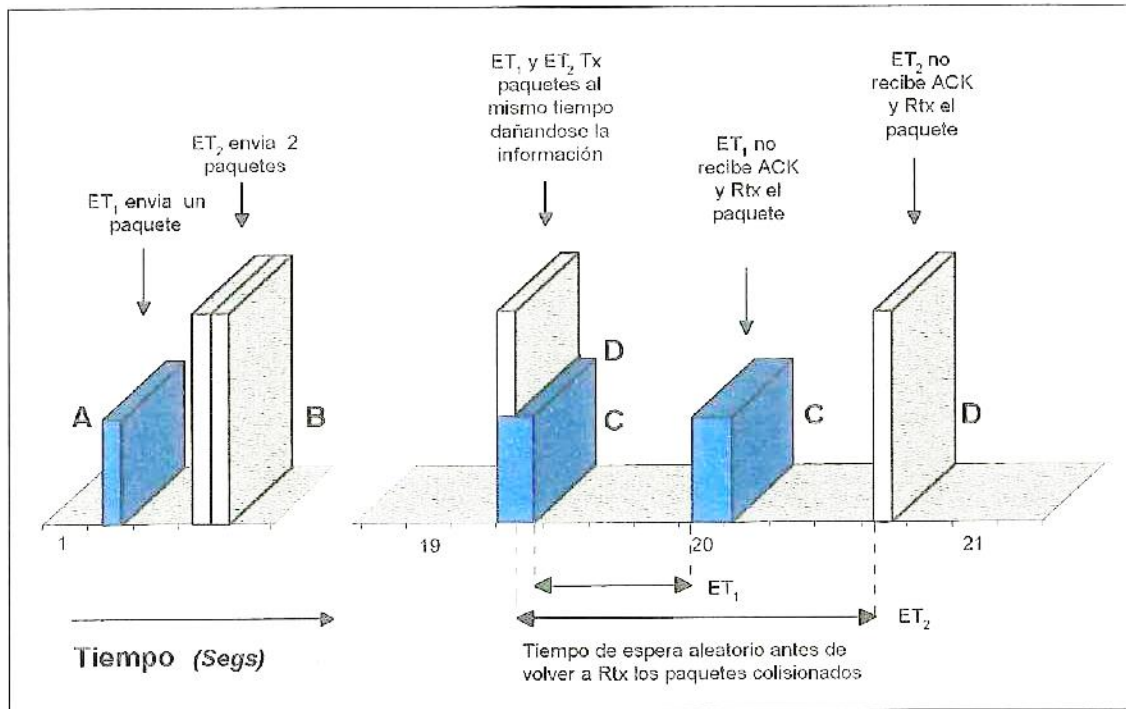


Figura 7. Sistema VSAT bajo un esquema Aloha Clásico.

II.5.2.2 Aloha-Ranurado

Una variación del Aloha clásico es el Aloha-Ranurado (Aloha-R), sistema que restringe los procesos de transmisión para llevarse a cabo al inicio de ranuras de tiempo. El tiempo para transmitir un mensaje esta acotada a ocupar un ranura de tiempo (Slot), siendo ésta una desventaja de este tipo de sistemas ya que la longitud de paquetes es fija, sin embargo tiene la ventaja de reducir a la mitad el número de colisiones en el sistema en comparación con el Aloha clásico. En la figura 8 se muestra el comportamiento de Aloha-R al ocurrir una colisión.

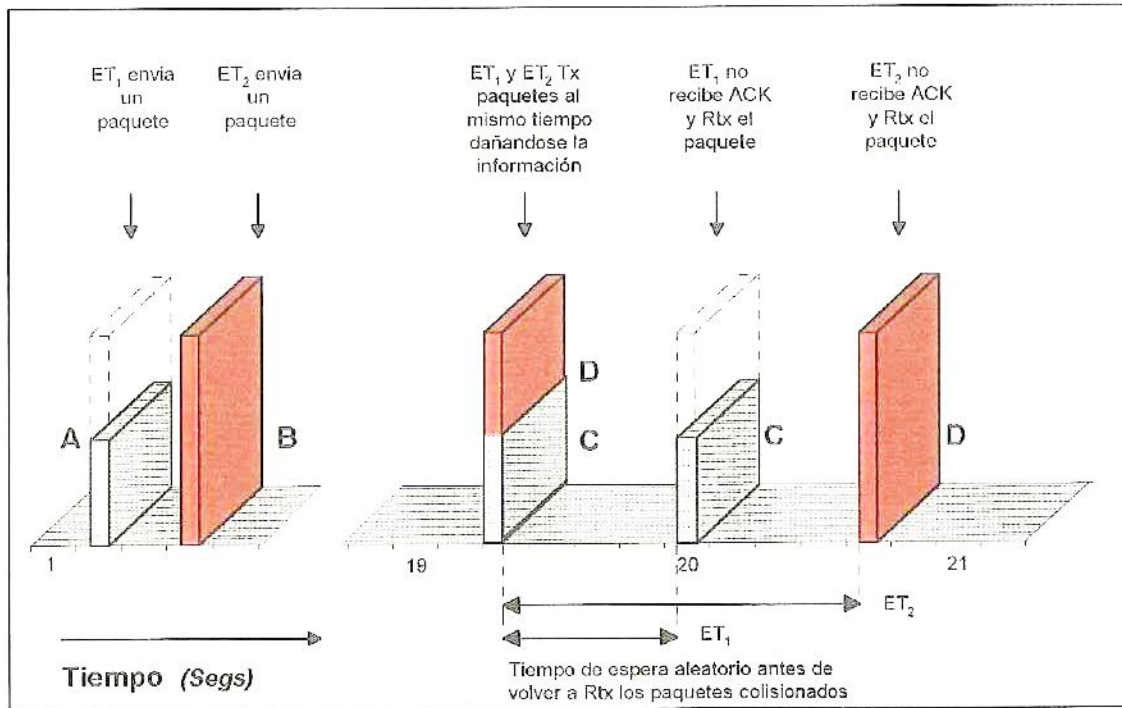


Figura 8. Sistema VSAT bajo un esquema Aloha Ramurado.

II.5.3 Protocolos de tipo Controlado

El objetivo de este tipo de protocolos es el asignamiento dinámico de un grupo de canales entre las ETs de un sistema satelital. Esta técnica se aplica cuando el No. ETs >>> No. canales, y el tráfico por estaciones de bajo a medio. La asignación por demanda se aplica a los esquemas FDMA y TDMA.

II.5.3.1 DAMA

Protocolo de Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA – Demand Assigned Multiple Access). En los sistemas DAMA el canal de acceso se divide en dos subcanales: de señalización y de datos. El subcanal de señalización es para transmitir pequeños paquetes de reservación conteniendo información concerniente a la demanda de

ranuras de datos requerida. El subcanal de datos es para la transmisión de paquetes pertenecientes a bloques de información útil. (estos paquetes proporcionalmente son mucho más grandes que los paquetes de señalización).

El subcanal de señalización es administrado usando cualquiera de los métodos de acceso fijos o por contención mencionados anteriormente, formándose diferentes modalidades de este esquema DAMA, como DAMA/FDMA, DAMA/TDMA, DAMA/Aloha o DAMA/Aloha-R. Uno de los primeros métodos fue el DAMA/FDMA, cuya innovación fue la capacidad de tener mas comunicaciones a la vez por el mismo ancho de banda y así poder servir a mas usuarios que los protocolos anteriores que eran preasignados en frecuencia. A diferencia de este método, las otras variantes del DAMA realizan la asignación del canal a las estaciones en tiempo en vez de frecuencia.

Una vez recibido exitosamente el paquete de reservación, la solicitud de espacio satelital es procesada (por control distribuido o centralizado), determinando la asignación del canal, si este se encuentra disponible para la estación solicitante (enmarcado en un tiempo específico).

Una ventaja de los sistemas DAMA es que permiten establecer longitudes variables de mensajes, sin embargo la más grande desventaja es el retardo promedio (>0.5 Seg.) asociado con el mecanismo de retransmisión (doble salto satelital).

II.6 Sistemas VSATs

En un principio los sistemas de comunicación eran en su gran mayoría para proporcionar servicios de voz (telefónicos) y vídeo (televisión) en forma analógica.

caracterizándose por el gran ancho de banda requerido y el acceso prolongado al servicio satelital, siendo muy reducidos los servicios de comunicación de datos que se proporcionaban, generalmente sólo de telegrafía. A principios de los años 80's con el gran desarrollo tecnológico y explosión comercial de las computadoras personales (PCs), surgió una nueva modalidad en comunicación, "*la comunicación entre computadoras*", cuyas características principales son la transferencia de datos digitales (bits), velocidad y densidad de datos variables en donde las comunicaciones satelitales han jugado un papel importante para formar redes de datos distribuidas geográficamente. Otros factores importantes han sido el desarrollo de satélites cada vez más sofisticados y con mayor potencia de transmisión (Tx), la reducción del tamaño de las antenas parabólicas, los amplificadores de bajo ruido de estado sólido que no requieren refrigeración, etc. Aspectos que en conjunto han traído una drástica reducción en los costos y tamaño de cada ET. De esta manera los sistemas VSATs surgieron como una alternativa a los sistemas terrestres de comunicación para redes de cómputo separadas por largas distancias.

II.6.1 Componentes de un Sistema VSAT

Los componentes básicos de una red VSAT son: el satélite, la estación maestra (HUB) y el grupo de ET. Donde:

- La estación maestra tiene como objetivo ser el administrador o servidor de la red, siendo además utilizado como intermediario (Switch) para la interconectividad y enrutamiento del tráfico de la red. Todas las señales que son transportadas a través de

una red VSAT son recibidas por la estación Hub, el cual actúa como procesador donde descodifica datos recibidos, demultiplexa, regenera, multiplexa, codifica, realiza la conmutación de portadoras y retransmite. Por lo que el equipo es más sofisticado que el requerido en una ET remota. El tamaño de la antena parabólica requerida por el Hub es de 4.5 m a 9 m de diámetro

- El grupo de estaciones terrenas son los usuarios, cuyas VSAT se ubican en sus edificios de oficinas. El equipo de una VSAT es compacto y requiere de una antena parabólica de 1 a 2 m de diámetro.

11.6.2 Evolución de los sistemas VSAT

El desarrollo evolutivo de los sistemas VSAT se puede dividir en cuatro generaciones, las cuales se definen a continuación.

- Primera generación inicia 1980 con una demostración de la tecnología de apertura pequeña, ese mismo año se hace un refinamiento de los protocolos por contención y se lanza al mercado las primeras redes VSATs.
- Segunda generación entre 1983 y 1984 surgen las primeras aplicaciones de comunicación de datos. Para 1985 el hardware es capaz de establecer sistemas de multiprotocolos, multipuertos y multiaplicaciones.
- Tercera generación surge en 1989 y se caracteriza por arquitectura abierta con protocolos estándares de comunicación de datos.

1. Sistemas Multipuertos y multiprotocolos.

2. Acceso al satélite en forma dinámica y flexible.
 3. Compatible con sistemas híbridos.
 4. Manejador de redes híbridos.
 5. Control y operación
 6. Arranque y configuración de la red.
 7. Interface con iniciativa en el manejo de la red.
 8. Aplicaciones transparentes.
- Cuarta generación 1990:
 1. Definición total por software.
 2. Antenas mas pequeñas (alrededor de 1 m de diámetro).
 3. Alto grado de integración.
 4. Servicios integrados de voz, datos e imagen.

II.6.3 Servicios que proporciona un sistema VSAT

Un sistema VSAT tienen la capacidad de proporcionar servicios de voz, video y datos. Aplicaciones específicas incluyen: comunicación de computadoras interactivas, correo electrónico, impresión remota, transferencia de archivos o datos etc ; extendiendo su utilidad a un sin número de escenarios, tales como: bancos (cajeros automáticos), reservaciones de hoteles y aerolíneas, monitoreo y control de oleoductos, comunicaciones corporativas punto-multipunto, transmisión de fax a alta velocidad, etc.

Beneficios:

1. Alta seguridad de la información transmitida.
2. Acceso a sitios remotos dentro del haz satelital (insensible a la distancia).
3. Transferencia de información relativamente rápida.
4. Configuración de red flexible.
5. Mejor utilización del ancho de banda, especialmente en comunicaciones punto-multipunto (broadcast) a tasas de 9.6 Kbps a 1.544 Mbps.
6. Sofisticados manejadores de red para proporcionar más y mejores servicios.
7. Bajos costos de mantenimiento y manejo económico ya que requiere reducidos anchos de banda y un transmisor de baja potencia.

Desventajas:

1. Retardo de propagación de 250 milisegundos (ms) como cualquier otro sistema satelital.
2. El retardo de propagación es más severo en sistema de enlace doble ya que la información transmitida desde una ET1 a una ET2 tendrá que pasar por el HUB, implicando un retardo acumulado de 500 ms.

II.6.4 Ejemplos de sistemas VSAT

Los sistemas VSAT son aplicados en un amplio rango de actividades académicas, gubernamentales y de negocios. A continuación se exponen 3 ejemplos de sistemas implementados por la iniciativa privada:

II.6.4.1. Chevron

La compañía estadounidense Chevron, distribuidora de aceites arrancó un programa para equipar todas sus estaciones filiales con terminales VSAT para reemplazar una red terrestre de conmutación de paquetes operada bajo el protocolo X.25. Este sistema VSAT proporcionará principalmente los siguientes servicios:

- Verificación de tarjetas de crédito y débito.
- Monitoreo del nivel de almacenamientos en tanques contenedores.

Cada ET generalmente transmite mensajes de 80 ó 250 bytes a intervalos de 15-60 segs a través de antenas de 1 m de diámetro y una velocidad de transmisión de 64 Kbps de entrada (inbound) y 128 Kbps de salida (outbound).

II.6.4.2. Almacenes Kmart

La cadena de tiendas Kmart está utilizando una red de datos para enlazar sus 2500 tiendas, obteniendo servicios como: el tener una rápida verificación de cheques y tarjetas de crédito, la obtención de información por parte de las oficinas centrales en Michigan acerca de los inventarios y las preferencias de sus clientes en productos, así como la actualización de precios o de la programación de las cajas registradoras en todas las tiendas del país simultáneamente. Además la red VSAT Kmart se utiliza para la transmisión de mensajes televisados desde la central y los empleados pueden interactuar hablando por medio de un enlace satelital de voz.

II.6.4.3. Compañía Ford

Las compañías Ford y Hughes concretaron recientemente un contrato para la construcción de la red VSAT “Dobbed Fordstar” con la capacidad de soportar datos, voz y video con respuesta en tiempo real para sus 6000 agencias de Ford y Lincoln Mercury. Los servicios principales que proporcionará el sistema son:

- Capacitación a través de sesiones de entrenamiento que incluyen diálogo de voz interactivo, gráficos, animación de climas y regiones en tiempo real interactuando con los instructores con base en Dearborn Mich. hacia cualquier grupo específico de agencias Ford.
- Soporta las transacciones de tipo administrativo como: Ordenes de pedidos, Corte de caja, verificación de tarjetas, etc.

II.6.5 Tendencias a un mayor uso

El desarrollo tecnológico de los sistemas VSAT tiende hacia la reducción de costos de operación e implementación con una mayor capacidad permitiendo que empresas que manejan volúmenes más pequeños de información, puedan tener sus sistemas propios.

La conectividad telefónica rural es uno de los mercados de más rápido crecimiento para el mercado de los sistemas VSAT especialmente en Europa Oriental y otros países donde la instalación de una línea puede tardar meses o años.

Los sistema VSAT que proveen multimedia Interactiva obtendrán una mayor demanda.

II.6.6 Áreas de aplicación de sistemas VSAT

La naturaleza de tráfico entre sistema VSAT de datos se pueden clasificar principalmente en cuatro áreas de aplicación: Punto-de-venta, de Transacción, Correo-Electrónico y Carga-pesada.

Las áreas de Punto-de-venta y de Transacción se aplican principalmente en los negocios y se caracterizan por ser mensajes de longitud pequeña y baja velocidad de inter-arrivo, como: verificación de tarjetas de créditos, saldos, reservaciones, inventarios, etc., mientras que los de Correo-Electrónico y carga pesada son de tipo corporativo con redes locales que manejan grandes volúmenes de información. En la figura 9 se muestran gráficamente estas cuatro áreas de aplicación.

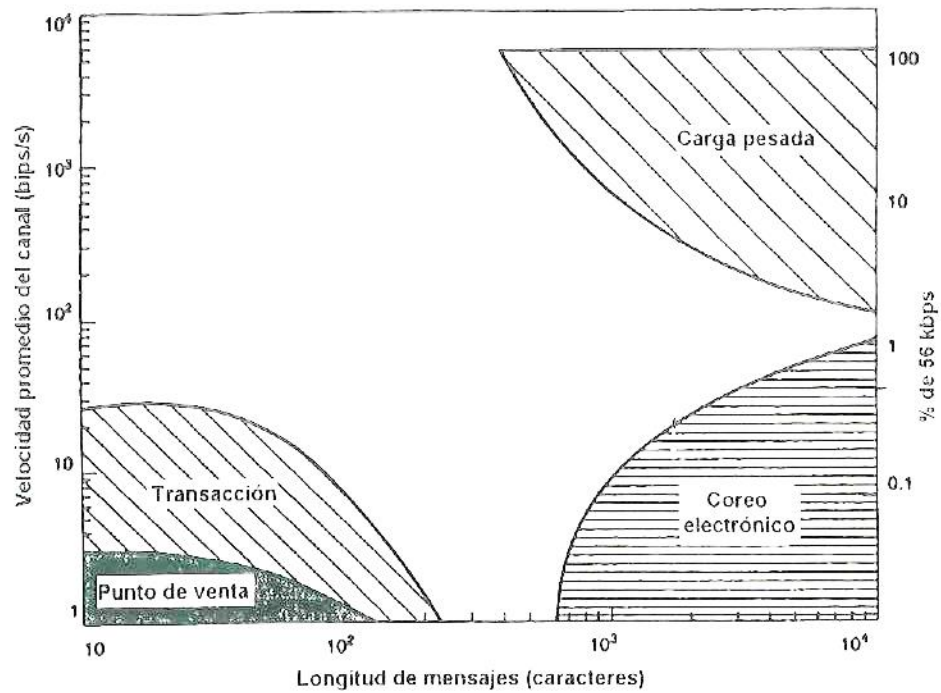


Figura 9. Distribución gráfica de las 4 principales áreas de aplicación en que se clasifica el tráfico de sistemas de telecomunicaciones.

III MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Desde la época del Renacimiento se ha utilizado la representación de sistemas a través de modelos, sin embargo la modelación matemática por procedimientos numéricos resultaba poco atractiva debido a la cantidad de cálculos matemáticos requeridos, problemática solucionada con el surgimiento en los años 40s de la computación digital y los trabajos realizados por los científicos Von Neuman y Ulam en el proyecto Monte Carlo durante la Segunda Guerra Mundial, resolviendo problemas de reacciones nucleares cuya experimentación sería muy cara y el análisis matemático demasiado complicado, acontecimientos que formalizarían una nueva y potente herramienta de análisis de sistemas llamada “*Simulación*”.

Unido al desarrollo computacional, las áreas de influencia para la aplicación de técnicas de simulación se ha diversificado. Los usos de la simulación, por mencionar algunos son en la simulación de: sistemas de inventarios, sistemas de colas, proyectos de inversión, sistemas económicos, sistemas de estados financieros, sistemas de entrenamiento, sistemas de entretenimiento, sistemas en la investigación científica (biológica, química, física, geofísica, etc.) y sistemas de comunicaciones. La simulación en el área de telecomunicaciones actualmente forma parte indispensable para el diseño, desarrollo e implementación de sistemas, además de probar los sistemas existentes para medir su desempeño ante posibles alteraciones que se presenten por actividades internas o externas al sistema. Dada la importancia que representa la simulación en telecomunicaciones, en este capítulo se describe brevemente los conceptos teóricos de la

simulación de modelos como herramienta de análisis de sistemas, la representación de sistemas a través de modelos, como se clasifican, cuales son los beneficios que se pueden obtener, y cuando se requiere aplicar la simulación. Además plantea un panorama general de la simulación en telecomunicaciones, describiendo en forma genérica las herramientas de simulación comerciales, tipos de software de simulación, ventajas, desventajas, objetivos, potencialidades y por último una descripción con mayor detalle del simulador y el lenguaje de simulación que se emplea para el desarrollo de este trabajo de tesis (COMNET III y SIMSCRIP II.5).

III.1 La Simulación como Metodología de Análisis de Sistemas

En esta sección, se describe brevemente a la simulación como metodología de análisis de sistemas. Se describen las características y las diferencias entre sistemas, modelos y simulación, así como las etapas de estudio, y la validación de la simulación.

Antes de describir las diferentes etapas que conforman la metodología de análisis, se establecerán los conceptos previos que lleva de un sistema real a su representación, como se muestra en la figura 10.

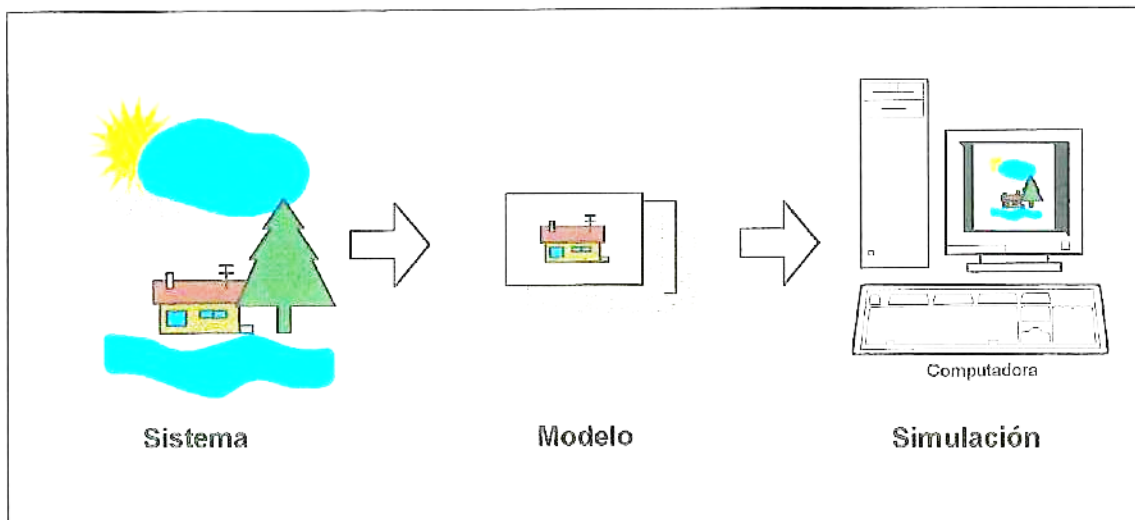


Figura 10. Simulación de sistemas.

III.1.1 Sistemas

Un sistema es un conjunto de Entidades (elementos o componentes) interrelacionados que actúan para lograr un objetivo en particular. Existen 2 tipos de sistemas.

1. Sistemas Físicos: Son aquellos cuyos componentes son tangibles, como por ejemplo: el sistema mecánico de un carro, los sistemas electrónicos de una televisión, de una computadora, etc.
2. Sistemas Conceptuales: Son los sistemas que tienen un claro énfasis en la organización de sus componentes y forma de trabajar, no como un elemento individual. Por ejemplo: Un sistema universitario, sistemas políticos, sistemas comerciales, sistemas financieros, etc.

III.1.1.1 Características de los sistemas

- Una característica muy importante de los sistemas es que cada sistema está compuesto de uno o más subsistemas y cada subsistema en uno o más subcomponentes y así sucesivamente.
- La interacción entre los elementos de un sistema son muy complejas y no puede ser predecible su comportamiento en acción para observar su conducta, en otras palabras aunque los sistemas son estructuralmente divisibles, funcionalmente no lo son, ya que implica que las características del sistema se puedan perder si el subsistema es dividido.
- La interrelación entre entidades de un sistema son expresadas en forma de variables y parámetros.
- Las variables pueden ser:
 - a) Independientes (o sea libre de manipulación).
 - b) Dependiente.
 - c) Controladas.
 - d) Incontroladas (como la lluvia, el amanecer, el crepúsculo).
 - e) Continuas.
 - f) Discretos.
- Los sistemas se clasifican como:
 - a) Naturales (p.ej. sistema solar) o artificiales (p.ej. sistema de cómputo).
 - b) Estable (que retorne al equilibrio después de una perturbación) o inestable

- c) Dinámico o estático.
 - d) Determinístico o estocástico.
 - e) Adaptivo (que responde a los cambios del medio ambiente que lo rodea) o no-adaptivo.
 - f) Lineal o no-lineal.
 - g) Repetible, recurrente o único
-
- El estado de un sistema es la descripción mínima de entidades, atributos y actividades en un punto particular de tiempo de un sistema, que permite determinar el comportamiento futuro del sistema.
 - El estado de un sistema cambia, por actividades internas (endógenas) o externas (exógenas).

III.1.2 Modelos

Un modelo es la representación simplificada de un sistema (proceso o teoría) realizado para mejorar nuestra habilidad para comprender, predecir y posiblemente controlar la conducta del sistema. La representación de un sistema no es única, ya que depende de los objetos del sistema que se estén estudiando; en algunos sistemas pueden ser representados bajo una gran diversidad de caminos proporcionando con ello, diferentes tipos, calidades y cantidades de información.

III.1.2.1 Clasificación de modelos

Los modelos se clasifican en: físicos, simbólicos y mentales.

Modelos Físicos

Son sistemas cuyos componentes son tangibles. Muchas de las variables que utilizan estos modelos son de longitudes, voltajes, corrientes, presiones, fuerza, velocidad, etc. La construcción de un modelo físico puede ser muy extenso, requerir de mucho tiempo, ser impráctico e incluso imposible. Los modelos físicos se clasifican en estáticos (por la ausencia de cambios en el tiempo de las variables que definen el modelo) y dinámicos (por sus cambios, de estado en el tiempo).

Los modelos físicos estáticos se dividen en escalares y de imitación donde los modelos escalares representan sistemas como una proporción mayor o menor al sistema real con un alto grado de detalle. Y los modelos de imitación contrario a los escalares, no requieren detalles y proporcionalidades muy exactos.

Dentro de los modelos dinámicos se pueden hacer dos clasificaciones, modelos analógicos y de prototipo. Los analógicos son modelos que sus variables están en movimiento constantemente. Mientras que los prototipos son modelos generalmente a escala con un desempeño equivalente al sistema real. La tabla VI muestra ejemplos que diferencian los modelos físicos.

Modelos Simbólicos

Como su nombre lo indica los sistemas son representados como construcciones simbólicas con significados únicos. Los valores que se obtienen de las variables del

modelos son generalmente de tipo cualitativo y no cuantitativo. La clasificación de los modelos simbólicos se muestra en la figura 11.

Tabla VI. *Ejemplos de modelos físicos.*

ESTÁTICOS		DINÁMICOS	
Escala	Imitación	Analógicos	Prototipo
Estatuas de personajes ilustres, modelos de carros, puentes, aeronaves, maquetas arquitectónicas, etc.	Titeres, Muñecos de peluche, divisiones políticas o geológicas en un mapa, maniquies usados en la experimentación de accidentes automovilísticos, etc.	Flujo de tráfico, sanguíneos, monetarios, corrientes de agua. Suspensión de un carro, ratas y monos para probar nuevas medicinas, etc.	Máquinas de ferrocarril, carros, reactores químicos, sistemas de información, circuitos eléctricos, etc.

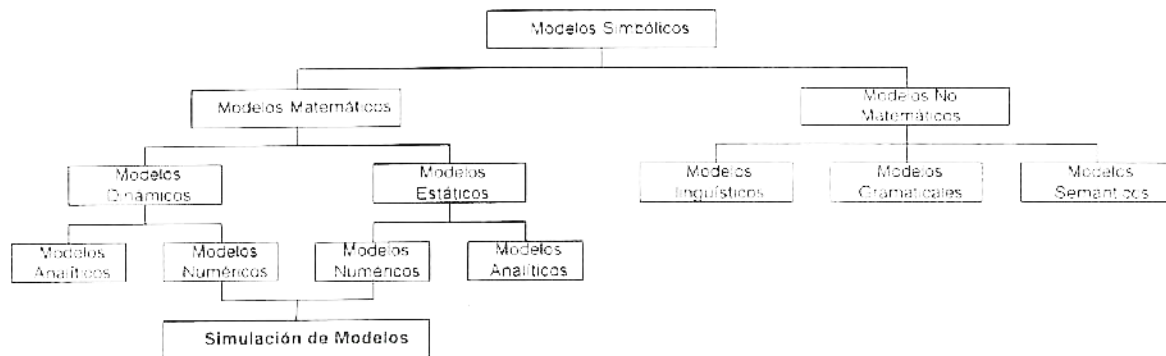


Figura 11. *Clasificación de modelos simbólicos.*

- Los modelos no matemáticos se dividen en tres tipos:
 1. Modelo Lingüístico: Son sistemas descritos en forma verbal ó escrita.
 2. Modelo Gramatical: Son sistemas modelados gráficamente.
 3. Modelo Semántico: Son sistemas representados con variables con forma de símbolos descriptivos.

- Los modelos Matemáticos: Algunos modelos analíticos son matemáticamente intratables y por tal motivo algunos modelos son expresados en términos de aproximaciones numéricas equivalentes, siendo esta la principal cualidad de los modelos simulados.

Los modelo matemáticos se subclasifican en dos tipos:

1. Los modelos dinámicos son generalmente descritos por ecuaciones diferenciales.
2. Los modelos estáticos son generalmente caracterizados por las ecuaciones algebraicas.

Modelos Mentales

Estos son modelos heurísticos o intuitivos que solo existen en la mente, por ejemplo, los acertijos, la destreza para pintar, escribir poesía, la habilidad para comprender algoritmos complicados de computación, etc.

III.1.3 Simulación

Existen muchas definiciones de simulación pero quizá una de las más descriptivas sea la siguiente: “La Modelación deberá referirse a la recolección y estructuración de datos de tal manera que los valores de los parámetros, el valor inicial de la variables y sus interrelaciones son formalizadas. Los modelos pueden ser conceptuales, físicos, matemáticos, computarizados o una combinación concurrente o progresiva de estos. El término simulación, estrictamente hablando, deberá ser reservado para dar significado al

uso de un modelo y realizar experimentos específicamente diseñados para estudiar aspectos seleccionados del simulando, es decir, el mundo real o el sistema hipotetizado que está siendo modelado” (McLEOD, J. 1972).

III.1.3.1 Metodología para un estudio de simulación

La metodología de análisis de sistemas, más comúnmente utilizada se divide en 7 etapas¹:

- Definición del problema
- Formulación del modelo
- Colección de datos
- Implementación del modelo (programa de computadora)
- Validación
- Experimentación
- Interpretación
- Documentación

Definición del sistema

Analiza el problema planteado para posteriormente definir el sistema, estableciendo las variables, límites, relaciones y procesos que interactúan en el sistema.

¹ Todas las etapas descritas de esta metodología están implícitas dentro de este trabajo de tesis, aunque no conserva estrictamente sus nombres.

Establece además, los parámetros de calidad para medir el desempeño del sistema modelado y los resultados que se esperan obtener del estudio.

Formulación del modelo

Se desarrolla el modelo que imitará el sistema planteado para obtener los resultados esperados. En esta etapa es necesario definir todas las variables utilizadas, diagramas de flujo, relaciones lógicas y todos aquellos elementos utilizados para el desarrollo del modelo. El grado de detalle estará directamente proporcional al grado de representatividad del sistema.

Colección de datos

Es importante la obtención de datos reales (si es posible) o basados en procedimientos analíticos que proporcionen la suficiente certidumbre de su validez, mismos que el modelo planteado deberá producir para comprobar su consistencia. La colección de datos incluso puede llegar a influir en la formulación del modelo; si no es posible obtener estos datos es necesario recurrir a la experimentación.

Implementación del modelo

Una vez definido el modelo, existen varias alternativas para elegir el software que se adapte mejor a la naturaleza del modelo (ver objetivo III.2). El siguiente paso es la codificación (o su representación si trata de un simulador) del modelo.

Validación

El objetivo de la validación es el demostrar que los resultados obtenidos del proceso de simulación son correctos o en su defecto el grado de confianza ó credibilidad

que proporcionan. Cuando en esta etapa se presentan problemas, el proceso de modelación retrocede incluso hasta el planteamiento del sistema.

Experimentación

Una vez validado, el modelo esta listo para la experimentación y obtener la información para el cual fue diseñado.

Interpretación

La información obtenida de la experimentación generalmente como datos crudos, se analiza, se resume (gráficos, porcentajes, etc.) y se concluye en las observaciones y recomendaciones del sistema, que sirvan de base para la toma de decisiones.

Documentación

Dos son los tipos de documentación:

1. Manual de usuario: describe la forma de utilizarse el sistema modelado.
2. Manual técnico: Describe todas las etapas antes descritas, que sirvan para futuras modificaciones, proporcionándole servicio, o sea, tomadolo de base para realizar sistemas similares más sofisticados.

III.1.3.2 Ventajas y desventajas de la simulación

Inicialmente la simulación era utilizada como herramienta de último recurso, sin embargo actualmente se recurre a ella muy frecuentemente, gracias al desarrollo computacional tanto de software como de hardware. A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que proporciona la simulación.

Ventajas:

1. A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos o externos de un sistema.
2. La observación detallada del sistema ayuda al mejor entendimiento de las variables que interactúan con el sistema, y permite proponer modificaciones que eleven su desempeño.
3. Los sistemas pueden ser utilizados como instrumentos pedagógicos.
4. La técnica de simulación puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información.
5. La técnica de simulación puede también ser utilizada para entrenamiento de personal.
6. Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser utilizada para anticipar cuellos de botella o algún otro comportamiento indeseable.

Desventajas:

1. Requiere de equipo de cómputo costosos y sofisticados.
2. Recursos humanos con buenos conocimientos de computación, probabilidad y estadística.
3. Generalmente requiere de bastante tiempo para la modelación, desarrollo y perfeccionamiento de un sistema.
4. Dificultad para vender la idea, a la alta administración de una organización.

III.1.3.3 Áreas de aplicación de la simulación

Los modelos de simulación presentan la ventaja de poder ser manipulados en diferentes formas, que serian imposible, imprácticas y demasiados costosas si se realizan a través de otras metodologías. En general, se puede decir que los modelos de simulación se usan para:

- Análisis de sistemas
- Diseño de sistemas
- Síntesis de sistemas
- Entrenamiento

Las áreas de aplicación para la simulación son numerosas y diversas, algunas de las aplicaciones más comunes son:

- Diseño y análisis de sistemas de manufactura
- Evaluando los requerimientos de hardware y software para un sistema computarizado.
- Evaluando nuevos sistemas de armamento o tácticas militares
- Determinando sistemas de inventarios.
- Diseñando sistemas y protocolos de comunicación.
- Diseñando sistemas de transportación operando en autopistas, aeropuertos o puertos marítimos.
- Evaluando diseño de organización de servicios de hospitales, oficinas postales, o restaurantes de comida rápida.

- Analizando sistemas financieros o económicos

III.2 Utilización de la Simulación en Telecomunicaciones

A finales de los años 80s surge un nuevo campo de aplicación de la teoría de simulación de modelos, esto es, la "Simulación de Sistemas de Comunicaciones (SSC)". atribuible a tres factores importantes:

1. Al vertiginoso incremento en el número de redes de cómputo instaladas
2. La creciente complejidad de estas redes.
3. Al surgimiento de software computacional diseñado especialmente para modelar sistemas de comunicaciones.

El objetivo principal de la SSC, es poder desarrollar y analizar modelos de redes para aplicaciones futuras o el estudio de tópicos de los sistemas actuales (en protocolos nuevos, tipos de enlace físico, etc.).

III.2.1 Objetivos de la simulación en comunicaciones.

Los objetivos que se busca alcanzar por la aplicación y desarrollo de la SSC son los siguientes:

- Medir el impacto que provoquen posibles modificaciones que se realicen sobre sistemas ya existentes, siempre tratando de mejorar el desempeño de dichos sistemas.
- Reducir los gastos y tiempos de desarrollos de sistemas, así como identificar posibles problemas de tráfico que estén propensos a suceder.

- Determinar la estructura lógica y física más recomendable de una red para establecer un sistema nuevo. Algunas de las estructuras analizadas son: los protocolos de enlace a utilizar, número de servidores, velocidades de transmisión, medio físico, número de nodos, tamaño de buffers, etc.
- Proporcionar medidas de desempeño como: Porcentaje de utilización de los nodos, porcentaje de utilización de los enlaces, probabilidad de llamadas bloqueadas, rendimiento general, etc.

III.2.2 Tipos de software de simulación

Existen tres tipos de software para llevar a cabo la simulación de redes de comunicaciones:

- Lenguaje de simulación de propósito general (LSPG).
- Lenguaje de simulación orientado a comunicaciones (LSOC).
- Simulador orientado a comunicaciones (SOC).

Lenguajes de simulación de propósito general

Son los lenguajes de programación diseñados para modelar sistemas, capaces de representar cualquier (o casi cualquier) sistema real, tales como: sistemas de colas, inventarios, proyectos de inversión, sistemas económicos, estados financieros, transporte, telecomunicaciones, etc. Algunos de estos lenguajes comerciales existentes en el mercado son: Arena, BONeS DESIGNER, GPSS/H, MODSIM II, SES/workbench, SIMSCRIPT II.5, SIMAN/cinema V y SLAMSYSTEM.

Una característica muy distintiva de los modelos desarrollados en LSPG, es que los programas son codificados utilizando las siguientes estructuras: Entidades (mensaje), Atributos (Tipo de mensaje o destino), Recursos (nodos o enlaces) y Colas (buffers).

Los LSPG tienen la gran desventaja de requerir personal con una amplia experiencia en programación, requiere además, un mayor tiempo de desarrollo y puesta a punto (depuración). Este tiempo estará proporcionalmente relacionado con la complejidad del sistema.

En algunos casos de LSPGs, como el MODSIM II, se adicionan otros beneficios, ya que han sido diseñados para trabajar bajo la más reciente tecnología de la ingeniería de software orientada-a-objetos, permitiendo con ello una mejor y más rápida utilización de gráficas en la elaboración de interfaces, animación y despliegado de datos por pantalla, así como un mejor uso de la memoria RAM.

Lenguaje de Simulación Orientado a comunicaciones

Lenguajes especiales para simular modelos de redes de comunicación, cuya ventaja con respecto a los LSPG, es la reducción del tiempo de construcción de los modelos ya que contienen estructuras, funciones, procedimientos y algoritmos complejos predefinidos, que facilitan la modelación de un sistema. Por ejemplo:

OPNET Modeler es un LSOC que utiliza los siguientes editores para desarrollar modelos: NETWORKS, NODE y PROCESS.

- Networks: Especifica la topología de la red y el establecimiento de los enlaces entre nodos.

- Node: Es usado para describir el flujo de datos entre los módulos de un nodo.
- Process: Se utiliza para especificar protocolos y algoritmos complejos apoyándose en una biblioteca de más de 300 primitivas y en rutinas hechas en lenguaje C.

Simulador orientado a comunicaciones

Es un paquete de simulación que puede representar una red sin requerir de programación. Los principales exponentes son: BONEs PlaNet, COMNET III, y NETWORK II.5. Estos simuladores utilizan un interfaz gráfica para la representación del modelo a través de iconos, líneas, figuras, etc. Estableciendo para cada entidad, recursos, atributos y colas, así como los parámetros que definirán su comportamiento e interrelación.

Las ventajas de un simulador son las de no requerir programación, y que el tiempo de desarrollo se reduce considerablemente, aspecto muy importante en el ambiente de los negocios. Otra ventaja la de no requerir de personal con mucha experiencia en programación. Su desventaja es que su aplicabilidad se reduce cada vez más conforme la red se aleja de los estándares internacionales, como es el caso de redes experimentales ó propuestas.

III.2.3 Análisis de Software Comercial de Simulación para Comunicaciones

A continuación se muestra por medio de las tablas, un comparativo de las características de los paquetes comerciales más importantes. La tabla VII clasifica los paquetes por medio de grupos de aplicación, a saber: Redes Locales de Datos, Redes

Generales de Comunicaciones, Sistemas de Cómputo. La tabla VIII muestra las capacidades de manejo estadístico (Law A. 1994)¹.

Tabla VII. Características del software comercial de simulación de comunicaciones.

Aplicación Principal	Redes Locales de datos (LANs)		Redes de Comunicaciones de Propósito General			Computadoras	
	Producto						
	BONeS PlanNET	L.NET II.5	BONeS Designer	COMNET III	OPNET Modeler	NETWORK II.5	SES/ workbench
Vendedor	Cadence, Comdisco Systems	CACI	Cadence, Comdisco Systems	CACI	MIL 3	CACI	SES
Versión	1.5	4.01	2.5	1.0	2.4	9.02	2.1
Sistema de Cómputo	Estación de Trabajo	PC, Estación de Trabajo	Estación de Trabajo	PC, Estación de Trabajo	Estación de Trabajo	PC, Estación de Trabajo	Estación de Trabajo
Tipo de Software	Simulador	Simulador	Lenguaje de Simulación	Simulador	Lenguaje de simulación para com.	Simulador	Lenguaje de Simulación
Elementos usados para desarrollar modelos [código(C), menús(M), gráficas(G)]	M,G	M,G	C,M,G	M,G también C en la versión de desarrollo	C,M,G	M,G	C,M,G
Habilidad para desarrollar modelos o lógica única	Si con BONeS DESIGNER	NO	Si	Sólo con la versión de desarrollo	Si	Limitado	Si
Ayudas para depuración [Depurador Interactivo (DI) Rastreo (R)]	NO	R	DI, R	R	DI, R	R	DI, R
Habilidad para iterar automáticamente	Si	NO	Si	NO	Si	NO	NO
Mapas incorporados	No aplicable	N/A	NO	Si	Si	Si	NO
Animación [Concurrente (C) Reproducción (R)]	Ninguna	R	R, C (opcional)	C	C, R	R	C

com. = comunicaciones

¹ Law Aveill M. 1994. Course Notes. Simulation Of Communications Networks. USA. S.E. Tablas basadas en el curso: "Simulation of Communications Networks" del Dr. Aveill M. Law.

Tabla VIII. Capacidades estadísticas del software comercial de simulación de comunicaciones.

	BONeS PlanNet	LoNET II.5	BONeS DESIGNER	COMNET III	OPNET Modeler	NETWORK II.5	SES/ workbench
Número de semillas ² para generadores aleatorios	1	999	ilimitado	99	ilimitado	999	ilimitado
Disponibilidad de 3 opciones de generación de tráfico.	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Distribuciones de probabilidad	Ex, N, U	Be, Er, Ex, Ga, L, N, T, U	Bi, Er, Ex, Ga, Ge, N, P, T, U	Be, Er, Ex, Ga, Ge, H, L, N, P, T, U, W	B, C, Er, Ex, N, P, T, U	Be, Er, Ex, Ga, L, N, T, U	Bi, Er, Ex, Ga, Ge, H, N, P, T, U
Distribuciones Empíricas	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Falla aleatoria de elementos del modelo	No	No	Si	Si	Si	No	Si
Periodo de calentamiento	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Capacidad de efectuar réplicas automáticamente.	Si	No	Si	Si	Si	No	No

VIII

Distribuciones de probabilidad.

B	Bernouli	Er	Erlang	H	Hyperexponencial	T	Triangular
Be	Beta	Ex	Exponencial	L	Lognormal	U	Uniforme
Bi	Binomial	Ga	Gamma	N	Normal	W	Weibull
C	Chi-square	Ge	Geométrica	P	Poisson		

La tabla IX muestra el soporte técnico que cada compañía proporciona a sus clientes

Tabla IX. Soporte al usuario.

	BONeS PlanNet	LoNET II.5	BONeS DESIGNER	COMNET III	OPNET Modeler	NETWORK II.5	SES/ workbench
Manual de usuario, referencia técnica y ejemplos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Ayudas [Sensible al contexto(C), Hipertexto(H)]	C	Ninguna	C	H	C	Ninguna	C
Soporte técnico gratuito	Opcional	1 año	Opcional	1 año	90 días	1 año	Opcional
Prueba gratuita	30 días	30 días	30 días	60 días	30 días	60 días	30 días

La tabla X muestra las capacidades de generar reportes estándares y especializados.

Tabla X. Reportes de rendimiento.

	BONeS PlanNet	LoNET II.5	BONeS DESIGNER	COMNET III	OPNET Modeler	NETWORK II.5	SES/ workbench
Reportes estándar	Si	Si	No	Si	No	Si	No
Reportes y estadísticas diseñados por el usuario	No	No	Si	Sólo con la versión de desarrollo	Si	No	Si
Histogramas de datos	No	No	Si	Si	Si	No	Si
Intervalo de confianza basado en réplicas independientes	No	No	No	No	Si	No	No
Gráficas de datos en función del tiempo	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Gráficas de medidas de rendimiento respecto a un parámetro de iteración	Si	No	Si	No	Si	No	Si

III.3 Breve Descripción de las herramientas de simulación utilizadas

III.3.1 Descripción de SIMSCRIPT II.5

El lenguaje SIMSCRIPT, reconocido como uno de los mejores LSPGs, fué desarrollado originalmente por la corporación RAND a principios de los años 60s y desde entonces puede adquirirse para PCs y Mainframes. No es sino hasta 1983 (Kiviat et al.), con la versión de SIMSCRIPT II.5 que se logró desarrollar un buen lenguaje estructurado en 5 niveles: los primeros 3 proporcionan la capacidad de programación con propósito general, el cuarto nivel tiene un poderoso procesador de listas para manipular las entidades y el quinto nivel es orientado a la simulación de sistemas discretos. Actualmente la patente, distribución y desarrollo de este producto, es de la compañía Norteamericana CACI Products Company.

SIMSCRIPT es un lenguaje ampliamente aceptado en el mundo gracias al diseño fácil, poderoso y simplificado de sus programas permitiendo con ello a la compañía CACI desarrollar los Sistemas de Simulación (SS): NETWORK II.5, L•NET II.5, SIMPROCESS, SIMFACTORY II.5 y COMNET II.5 codificados en SIMSCRIPT II.5.

Los aspectos sobresalientes de este lenguaje son:

- Lenguaje de programación de propósito general con características de programación de FORTRAN, ALGOL y PL/I.
- El programa hecho en SIMSCRIPT II.5 consiste de tres segmentos PREAMBLE, MAIN y PROCESS; delimitados entre begins y ends (véase figura 12).

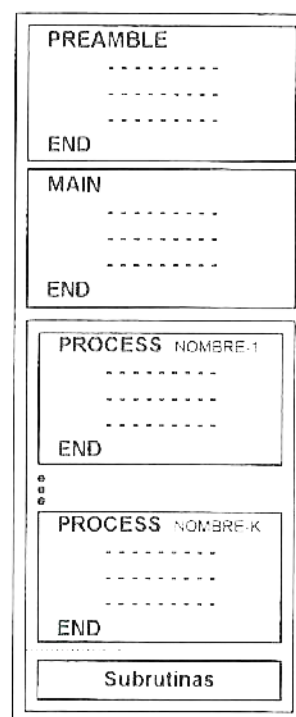


Figura 12. Estructura de un programa en SIMSCRIPT.

1. **PREAMBLE:** Es la descripción estática de todos los componentes del modelo así como procesos, recursos, entidades, eventos, conjuntos y todas las variables globales.
 2. **MAIN:** En este módulo comienza la ejecución del programa con la primera sentencia de su código, los recursos son creados e inicializados antes de ser usados en los procesos. Al momento de ejecutarse la sentencia **START SIMULATION** el control pasa al proceso de temporización, y así genera la calendarización del primer evento. Las sentencias que siguen al **START SIMULATION** son generalmente salida de reportes, a pantalla o de la repetición de corridas. Si no existen otras sentencias finaliza la ejecución del programa.
 3. **PROCESS:** Cada proceso definido en el **PREAMBLE** es descrito en esta sección. Las rutinas **PROCESS** hacen una completa descripción lógica de cada uno de los procesos, incluyendo los valores de las variables locales, reactivación del tiempo, reactivación de punto, y la llamada a otros procesos y describe la acción que se debe realizar en cada uno de los eventos que ocurren.
- Cada programa de simulación codificado se compone de un solo **PREAMBLE**, un **MAIN** y todos los **PROCESS** necesarios.
 - La sintaxis de **SIMSCRIPT II.5** es de forma similar a la escritura en inglés, lo que hace de la programación fácil de escribir, leer y casi auto-documentadas.
 - Contiene sofisticadas estructuras de datos y estatutos de control.

- Es una opción atractiva para modelos complejos (particularmente si son extensos o si no son de colas (queueing)).
- El paquete SIMGRAPHICS prevé gráficas de gran calidad para la presentación, animación y gráficas interactivas.
- Capacidad de simular modelos discretos/continuos.

III.3.2 Descripción de COMNET III

A mediados de los años 80s la compañía CACI desarrolla un simulador orientado a comunicaciones en base al lenguaje SIMSCRIPT II.5, al cual se denomina COMNET II.5 (COMunication NETworks), teniendo una gran aceptación en Europa y países industrializados. No obstante de ser un buen producto presentaba algunas deficiencias, las cuales eran; una estructura lógica rígida, interface poco amigable y graficación con problemas de saturación de memoria. Para 1994 la compañía CACI saca al mercado una nueva versión, COMNET III, totalmente rediseñado y bajo una nueva plataforma de lenguaje orientado-a-objetos (C++) que valiéndose de esta nueva tecnología le permite salvar los inconvenientes antes mencionados haciendo con ello un producto altamente competitivo, eficiente, operacional y moderno.

La plataforma de COMNET III se compone de 3 etapas, como se observa en la figura 13.

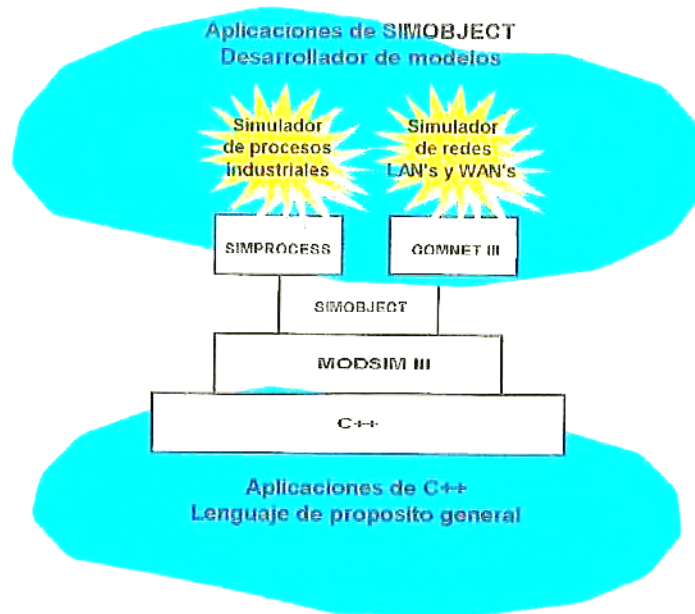


Figura 13. La plataforma en que fué desarrollado COMNET III.

1. C++ Lenguaje de programación orientado a objetos (LPOO) de propósito general. Los LPOO son unas de las principales técnicas de programación actual, para el desarrollo de sistemas de cómputo grandes y de gran complejidad, siendo el lenguaje C++ el más avanzado y representativo de este tipo de técnicas.
2. MODSIM II es un lenguaje de simulación orientado-a-objetos, desarrollado por la compañía CACI, el cual permite la construcción de modelos combinando las aplicaciones o módulos de biblioteca que trae consigo MODSIM II, y además agrega bibliotecas desarrolladas por el propio usuario u otras externas (instituciones académicas, otras compañías desarrolladoras de software, etc.), siempre y cuando estas nuevas aplicaciones estén

desarrolladas en algún lenguaje orientado-a-objetos. MODSIM II tiene la capacidad de modelar objetos que se ejecutan concurrentemente.

3. SIMOBJECT: Hecho en lenguaje MODSIM II, es un Ambiente-de-Trabajo ("FrameWork") orientado-a-objetos que proporciona una avanzada plataforma para el desarrollo de modelos. SIMOBJECT permite desarrollar, adicionar y modificar modelos con cero programación, ya que opera en forma gráfica con iconos como objetos, definiendo sus parámetros. No debe pensarse con ello, que el desarrollo de un modelo resulta trivial, ya que se requiere de conocimientos en programación orientada a objetos y realizar un análisis bien detallado del modelo a desarrollar. SIMOBJECT permite aprovechar los objetos definidos para generar copias (clones), los cuales heredan todas las características de su antecesor, para posteriormente modificar estas características, cambiando el uso de este nuevo objeto. SIMOBJECT incluye además un conjunto de funciones que el usuario puede utilizar para construir y manejar interfaces gráficas en sus modelos. Dos aplicaciones construidas en SIMOBJECT son: COMNET III y SIMPROCESS, cada una de estas aplicaciones consiste de 100 tipos de objetos en el cual el 75% son desarrollados desde los objetos proporcionados por SIMOBJECT reduciendo por tanto el tiempo y costo de su desarrollo.

Las características que definen a COMNET III son:

- COMNET III es un simulador orientado a comunicaciones para LANs y WANs.

- Los bloques básicos de construcción (objetos) en COMNET son: Nodos, Enlaces, Protocolos, Aplicaciones, Sesiones, Mensajes, etc.
- La descripción de las redes se hace gráficamente y gracias a su interface se hace con bastante rapidez la formulación y experimentación del modelo.
- COMNET III es ejecutado bajo un ambiente de "Windows".
- En una sola ventana se encuentran todas las funciones de COMNET III (diseño del modelo, ejecución del modelo y presentación de resultados)
- Los tipos de enlace son: Punto-a-Punto, Ethernet, Token Ring, Aloha, Aloha-Ranurado, CSMA/CD, CSMA.
- COMNET tendrá un programa para desarrollo de objetos que permitirá modificar objetos existentes o crear nuevos objetos para una mayor flexibilidad (basado en MODSIM II).

El diseño de un modelo se lleva acabo con los siguientes 5 pasos:

1. Los nodos, enlaces y aplicaciones son seleccionados desde una paleta y generados en la pantalla gráfica.
2. Los elementos puestos en pantalla son conectados (con la opción de líneas que se encuentra en la misma paleta).
3. El usuario con un doble pulsación en cada uno de los nodos, enlaces y generadores, hará aparecer una ventana para establecer los parámetros que determinarán la entidad.

4. El modelo es verificado (opción del menú) y si este no tiene errores de estructura lógica, el modelo se encuentra listo para ser simulado.
 5. Por último el modelo es simulado y los resultados se presentaran en varios reportes estándares.
- Puede a un corto plazo realizar la animación tipo híbrido.
 - Capacidad de realizar gráficas interactivas del comportamiento del sistema

IV. MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS VSAT

IV.1.1 Criterios de selección de los métodos de acceso a simular

Debido a la diversidad de protocolos existentes, compendiados en las Tablas II y III, así como lo extenso que resulta su análisis, para este trabajo se seleccionaron tres de los más representativos. Los protocolos que se analizarán son Aloha, Aloha-Ranurado (Aloha-R) y TDMA-DAMA con canal de señalización Aloha-R, los cuales se adoptaron bajo las siguientes consideraciones.

1. Aloha y Aloha-R originalmente surgieron como una alternativa a la comunicación entre sistemas de cómputo con tráfico ligero (ráfagas de datos de corta duración), por lo cual el control de transmisión es muy simple (ver Cap. 2). Ambos protocolos son implementados en bastantes sistemas VSATs de diversos proveedores. DAMA-TDMA con canal de señalización ALOHA-R, a diferencia de los anteriores, es un esquema controlado con acceso en base a la demanda. De esta manera, los tres sistemas cubren todo el espectro, desde un protocolo sin ningún control (Aloha), pasando por un control medio (Aloha-R), a un control absoluto (DAMA-TDMA).
2. La elección de estos tres métodos de acceso al satélite cumple otro importante propósito, relacionado con las herramientas de simulación. Aloha y Aloha-R se pueden simular en COMNET III, pero no DAMA-TDMA. La idea es resaltar las capacidades y limitaciones de estas herramientas analizando los siguientes modelos:

- a) Aloha: Elaborado con la opción de protocolo Aloha integrado en COMNET

III.

- b) Aloha-R 1: COMNET III no ofrece este protocolo, pero se puede realizar mediante algunas manipulaciones.
- c) Aloha-R 2: Formular también este protocolo con SIMSCRIPT II.5, lo cual proporcionaría una base de comparación de la complejidad de usar uno y otro, y además validar éste con el anterior.
- d) DAMA-TDMA: Debido a que DAMA requiere la capacidad de decidir, COMNET III no es aplicable, por lo tanto solo se puede simular mediante SIMSCRIPT II.5.

IV.2 Modelos propuestos para Aloha, Aloha-R y DAMA/Aloha-R

La modelación de un sistema de comunicaciones se divide en 2 partes:

1. Modelo conceptual de protocolo: define el comportamiento de cada uno de los elementos que conforman el sistema de red e interactúan con el protocolo.
2. Modelo funcional de red: establece los parámetros que rigen el comportamiento del sistema, haciéndose necesario realizar un análisis detallado de los parámetros más importantes que definen nuestro modelo.

Los sistemas propuestos tienen como base los modelos utilizados por Raychadhuri (Raychadhuri, 1987)¹, con algunas variantes introducidas para adaptarlos a los recursos de cómputo que se utilizaron. A continuación se detallará la parte conceptual

¹ Raychadhuri D. and K. Joseph. 1987. Ku-Band Satellite Data Networks Using Very Small Aperture Terminals Part 1: Multi-Access Protocols, U.S.A. International Journal Of Satellite Communications, pags.195-212.

de cada modelo propuesto, definiendo los conceptos utilizados y por último se muestra una tabla (tabla XI) con los parámetros que definen el modelo funcional de la red.

IV.2.1 Definiciones y notaciones utilizadas para describir los modelos:

- msj_{ij} = j -ésimo mensaje transmitido por la i -ésima ET
- **Velocidad de Transmisión (VT)**: Número de bits que son transmitidos por segundo a través del canal satelital.
- **Tiempo de Transmisión (TTx)**: Es el tiempo requerido para transmitir un mensaje a través del canal y depende directamente de la velocidad de transmisión.

$$TTx = \frac{TM}{VT}, \text{ Donde } TM \text{ es el tamaño del mensaje en bits.}$$

- **Retardo (R_{ij})**: Tiempo que transcurre desde el arribo del mensaje (TA_{ij}) a la ET origen hasta que este es recibido exitosamente (TR_{ij}) en la ET destino.

$$R_{ij} = TR_{ij} - TA_{ij}$$

- **Retardo promedio (RP)**: Media aritmética de todos los retardos de mensajes exitosos en una unidad de tiempo.

$$TU = \sum_{i=1}^{nET} \sum_{j=1}^{nMi} R_{ij} \quad nMt = \sum_{i=1}^{nET} nMi \quad RP = \frac{TU}{nMt}$$

Donde:

TU = tiempo útil del canal.

nET = Número de ET del sistema.

nMt = Número de mensajes exitosos en el sistema.

nMi = Número de mensajes Tx por la ET $_i$

- **ACK**: Señal que envía una ET destino al recibir un mensaje exitoso.

- **Taza de Inter-Arribo (TI)**: Número promedio de mensajes enviados por unidad de tiempo por estación.
- **Preámbulo de adquisición del modem (PM)**: Bytes enviados al inicio de un mensaje que le indican a la ET destino el arribo de un mensaje y le permite sincronizarse para recibir correctamente el resto del mensaje.
- **Total de encabezados (TENC)**: Cada mensaje se compone de al menos 2 encabezados, el de red y el de enlace que contienen la identificación, direccionamiento y datos de control que permiten su administración
- **Utilización del canal (UTI)**: Porcentaje de utilización del canal obtenido al dividir el tiempo efectivo utilizado para transmitir mensajes entre tiempo simulado (TS) de observación.

$$UTI = \frac{\sum_{i=1}^{nET} \sum_{j=1}^{nMh} TTx_{ij}}{TS}$$

- **Caudal Eficaz (CE)**: Porcentaje obtenido del número de mensajes exitosos generados por el sistema entre el número total de intentos de transmisión y retransmisión que se requirieron.

$$NRTx = \sum_{i=1}^{nEt} nRTx_i \quad CE = \frac{nMt}{nMt + NRTx}$$

Donde:

$NRTx$ = Número de procesos de RTx por ET ($nRTx_i$).

Las entidades que forman los modelo son:

- ETs
- Canal satelital
- Estación maestra (HUB)
- Mensajes

Los tiempos de procesamiento o respuesta de los equipos se considera que son muy pequeños por lo cual no son incluidos para los modelos propuestos.

IV.2.2 Modelo Conceptual del protocolo Aloha

El modelo Aloha esta formado por un número (nET) de ETs conectadas en configuración de estrella a través de enlaces satelitales, donde cada ET transmite mensajes intermitentemente (bajo una cierta probabilidad de distribución) y en forma independiente hacia la estación maestra (o HUB), constituyendo de esta forma el tráfico del canal satelital. La estructura o marco del mensaje con respecto al control de acceso al medio (MAC), estará constituida por un preámbulo, dos encabezado y un área de datos cuyo tamaño es variable (véase figura 14).

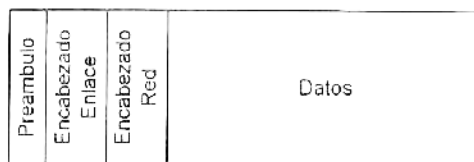


Figura 14. Estructura o marco del mensaje Aloha.

Por cada mensaje Tx se espera un ACK enviado por la ET receptora. El tiempo que transcurre desde la transmisión de un mensaje por la ET origen hasta que recibe el

ACK debe ser mayor de 2 veces el tiempo de propagación debido al doble salto que se tiene que realizar

$$ET_{\text{origen}}\text{-SAT-}ET_{\text{destino}} \Rightarrow ET_{\text{destino}}\text{-SAT-}ET_{\text{origen}}$$

Después de que una ET ha transmitido un mensaje, si ocurre una colisión en el canal satelital, ésta es detectada por la ET cuando concluye el tiempo límite de espera sin recibir el reconocimiento (ACK). Cada mensaje dañado debe ser retransmitido, lo cual se hace después de un tiempo pseudoaleatorio, que tiene como fin el evitar que coincidan nuevamente las ET en su proceso de Tx (véase figura 15).

IV.2.3 Modelo Conceptual del protocolo Aloha-R

Aloha surge como una necesidad de transmitir datos a baja escala de forma simple, económica y eficaz; objetivo que sin duda se logra. No obstante al incrementarse los volúmenes de información, Aloha no permite ir más allá del 18% de utilización del canal. Para lograr una mejora en la administración del canal se formuló el esquema Aloha-Ranurado. Bajo el Aloha-R el canal se subdivide en ranuras de tiempo, obligando con ello a que cada ET que desea Tx, espere el tiempo necesario para hacerlo al principio de la ranura más próxima, limitando con ello el tamaño del mensaje y aumentando de esta forma a un 36% de utilización del canal. Salvo esta modificación, el resto del funcionamiento es igual que el protocolo Aloha (ver figura 15. Observando la sección del cuadro punteado).

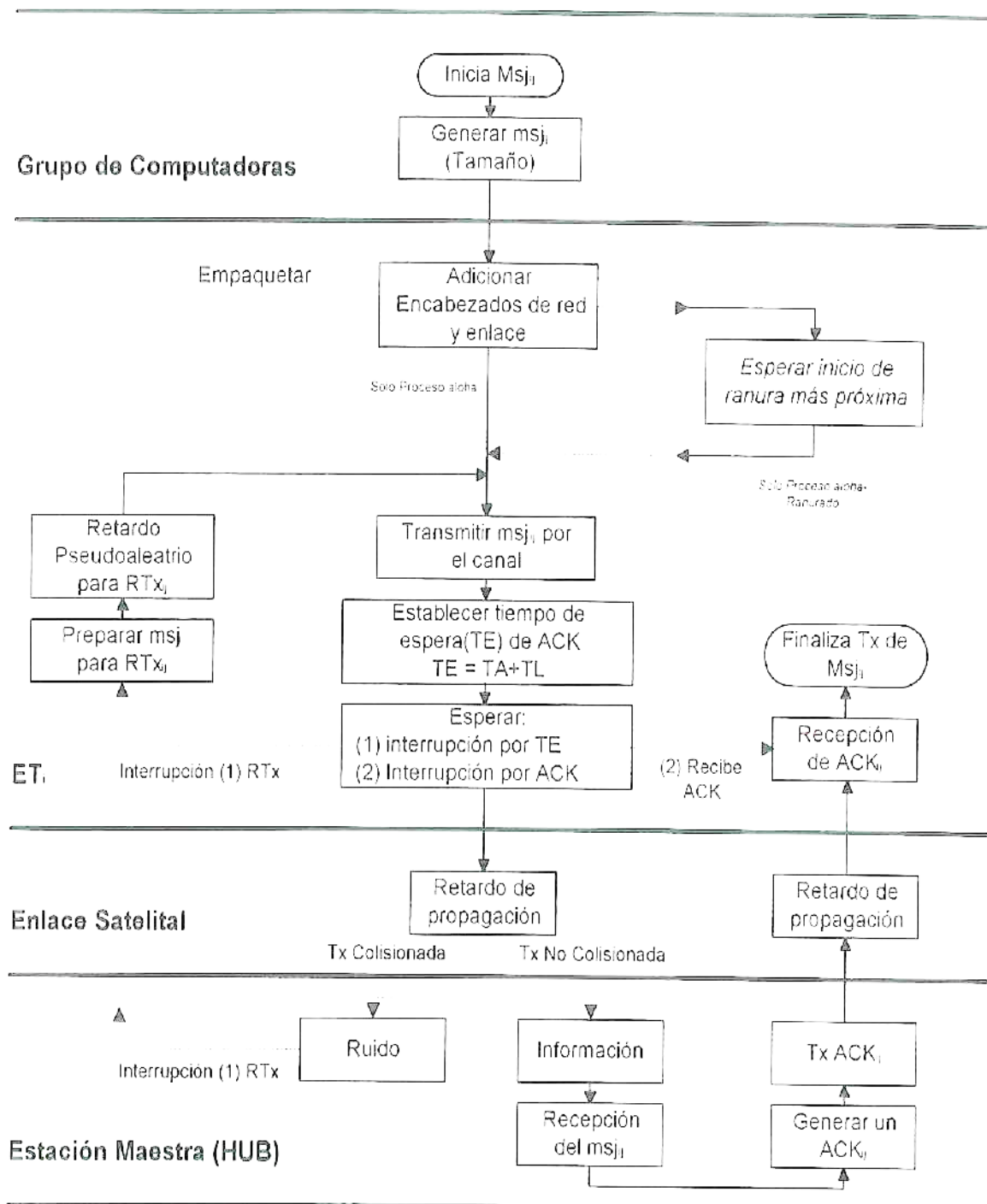


Figura 15. Diagrama Conceptual de los protocolos Aloha y Aloha-R

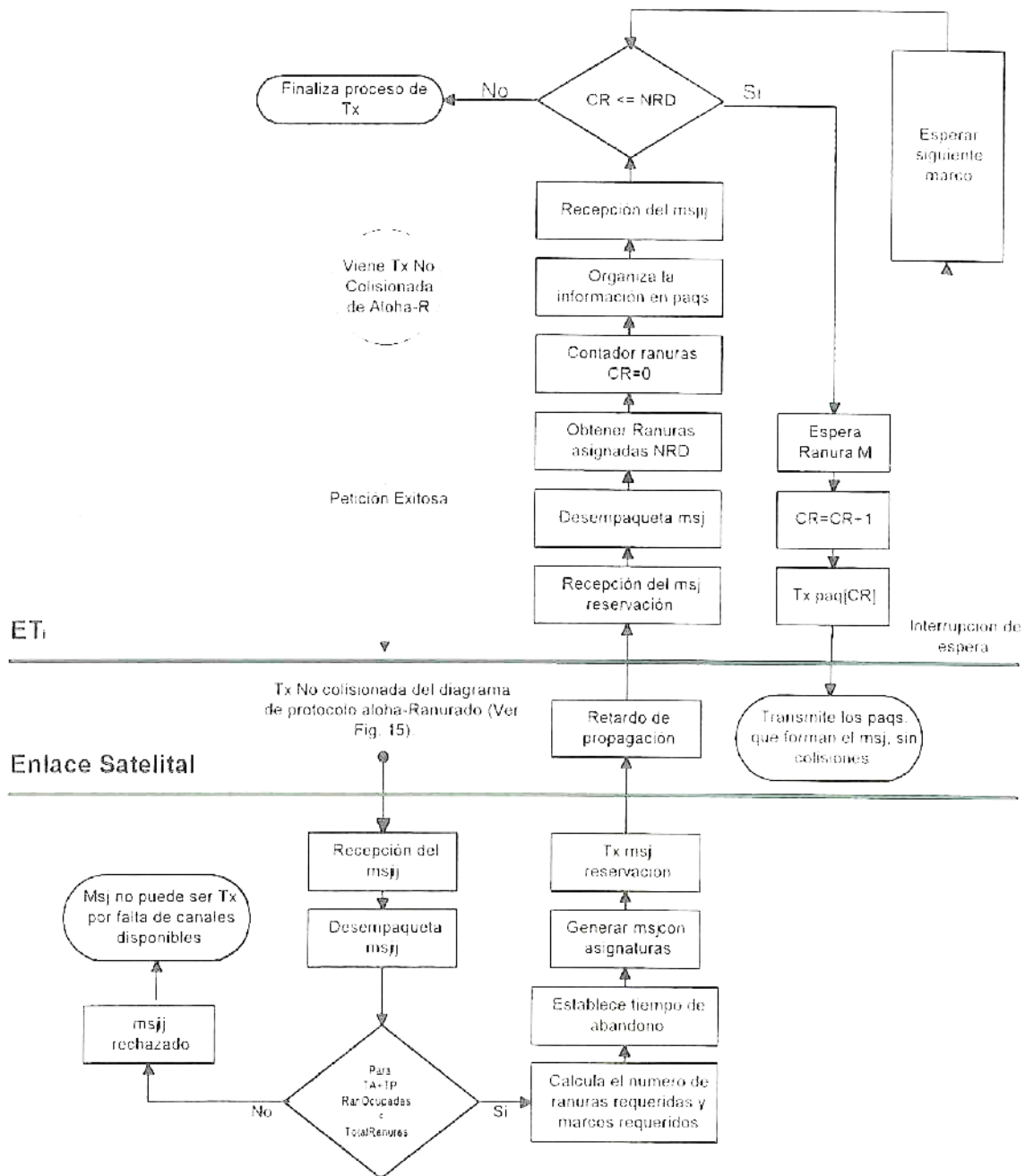
(TA = Tiempo de arribo y TL = Tiempo límite de espera).

IV.2.4 Modelo Conceptual del protocolo TDMA-DAMA/Aloha-R

El protocolo TDMA-DAMA opera con un canal de datos de media a alta capacidad de ancho de banda, y un canal de señalización con un significativamente menor ancho de banda. A través del canal de señalización las ETs realizan peticiones para reservar ranuras del canal de datos que funciona en modo TDMA. La asignación se efectúa en forma dinámica, de acuerdo a la demanda y la disponibilidad, lo cual permite garantizar la seguridad e integridad de la información transmitida.

El subcanal de señalización está controlado por alguno de los protocolos de contención o preasignados (ver tabla IV y V). La estación maestra asigna las ranuras conforme la demanda se lo permite (tiene semejanza a una FIFO) por el tiempo que la ET requiera. Si alguna de las peticiones no puede ser atendida, se desecha, y la ET tendrá que volver a comenzar el proceso de Tx de un nuevo mensaje de petición. Si hay ranuras para ser asignadas se le manda un mensaje (ACK) a la ET indicándole las ranuras de tiempo asignadas (ver figura 16).

Grupo de Computadoras



Estación Maestra (HUB)

Diag. IV.2 Protocolo DAMA/ALOHA-R.

Figura 16. Diagrama Conceptual del protocolo DAMA ALOHA-R.

IV.2.5 Modelo funcional de la red

El modelo funcional de red esta representado en la tabla XI

Tabla XI. Parámetros que definen el modelo funcional

Parámetros de Tráfico				
No	Identificador	Descripción	Valor	Unidades
1	TI	Tasa de inter-arrivo	250	msj/h
Parámetros de Canal				
2	VC	Velocidad de Transmisión	56	Kbps
3	TP	Tiempo de Propagación	270	ms
4		No se considera RTx por Error en Tx		
5	TminE	Tiempo mínimo de espera de ACK	670	ms
6	TmaxE	Tiempo máximo en RTx (un menj)	3070	ms
7	Preámbulo	Preámbulo de adquisición de Modem	4	Bytes
8	EncR	Encabezado de Red	8	Bytes
9	EncE	Encabezado de Enlace	7	Bytes
10	Guarda	Tiempo de guarda	4	Bytes
Parámetros de Protocolo Aloha				
11	TM	Media Tamaño mensaje	50	Bytes
12	EXP	Distribución exponencial de la longitud de mensaje		
13	PaqA	Paquete Aloha = Preámbulo + EXP(TM) + EncR + EncE	~19	Bytes
Parámetros de Protocolo Aloha-R				
11	TM	Tamaño de mensaje fijo	50	Bytes
12	PaqR	Paquete Aloha-Ran = Preámbulo + TM + EncR + Enc	69	Bytes
13	MarcoR	MarcoR = MarcoR + Guarda	73	Bytes
14	RanR	Ranura del mensaje	11	ms
Parámetros de Protocolo DAMA/Aloha-Ranurado				
Aloha-R (Señalización)				
11	TM	Tamaño de mensaje fijo	22	Bytes
12	PaqPet	Paquete petición = TM + Guarda	26	Bytes
13	MarcoPet	Marco señalización = PaqPet + Guarda	30	Bytes
14	RanPet	Ranura de petición	5	ms
DAMA (Datos)				
15	TM	Tamaño de mensaje fijo	256	Bytes
16	PaqDat	Paquete Datos = Preámbulo + EncR + EncE + TM	275	Bytes
17	MarcoD	Marco Entero DAMA = Guarda + Paq	279	Bytes
18	RanD	Ranura de Datos	40	ms
19		Canales reservados por petición	1	Canal

IV.3 Objetivos y metodología para realizar las simulaciones

Para evaluar el comportamiento de los sistemas propuestos se someterán a distintas intensidades de tráfico estableciendo como *parámetro de calidad* el retardo promedio de los mensajes para ser recibidos correctamente por la VSAT destino. Además

se obtiene el caudal eficaz, comparándose dichos parámetros con respecto al número de ETs.

El proceso de simulación tiene dos condiciones de paro:

- 1) El retardo promedio debe ser menor de 5 segs, ya que el tiempo de respuesta esperado por un equipo de cómputo debe estar dentro de un periodo 3 a 5 segundos para considerarse un proceso de Tx normal [D Chakraborty²,1988]
- 2) El tiempo requerido para el procesamiento de una simulación debe ser menor de 3 días. Este acotamiento, es necesario ya que COMNET/PC puede llegar a tomar días para concluir el procesamiento de unos minutos de simulación en modelos de varios cientos de nodos. Además se corre el riesgo de violar el principio básico de simulación en donde *"La simulación de un sistema, tiempos y costos deben ser menores a los requeridos para la implementación real del sistema"*.

La metodología para llevar a cabo la experimentación es:

1. Partir inicialmente con el modelo de red con 10 nodos.
2. Correr el modelo por 5 horas (tiempo simulado) para obtener la siguiente información por hora:
 - a) Número de paquetes Tx a través del canal.
 - b) Número de paquetes RTx a través del canal.
 - c) Retardo Promedio.
 - d) Caudal Eficaz (Utilización del canal).

² VSAT Communications Network An Overview, mayo 1988 - Vol. 26, No. 6, IEEE Communications Magazine, Pags. 10-23.

3. Cambiar de semilla a todos los generadores de números aleatorios del modelo³.
4. Repetir el paso 2 nuevamente y continuar posteriormente con el paso 5.
5. Calcular los promedios de los resultados obtenidos en ambas simulaciones.
6. Incrementar en 10 nodos el modelo de red VSAT.
7. Repetir la secuencia de pasos del 2 al 6 hasta que se cumpla con alguna de las condiciones anteriormente mencionadas.

IV.4 Implementación en COMNET III

La descripción de un modelo en COMNET consiste de tres categorías de datos:

- Topología de la red
- Tráfico de la red
- Protocolo de red

IV.4.1 Topología de la red

Para establecer la topología de la red, se utilizan los iconos que se muestran en la figura 17.

³ Cada que se realiza un cambio de semilla, esta será única para todos los generadores aleatorios que contenga el modelo

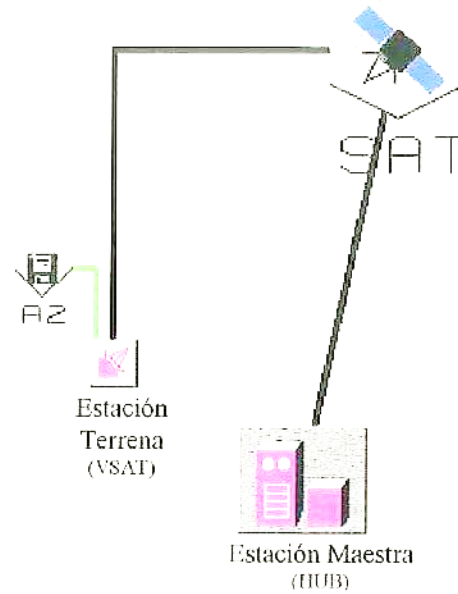


Figura 17. Iconos básicos para establecer una topología de red VSAT. Utilizando *Nodos(Hub,v1..v20..)*, *Aplicaciones(A2)* y *Enlaces(Sat)*.

Existen tres tipos de iconos que usaremos: Nodo, Aplicación y Enlace.

1. Icono-nodo: Representa una ET con identificador propio y comandos operativos definidos.
2. Iconos-aplicación: Ejecutan los comandos del nodo con quien se encuentran conectados, representado así, la parte de software de dichos nodos. La iteración operativa de cada nodo dependerá del tipo de control definido ya sea por intervalos de tiempo, evento disparado o una combinación de ambos.
3. Iconos-enlace: Definen el método de acceso de cada nodo a través del canal representado por los lazos o ligas.

IV.4.2 Tráfico de red

Para definir el tráfico primeramente se establecen los comandos que cada nodo debe realizar.

Existen seis tipos de comandos:

- Lectura
- Escritura
- Procesamiento
- Transporte (ó Tx)
- Sesión
- Contestación

Los modelos Aloha solo requieren de definir un comando de transporte que llamaremos MsgHUB, como su nombre lo indica transporta un mensaje del nodo a la Estación Maestra (HUB).

Pasos para establecer el comando MsgHUB:

1. Seleccionar el icono Nodo y posicionarlo en pantalla
2. Oprimir [Ctrl-D] para visualizar el *DialogBox Node Detail*.
3. Llamar el icono (*Name*) v_n , donde n = número ET.
4. Cambiar el *Icon node.icn* a *earthsta.icn* para tener una mejor representación visual.
5. Oprimir botón Commands para adicionar un comando de transporte.
6. Nombrarlo MsgHUB (*Name*).

7. Establecer el tamaño del mensaje con una distribución de probabilidad Exponencial y una media de 50 Bytes.
8. Elegir la opción *Copy Message Name* en *Msg Text Option*, de esta forma el nodo destino recibe este String como contenido del mensaje, llegando a ser un detonante para un evento disparo.
9. Dentro de *Dest Type* elegir *Weighted List* y posteriormente oprimir el botón de *Edit Destination List* para establecer como destino el nodo HUB con probabilidad de 1.
10. Definir la unidades en Bytes (*Msg Size Units*)
11. Definir un nuevo protocolo de transporte llamado TX-NODO-ALOHA.
12. El protocolo de transporte define el tipo de paquete que utilizará el sistema, para los modelos Aloha el tamaño será del tipo (*Packet Data Bytes*) indefinido, encabezado de red 7 bytes, preámbulo de 4 bytes y no se consideran retransmisiones por paquetes bloqueados (utilizado para circuitos virtuales).
13. Repetir los pasos del 1 al 12 para cada nodo de la red (o hacer clones)

Pasos para establecer la Aplicación:

1. Conectar el icono-nodo con el icono-aplicación con un lazo (línea).
2. Seleccionar icono-aplicación y oprimir [Ctrl-D].
3. Llamar la aplicación A1.

4. Establecer el tipo de activación para la aplicación en Iteración de tiempo (*Iteration Time*) en *Schedule By*.
5. Establecer el inter-arribo con una distribución exponencial con media 14.4, que es equivalente a 250 mensajes por hora.
6. Adicionar a la secuencia de comandos (o programa) el MsgHUB con una sola repetición por evento de Tx.

IV.4.3 Protocolo de red

Un icono-enlace permite la conexión física de dos o más nodos, tiene definido seis protocolos MAC entre los que se encuentran los Aloha.

Los pasos para establecer el protocolo de red es el siguiente:

1. Unir los icono-nodos con el icono-enlace a través de lazos.
2. Seleccionar el icono-enlace y detallar [Ctrl-D].
3. Llamarlo (*Name*) SAT.
4. Elegir tipo de MAC Aloha, oprimir el botón de parámetros.
5. Nombrar (*Name*) el tipo de enlace como VSAT-Aloha.
6. Establecer el ancho de banda (*Bandwidth*) a 56 Kbps
7. Para Aloha ranurado establecer el ancho de ranura (*Slot Width*) en 11 ms.
8. Propagación (*Propagation*) de 270 ms
9. Encabezado de enlace o marco (*Frame OH*) en 8 bytes y de 12 bytes para Aloha-R representando así el tiempo de guarda.

10. Tiempo mínimo de espera y máximo tiempo para RTx (*Retry Dist*) de 670 a 3080 ms.

IV.4.4 Parámetros de Ejecución

Por último el menú *Simulate*, nos permite verificar el modelo, establecer los parámetros de ejecución, ejecutar, detener ejecución, animar, Debbing, establecer los reportes de interés y observar resultados.

Pasos para la ejecución de un modelo:

1. Verificar operatividad del modelo (*Verify Model*).
2. Establecer los parámetros de ejecución : 5 Ejecuciones (*Replication Length*) de 3600 segs.
3. Establecer los reportes (*Set Report*): *Delay-Util* y *Colisions* de la categoría *Link*, de estos reportes se obtienen todos los datos necesarios para el análisis como número de mensajes Tx y RTx , Promedio de retardos, etc.
4. Simular (*Start Simulation*).
5. Observar los reportes obtenidos (*Browse Report...*).

En la figura 18 se observa una pantalla del simulador COMNET para un modelo Aloha de 60 nodos diseñado para este trabajo de tesis.

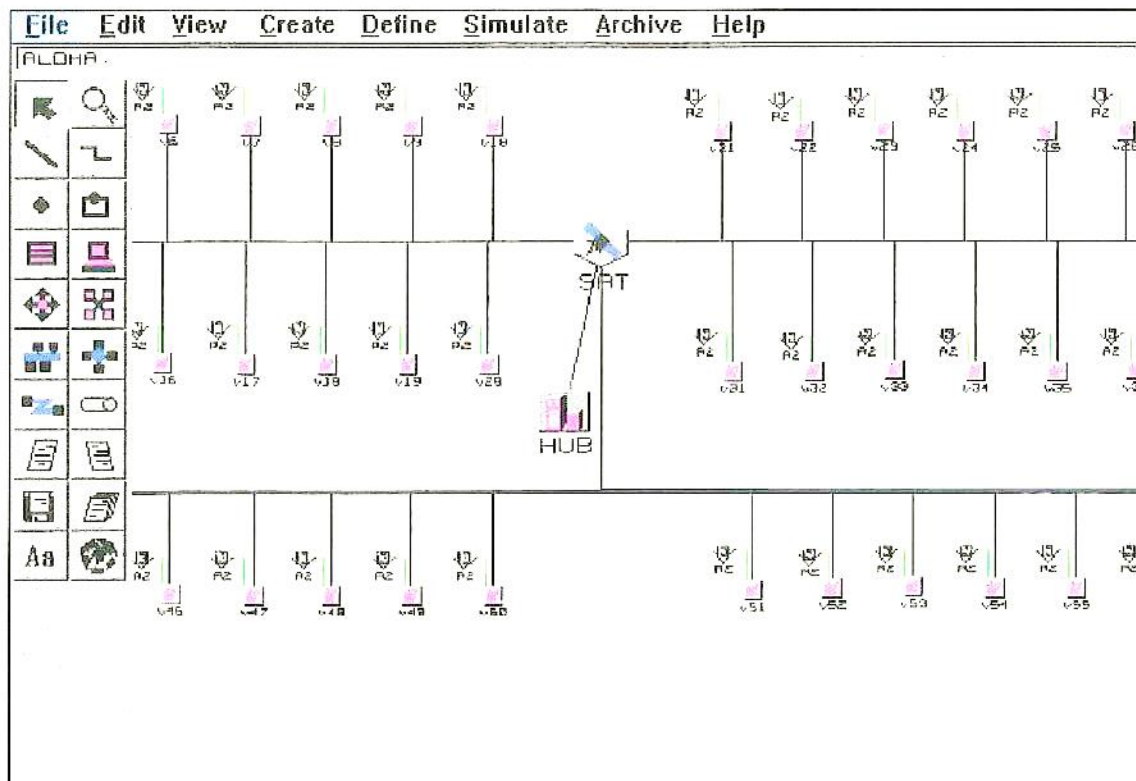


Figura 18. Modelo Aloha con 60 nodos.

IV.5 Implementación en SIMSCRIPT II.5

El modelo TDMA-DAMA/Aloha-R implementado en SIMSCRIPT II.5 aprovecha muchas de las bondades que ofrece este lenguaje, como: recursos (*Resources*), procesos (*Process*), estructuras (*Every*), conjuntos (*Set*), generadores de estadística (*Accumulate, Tally*), generadores gráficos (*Histogram*), etc. La estructura modular contiene las rutinas de LEER.DATOS.IN, INICIALIZAR, OPERACIÓN.NODO, APUNTADOR.RANURA, DAMA y los pocesos NODO.GENERADOR, NODO y REPORTE (ver figura 19).

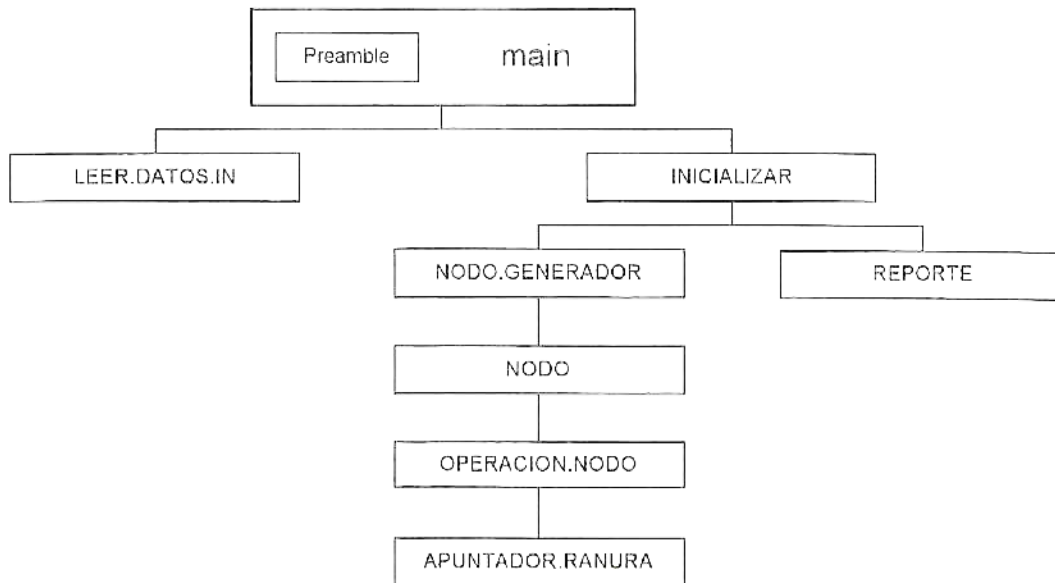


Figura 19. Diagrama de estructura jerárquica de procedimientos y procesos.

IV.5.1 PREAMBLE

El módulo de declaraciones globales se compone de 4 tipos de elementos:

1. Estructura: Cada proceso generado estará compuesto de una estructura de datos con los campos que se muestran en la tabla XII. Esta estructura pertenece a un conjunto ordenado ascendentemente por NODO.ID.

Tabla XII. Estructura Every NODO.

Estructura del proceso NODO			
No	Identificador	Descripción	Tipo dato
1	NODO.ID	Identificador del nodo [No.NODO]	Entero
2	PAQ.RTX	Paquetes que RTx por NODO	Entero
3	NUMPAQ	Paquetes Tx por el canal Aloha-R.	Entero
4	MSJ.DAMA	Paquetes Tx por el canal DAMA	Entero
5	RET.TX.AL	Retardo acumulado de 3	Real Doble
6	RET.TX.DAMA	Retardo acumulado de 4	Real Doble
7	RETARDO	Retardo temporal de Tx de 3y4	Real Doble
8	NUMPAQREC	Paquetes rechazados en canal DAMA	Entero

2. Recursos: CANAL.SENAL y CANAL.DAMA que representan el canal satelital de señalización y el canal satelital de datos.
3. Variables Globales.
4. Declaración de funciones, generadores de estadísticos y gráficos.

IV.5.2 MAIN

El programa principal manda llamar los procesos de LEER.DATOS.IN, INICIALIZAR y especifica el inicio de la simulación “Start Simulación” (ver figura 20).

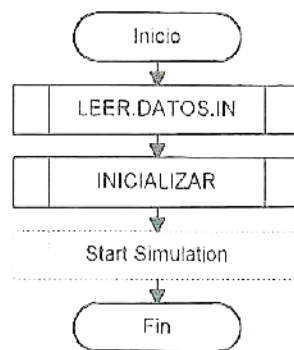


Figura 20. *Diagrama de flujo principal.*

IV.5.3 LEER.DATOS.IN

Obtiene todos los datos de entrada en forma gráfica (ver tabla XIII).

Tabla XIII. Datos de entrada del modulo *LEER.DATOS.IN*

Datos de Entrada				
No	Identificador	Descripción	Unidades	Tipo dato
1	NUM.NODOS	Nodos que componen la red	ETs	Entero
2	TAZA.MSG	Taza de inter-arribo de msj al nodo ET	msj/seg.	Real
3	VELC.TX	Velocidad de TX del canal satelital	Kbps	Real
4	PROPAGACION	Tiempo para recibirse señal satelital	miliseg. (ms)	Real
5	NUM.RAN.DAMA	Ranuras de datos del marco DAMA	Ranuras	Entero
6	MIN.TIEMPO.RTX	Tiempo mínimo de espera a recibir Ack	ms	Real
7	MAX.TIEMPO.RTX	Tiempo máximo a Rtx un msj	ms	Real
8	T.MSG.SOL	Tamaño del msj de petición	Bytes	Entero
9	T.MSG.DAMA	Tamaño del msj de datos	Bytes	Entero
10	T.ENCABEZADOS	Total de Overhead del marco Aloha	Bytes	Entero
11	T.ENCABEZADOS.DAMA	Total de Overhead del marco DAMA	Bytes	Entero
12	MIN.MSG.DAMA	Mínimo ranuras DAMA obtenidas p/Tx msj	Ranuras	Entero
13	MAX.MSG.DAMA	Máximo ranuras DAMA obtenidas p/Tx msj	Ranuras	Entero
14	TIEMPO.SIMULADO	Tiempo de simulación	Segundos	Entero

IV.5.4 INICIALIZAR

Crea los recursos, establece unidades de tiempo, tamaño de ranuras, calendariza los procesos REPORTE y NODO.GENERADOR (ver figura 21).

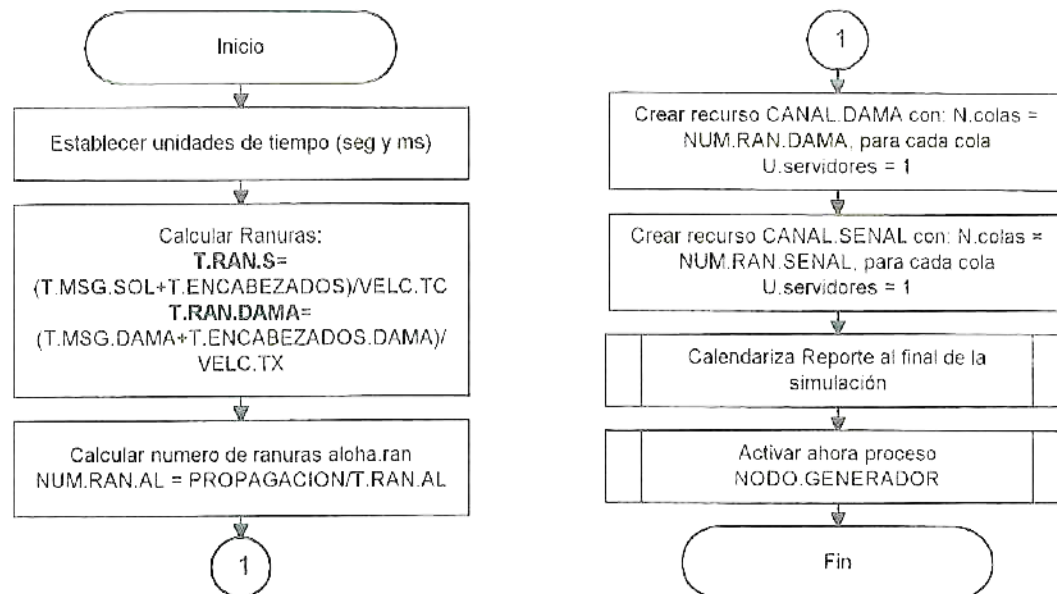


Figura 21. Diagrama de flujo del procedimiento *INICIALIZAR*.

IV.5.5 NODO.GENERADOR

Activa los NUM.NODOS de la red con espera del inicio de una ranura Aloha, para disminuir la inestabilidad inicial de la red (ver figura 22).

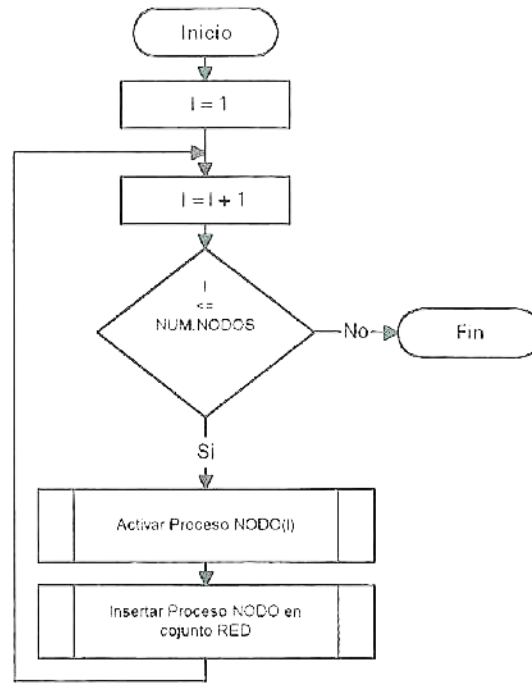


Figura 22. Diagrama de flujo del proceso NODO.GENERADOR.

IV.5.6 NODO

Ejecuta el procedimiento OPERACION.NODO cada vez que un nodo requiere Tx un mensaje, estableciendo además el tiempo de inter-arribo de mensaje (ver figura 23).

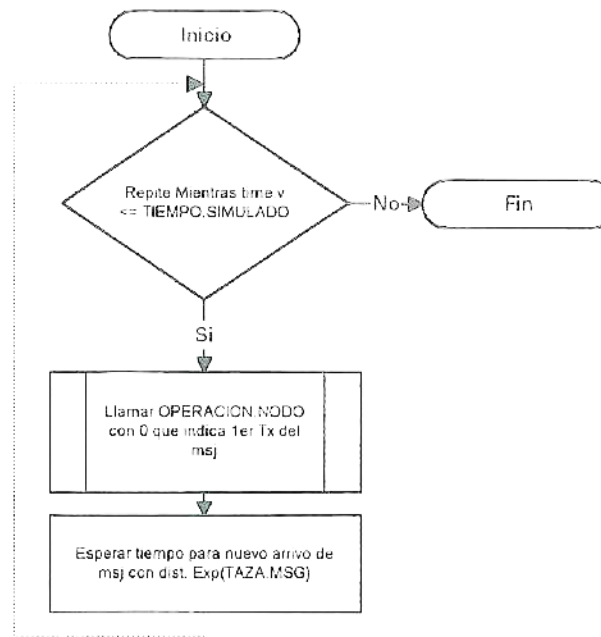


Figura 23. Diagrama de flujo del proceso NODO.

IV.5.7 OPERACION.NODO

Define el proceso de Tx de un mensaje de señalización, algunas de estas funciones son: espera de ranura, generar estadística de Tx y RTx de mensajes, tomar y liberar el canal (recurso CANAL.SENAL), esperar tiempo de PROPAGACIÓN, en caso de no haber colisiones mandar llamar el procedimiento DAMA, si hay colisión se manda llamar recursivamente para volver a iniciar proceso de Tx (ver figura 24).

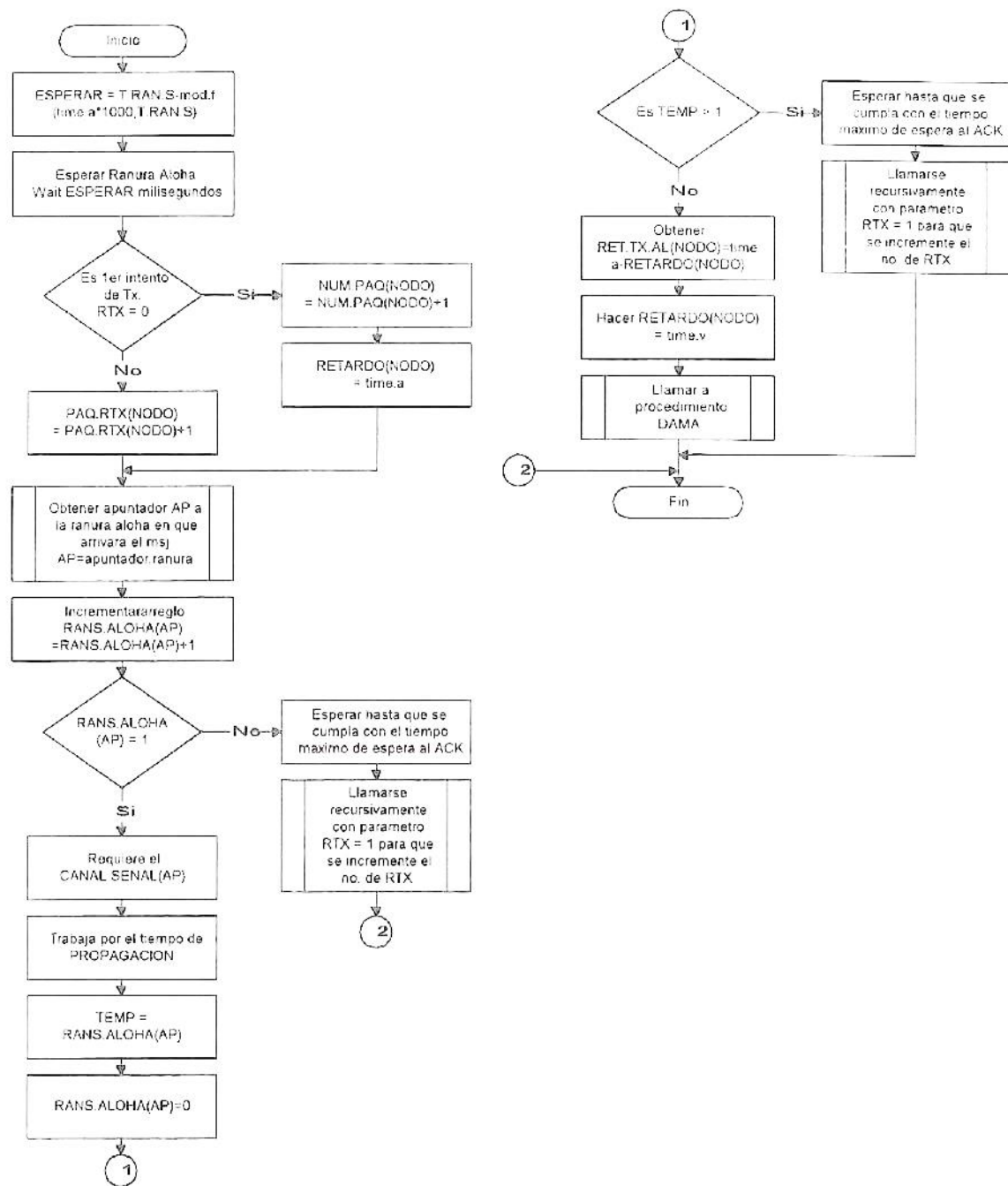


Figura 24. Diagrama de flujo de procedimiento OPERACION.NODO.

IV.5.8 APUNTADOR.RANURA

Función hijo de los procedimientos OPERACION.NODO y DAMA para determinar el número identificador de ranura que tomará el mensaje de más próximo arribo, para de esta forma determinar si el mensaje colisionará (ver figura 25).

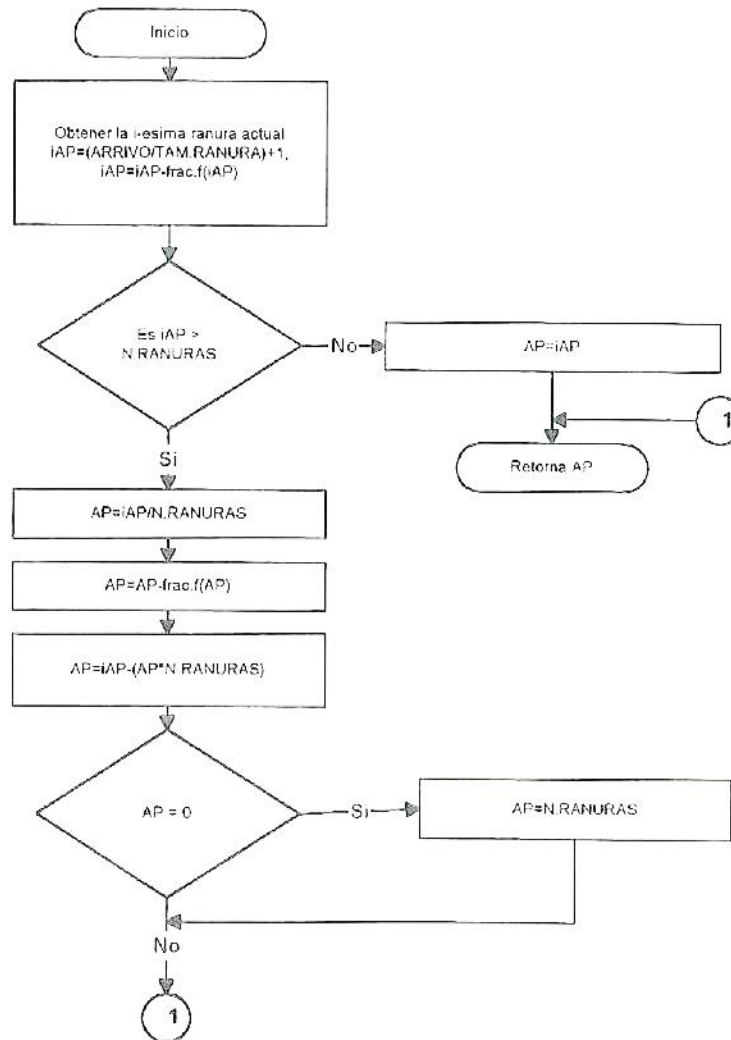


Figura 25. Diagrama de flujo de la función APUNTADOR.RANURA.

IV.5.9 DAMA

Define el proceso Tx de paquetes de un mensaje en el modo TDMA-DAMA: esperar ranuras, determina la ranura a ocupar, verifica si tiene ranuras disponibles, descarta solicitudes y realiza reservaciones de ranuras, genera estadística y conmuta la Tx de cada paquetes. (ver figura 26).

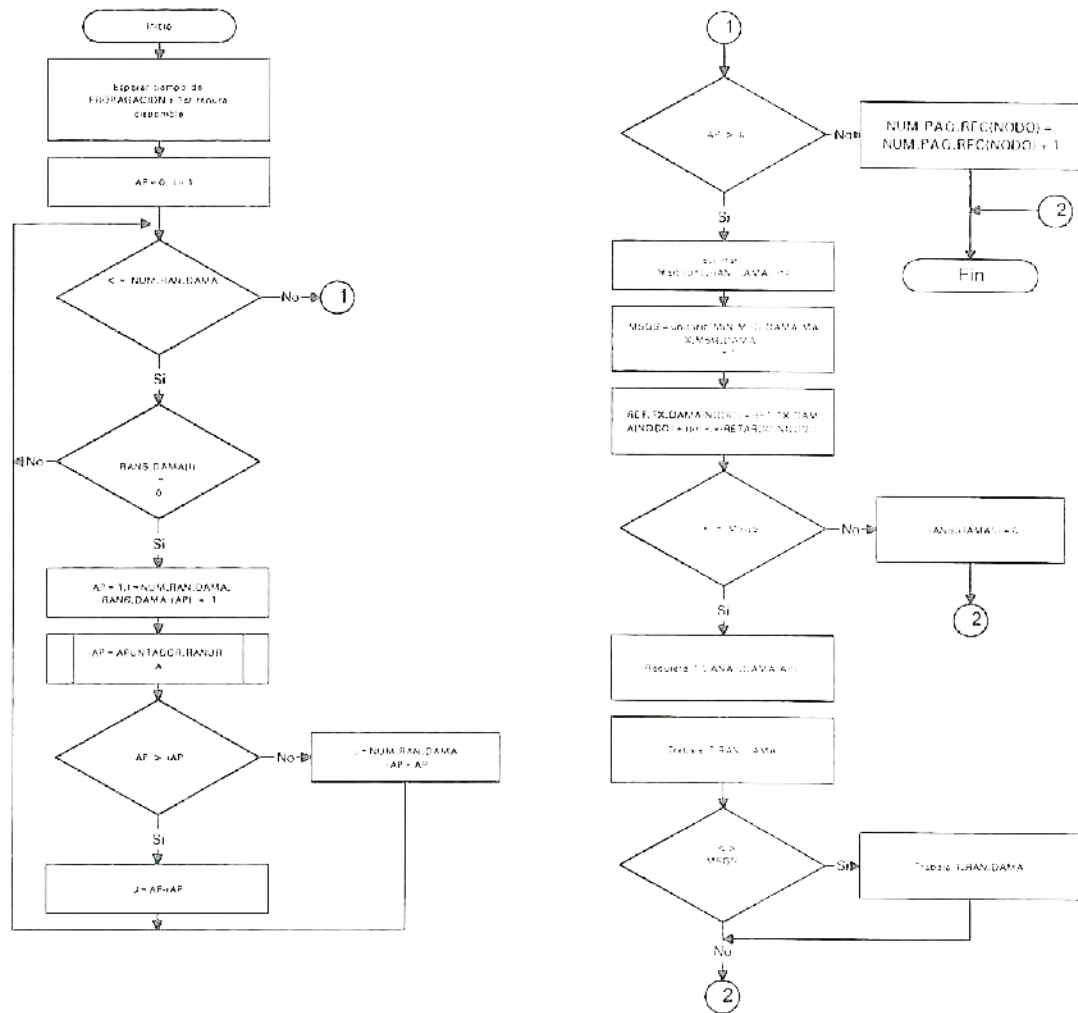


Figura 26. Diagrama de flujo del procedimiento DAMA.

IV.5.10 REPORTE

Proceso calendarizado para ser activado al finalizar el tiempo de simulación desde el procedimiento de inicialización del sistema (ver figura 27).

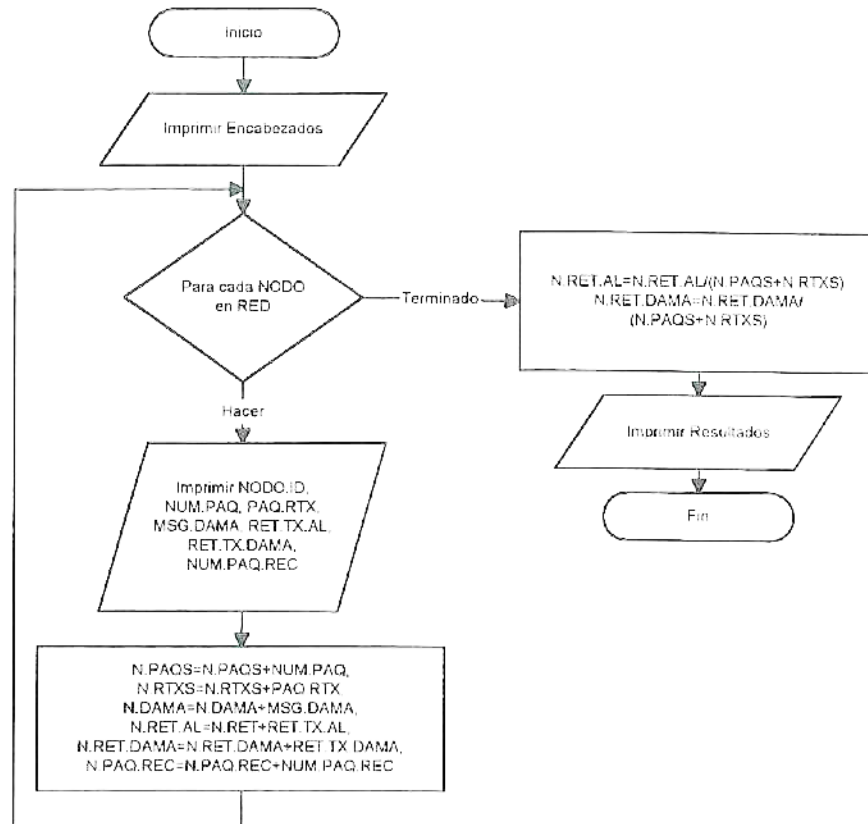


Figura 27. Diagrama de flujo del proceso REPORTE.

Este procedimiento genera un reporte con la información obtenida de la estructura de cada nodo (tabla XI), además proporciona la información de la tabla XIV.

Tabla XIV. Datos de salida del proceso REPORTE.

Datos de Salida				
No	Identificador	Descripción	Unidades	Tipo dato
1	N.PAQS	Total de msj de petición Tx en la red	msjs	Entero
2	N.RTXS	Total de msj de petición RTx en la red	msjs	Entero
3	N.DAMA	Total de paquetes DAMA Tx en la red	paquetes	Entero
4	N.RET.AL	Retardo promedio del cana Aloha	ms	Real doble
5	N.RET.DAMA	Retardo promedio del canal de datos	ms	Real doble
6	UTILIZACIÓN	Utilización del canal	%	Real
7	CAUDAL.EFICAZ	Caudal eficaz del canal	%	Real

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN

En esta sección se sintetiza en forma gráfica los resultados reportados por las 126 simulaciones efectuadas, analizando el comportamiento de los cuatro modelos formulados con respecto a los dos parámetros de calidad: Retardo Promedio (RP) y Caudal Eficaz (CE). Se efectúa la validación de los resultados obtenidos utilizando varios criterios, que conllevan a la conclusión de que los modelos, simuladores y resultados obtenidos proporcionan una gran veracidad, exactitud y credibilidad. Finalmente se resaltan aspectos sobresalientes relacionados tanto con los resultados como con la ejecución de los modelos.

V.1 Síntesis y análisis de resultados

A continuación se sintetizan los resultados de Retardo Promedio y Caudal Eficaz obtenidos para los modelos de Aloha, Aloha-R y DAMA.

V.1.1 Consideraciones iniciales

Inicialmente se establecieron dos condiciones para limitar el tiempo de procesamiento requerido para la experimentación de cada modelo propuesto.

1. La primera condición de tipo operativo establece un tiempo limite de 5^1 segundos bajo los cuales una transmisión entre equipos de cómputo se considera normal y que dadas las características sobre las cuales se desarrolla este trabajo, esta condición

nunca llega a cumplirse ya que no se alcanza la saturación de los protocolos planteados.

2. La segunda condición con fines prácticos limita el tiempo de simulación a solo 5 horas por experimento al no requerirse más, ya que los tiempos de estabilización de los modelos son muy cortos. Todas las experimentaciones realizadas concluyeron a los 5 horas de tiempo simulado, lo cual fue suficiente para obtener:

- Estadísticas
- Estabilización del experimento
- Absorción del ruido estadístico producido al iniciarse el proceso de simulación

En COMNET los tiempos de procesamiento real (no simulado) para modelos de redes mayores de 100 nodos, pueden llegar a requerir hasta 192 hrs por experimento incluyendo los 2 cambios de semilla, limitante que obliga a que la modelación de los protocolos Aloha y Aloha-R en COMNET III, solo sean simulados hasta 180 nodos. Los modelos DAMA implementados en SIMDAMA no adolecen de esta limitante, por lo cual fue posible efectuar simulaciones de hasta 500 nodos en Red.

V.1.2 Análisis de Retardo Promedio (RP)

En la figura 28 se observa el comportamiento del RP de los protocolos simulados Aloha, Aloha-R y TDMA-DAMA. Para un tráfico ligero Aloha y Aloha-R tienen un desempeño muy similar, no obstante, conforme aumenta el número de nodos en la red, la diferencia entre ambos se desfaza cada vez más, de tal forma que para 180 nodos en Red

la diferencia de sus RP, es aproximadamente el doble en Aloha con respecto al Aloha-R ($RP_{Aloha}=1.2$ contra $RP_{Aloha-R}=0.6$ seg.). Es evidente que la diferencia entre los dos protocolos seguirá aumentado hasta que cada uno llegue a su “punto de quiebre”, momento en donde el RP se dispara drásticamente, acontecimiento que muestra el límite de estos protocolos.

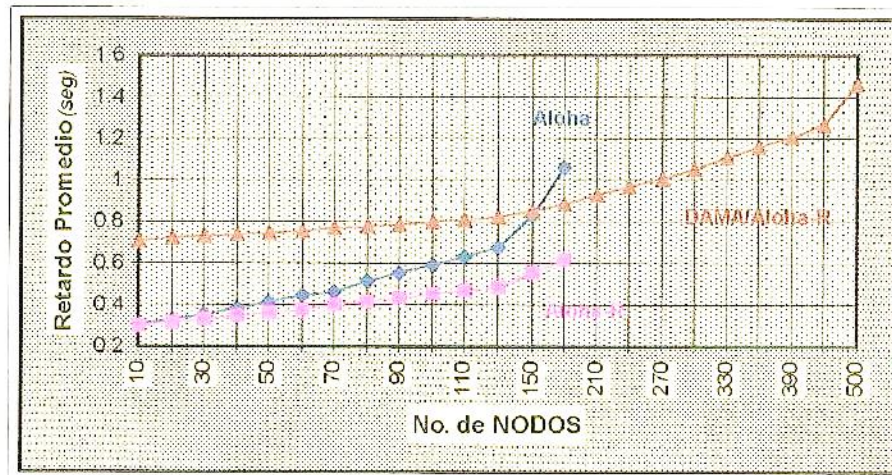


Figura 28. Número de nodos contra Retardo Promedio (RP).

Con respecto al protocolo DAMA podemos observar (figura 28) que para un tráfico ligero presenta un RP mayor del orden de 0.5 seg. con respecto a los otros protocolos, confirmando así la principal desventaja de DAMA para estas pequeñas magnitudes de tráfico. En gran medida esta diferencia se debe al doble salto que efectúan los mensajes solicitud-asignamiento en el protocolo DAMA, además del retardo ocasionado por colisiones ocasionales en el canal de señalización. No obstante, este último efecto es minimizado por el hecho de que el tamaño del mensaje de petición (único

en contienda) del canal de señalización de DAMA/Aloha-R es 50% menor al tamaño del mensaje de información en Aloha-R.

El “punto de quiebre” para DAMA dependerá de 2 motivos:

1. Una demanda excesiva de ranuras que supere la capacidad del canal TDMA y/o
2. La saturación del subcanal de señalización.

V.1.3 Análisis de Caudal Eficaz (CE)

En la figura 29 Aloha y Aloha-R proporcionan inicialmente porcentajes de Caudal Eficaz (utilización) muy semejantes para tráfico ligero, siendo a partir de 120 nodos cuando la diferencia entre los dos empieza a hacerse patente al disminuir la tasa de crecimiento de Aloha. Debido a que teóricamente los porcentajes de utilización típicos son de 18% y 36% para Aloha y Aloha-R respectivamente, podemos predecir que Aloha está muy cerca de su máxima capacidad o “punto de quiebre” a 180 nodos, mientras para Aloha-R aun le resta un 20% de utilización teórico para crecer en tráfico efectivo. Es necesario hacer notar que los porcentajes máximos pueden ser menores o mayores dependiendo de la red diseñada.

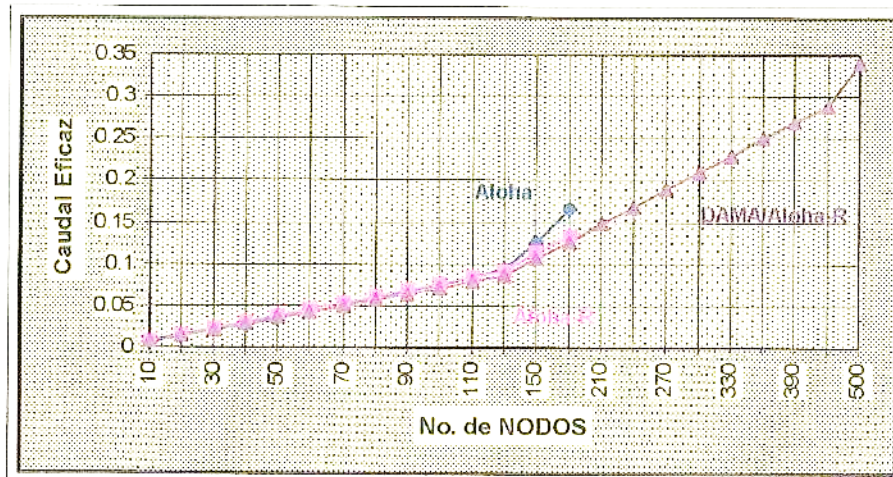


Figura 29. *Numero de nodos contra Utilización (CE).*

En la figura podemos observar como los 2 protocolos de tipo ranurado mantienen un comportamiento similar con incrementos proporcionales de CE con respecto al incremento del tráfico. En cuanto al esquema TDMA-DAMA, a bajas cargas de tráfico se advierte un desaprovechamiento del canal, no obstante tiene una mayor expectativa de crecimiento en número de nodos, coincidiendo la gráfica con la teoría conocida de que la máxima utilización del canal es de 60-80 %.

Las 3 gráficas de la figura 30 muestran el comportamiento del Caudal Eficaz contra RP, permitiendo observar en forma comparativa el desempeño de los protocolos bajo condiciones equivalentes de tráfico¹. La primera curva muestra el rápido ascenso del retardo conforme el caudal eficaz se aproxima a su límite teórico. La segunda muestra que a aproximadamente la mitad del límite teórico de Aloha-R, el mayor control del canal

¹ Para DAMA solo hasta la señal $\diamond$ de la gráfica c.

se refleja en un lento crecimiento en los retardos. La gráfica del DAMA es la más plana, no obstante que los retardos iniciales son mayores que los casos anteriores.

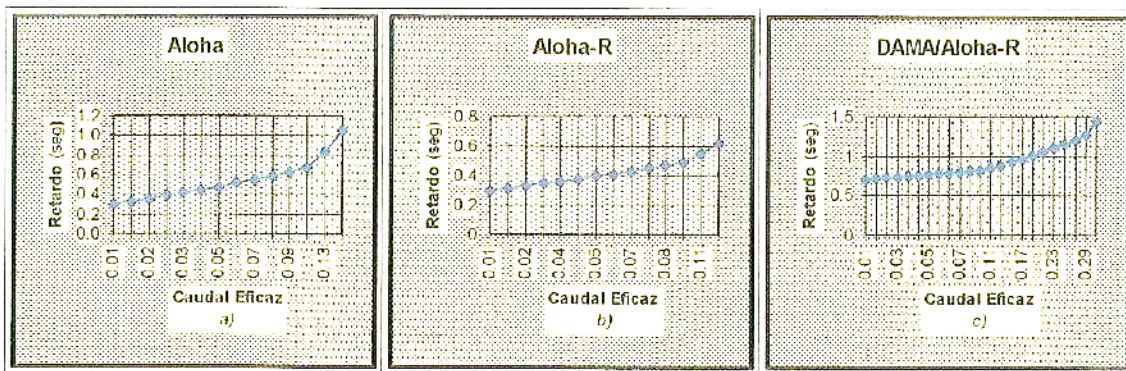


Figura 30. *CE contra Retardo Promedio.*

V.2 Discusión

A continuación se presentan varias discusiones de aspectos relevantes encontrados durante el desarrollo del trabajo y al obtener los resultados presentados en la sección anterior.

Sobre los tiempos de ejecución de los modelos

La figura 31 muestra los tiempos de procesamiento por hora simulada, utilizada por los modelos desarrollados en COMNET y SIMSCRIPT. Se aprecia que a partir de 100 nodos el tiempo de procesamiento en COMNET se incrementa exponencialmente. Las causas principales son que COMNET recurre al “swapping” en disco, y a los tiempo que consume en hacer los archivos Statfile.ndx y Statfile.aut, archivos que dependiendo del modelo pueden llegar a tener tamaños de varios megabytes. A manera de ejemplo, un

modelo de 180 nodos generan un archivo Statfile.aut de 8Mb, consumiendo un tiempo de 40 hrs.

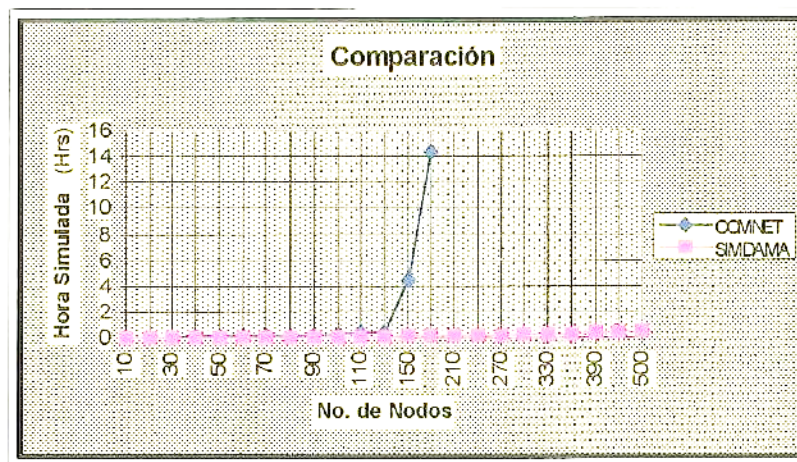


Figura 31. Comparación entre los modelos desarrollados para COMNET y SIMDAMA.

Considerando que para ambos simuladores se obtuvo la misma cantidad y calidad de información requerida, al menos hasta 180 nodos en el estudio desarrollado, se considera una aportación relevante del presente trabajo es el Simulador SIMDAMA, que permite el análisis de redes VSAT con acceso TDMA-DAMA en cuestión de minutos, y no de horas como los modelos COMNET. Además de permitir analizar redes mayores de 180 nodos, lo cuál es prácticamente imposible en COMNET III.

Por lo anterior, se recomienda el desarrollo de este tipo de simuladores en SIMSCRIPT II.5, ya que no se requiere de ser un experto en programación para desarrollar sistemas con calidad y con el grado de detalle requerido para el análisis de sistemas específicos.

Tiempos de Retransmisión (RTx)

principalmente a la longitud reducida del mensaje (50 bytes) y al amplio rango de tiempo de retransmisión de un mensaje en caso de colisión.

El rango de retransmisión es un parámetro importante, que está directamente relacionado con el número de estaciones o nodos que puede soportar una red, ya que influye directamente en el incremento de su RP. Al desarrollar este trabajo, la literatura citada solo proporcionaba el valor límite inferior de 670 ms, siendo importante estimar y proponer el límite superior de este rango, fijado en 3070 ms. Ya que durante el proceso de experimentación se realizaron pruebas variando su tamaño, notándose que a mayor sea este número es más difícil que el modelo entre en conflicto y por tanto soporta un tráfico más pesado, por este motivo se recomienda utilizar el simulador SIMDAMA para experimentar con este parámetro y establecer estadísticamente el impacto de este parámetro.

El protocolo DAMA

TDMA-DAMA/Aloha-R es un protocolo cuya implementación en redes VSAT resulta muy costosa tanto en hardware como en software, por su mayor complejidad. Este protocolo se recomienda para un tráfico medio-pesado y con bajas tasas de inter-arrivo de mensajes/VSAT, lo cual es confirmado por los resultados obtenidos, donde se observa como TDMA-DAMA se ve en desventaja frente al Aloha-R, y que éste último ofrece mayor capacidad de soportar terminales con menores penalidades de retardo.

El retardo mínimo que podemos esperar del protocolo DAMA debido al doble salto se va incrementado por 2 razones:

1. Periodo de retransmisión: El precio de aminorar el flujo de mensajes colisionados a través de un rango de retransmisión amplio, es un alto RP aún para tráfico ligero, ya que cuanto mayor sea el rango, es menor la probabilidad de una colisión múltiple, es decir, la probabilidad de colisión es igual $p=1 - (nr - (NC-1))/nr$ para $nc > 1$, donde $nr=(Tmax - Tmin)/Tran$, por tanto cuanto mayor sea nr menor será la probabilidad de más de una Rtx para los protocolos por contención. Para el modelo diseñado un mensaje ocupa una ranura completa de 11 ms de tiempo en un rango de 670 a 3070 ms, por lo cual la probabilidad de colisión para Aloha y Aloha-R es de $p=0.005$ mientras que para DAMA $P=0.002$.
2. El tamaño del marco DAMA (320 ms) alberga 29 ranuras de mensajes, es decir, la red tiene una capacidad de atender a 29 usuarios cada 320 ms. La espera en algunos casos puede ser el doble-1 ranura del marco, ya que una solicitud tiene derecho a una ranura del marco presente al arribar la respuesta enviada del nodo a la estación maestra o al marco seguido del marco en que arriba la respuesta.

Si unimos los 2 casos de una sola Rtx, en la última ranura más la espera doble del marco - 1 ranura nos da un total de 3029 ms, con posibilidades de ser mayor si existe más de una Rtx.

La simulación de sistemas de telecomunicaciones para la evaluación de protocolos debe incluir un análisis de cuando menos los siguientes parámetros:

1. Cambiar el tipo de tráfico:

- a) Variar los tamaños de los mensajes o su media para protocolos ranurados o no ranurados respectivamente.
 - b) Taza de inter-arribo.
 - c) Para DAMA variar la proporción entre el mensaje de petición y el mensaje de información útil.
2. Cambiar la velocidad de procesamiento.
 3. Considerar tiempos de procesamiento o respuesta lo más cercano a los tiempos reales.

Posibles mejoras al simulador SIMDAMA

SIMDAMA es una buena aproximación a un simulador para el protocolo TDMA-DAMA y para Aloha-R, no obstante, se puede mejorar substancialmente en las siguientes facetas:

- Desarrollo estadístico
- Presentación gráfica de reportes
- Gráficos de comportamiento en tiempo real del sistema
- Animación
- Permitir la simulación de redes heterogéneas al igual que COMNET, para lo cual necesita un editor gráfico donde se pueda especificar la topología e introducir los parámetros.

V.3 Validación de los resultados obtenidos

La validación es una de las etapas más importantes en la metodología de simulación, ya que permite conocer si los modelos diseñados representan lo más fielmente posible el comportamiento real de los sistemas en estudio, y de allí si son utilizables o no. Las formas más comunes para validar un modelo son:

1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
2. La exactitud con que se reproducen datos históricos.
3. La exactitud en la predicción del futuro.
4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
5. La aceptación y confianza en el modelo por parte de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

La validación de los resultados se hará respecto a referencias de análisis matemáticos, análisis de simulación y de sistemas reales.

V.3.1 Referencias de análisis de simulación

La validación se fundamenta a través de las siguientes cinco consideraciones, cada una de las cuales se discuten con mayor amplitud:

Nota: Se utiliza el símbolo $\Rightarrow$ para indicar “*valida a*”

1. CACI $\Rightarrow$ Valida a COMNET III y SIMSCRIPT II.5.

2. COMNET III $\Rightarrow$ Aloha y Aloha-R de COMNET
3. Aloha-R de COMNET $\Rightarrow$ Aloha-R de SIMDAMA
4. Artículos de Rauchaduri $\Rightarrow$ DAMA/Aloha-R de SIMDAMA
5. DAMA/Aloha-R de SIMDAMA $\Rightarrow$ SIMDAMA

V.3.2 Validación del simulador COMNET III para Aloha y Aloha-R

COMNET es un simulador de redes de comunicación en el mercado desde 1987, y que forma parte de los productos desarrollados por la corporación CACI especializada en software de simulación; esta organización dá servicio a más de 5,000 clientes de grandes compañías e instituciones gubernamentales, militares y de investigación, como AT&T Bell Laboratories, Aeronautical Radio, British Telecom, Hughes Aircraft, Telmex, etc. Por lo tanto, la credibilidad de COMNET III esta sustentada al estar siendo utilizado por expertos para la investigación científica y desarrollo de sistemas reales. Aunado a esto COMNET como cualquier otro producto comercial o sistema de simulación siguen una metodología rigurosa de validación. Por lo tanto, si se efectúa la especificación correcta de los parámetros que definen los modelos, COMNET garantiza una buena representatividad. Por lo anterior, esta representatividad se hace extensible para los modelos Aloha y Aloha-R que se analizan en este trabajo de tesis.

V.3.3 Validación del simulador SIMDAMA para DAMA y el subcanal Aloha-R

El simulador SIMDAMA provee información de dos aspectos de la operación DAMA:

1. Del subcanal Aloha-R y
2. La resultante de la operación TDMA/Aloha-R

La validación se efectúa en función de estos dos aspectos.

1. **Subcanal Aloha-R.** Se comparan los resultados de RP y CE obtenidos en SIMDAMA y COMNET, utilizando los mismos parámetros para ambos simuladores. En la figura 32 se observan la similitud entre los resultados de ambos simuladores. La media aritmética de la distancia entre las dos curvas, tomada en 18 puntos da las siguientes cifras: $RP=0.020$ seg. y $CE=0.003$, por lo tanto, las diferencias pueden ser consideradas insignificantes.

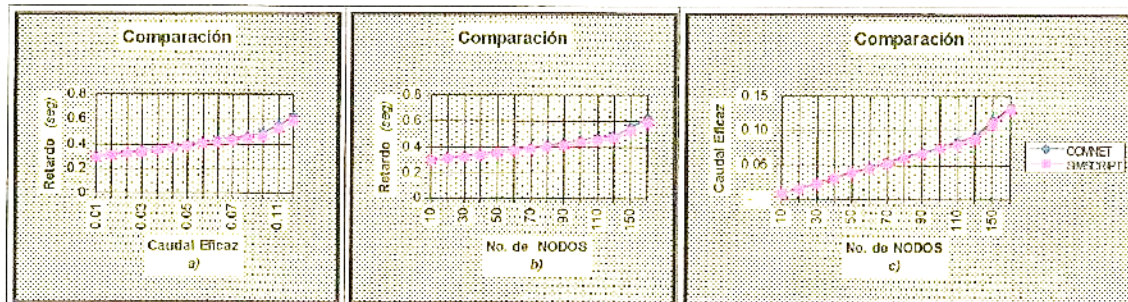


Figura 32. Comparación de los resultados de Aloha-R entre COMNET y SIMDAMA.

2. **Canal DAMA/Aloha-R:** Se utiliza la información que proporcionan los modelos propuestos por Raychaudhuri¹. Comparando los resultados de RP como se muestra en

la figura 33, se observa la similitud de ambos resultados, con una diferencia promedio de 0.056 seg.

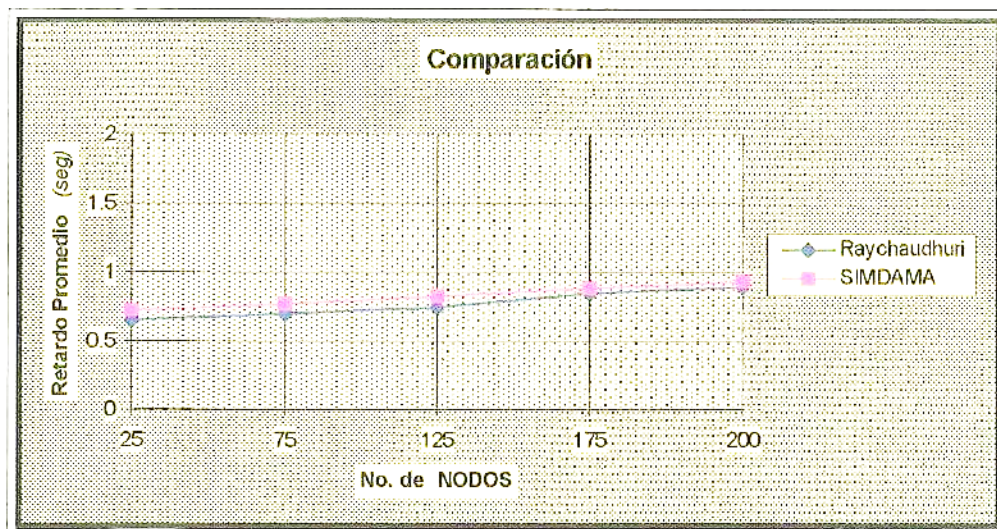


Figura 33. Comparación de los resultados de DAMA/Aloha-R entre SIMDAMA y la figura 12(a) del artículo¹ de Raychaudhuri.

Las comparaciones presentadas, y las mínimas diferencias encontradas respecto a los trabajos de investigación de especialistas en el área (Raychaudhuri¹), nos permiten afirmar que los modelos de simulación desarrollados y analizados son bastante confiables, y particularmente que el simulador SIMDAMA constituye una valiosa herramienta prototipo de análisis para redes VSAT operando bajo el esquema de multiacceso TDMA-DAMA/Aloha-R.

¹ Ku-Band Satellite Data Networks Using Very Small Aperture Terminals-Part 1: Multi-Access Protocols, marzo 1987-Vol. 5, International Journal Of Satellite Communications, Pag. 210.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Sobre el cumplimiento de los objetivos de la tesis

Para fundamentar apropiadamente el hecho de que se han cumplido los objetivos planteados al comienzo del presente trabajo, se transcribe de nuevo el planteamiento inicial

“Efectuar el análisis de sistemas VSAT por medio de herramientas de simulación representativas del estado del arte de esta disciplina, y efectuar una evaluación de los resultados obtenidos y de las herramientas utilizadas”.

Fue necesario estudiar los sistemas de comunicaciones satelitales VSAT, así como conocer y experimentar con las herramientas de simulación COMNET III y SIMSCRIPT II.5 para plantear el escenario de análisis y la metodología específica a seguir. El planteamiento consistió en elegir tres protocolos representativos de las comunicaciones por redes VSAT, a saber: Aloha, Aloha-R y TDMA-DAMA/Aloha-R. Debido a que los tres sistemas cubren todo el espectro de la sencillez a la complejidad de implementación, desde un protocolo sin ningún control (Aloha), pasando por un control medio (Aloha-R), a un control absoluto (DAMA-TDMA), lo cual se prestó también para formular desde un modelo de simulación sencillo (Aloha en COMNET III), aumentando la complejidad con Aloha-R 1 (COMNET III), Aloha-R2 (SIMSCRIPT II.5), hasta el mas complicado DAMA-TDMA/Aloha-R (SIMSCRIPT II.5). Este último es un simulador-prototipo al que se denominó SIMDAMA.

Basados en los resultados obtenidos y en las comparaciones presentadas en el Capítulo V, podemos afirmar que los modelos de simulación desarrollados y analizados son bastante confiables, y particularmente que el simulador SIMDAMA constituye una interesante herramienta-prototipo de análisis para redes VSAT operando bajo el esquema de multiacceso TDMA-DAMA/Aloha-R.

VI.2 Desarrollo de SIMDAMA

SIMDAMA es un prototipo simulador de redes VSAT homogéneas con capacidad de representar el funcionamiento de los protocolos Aloha-R y TDMA-DAMA/Aloha-R. Este prototipo fue desarrollado en SIMSCRIPT II.5 bajo la siguiente estructura:

- 1_ Preamble
- 1 Main
- 3 Generadores de procesos
- 18 Procedimientos y alrededor de 680 líneas de código SIMSCRIPT y un número mucho mayor de código C++.

Los motivos por los que se desarrolló SIMDAMA fueron:

- La necesidad de experimentar con nuevas herramientas que permitieran tener un punto de comparación entre COMNET III y otro producto.
- COMNET III no permite la modelación de protocolos ajenos a él, que requieran tener capacidad de decisión para la administración de un canal.

- COMNET III para Windows no especifica limitaciones al tamaño del sistema a modelar, sin embargo para el modelo que se plantea en este trabajo el tiempo de procesamiento se incrementa en forma similar a una función exponencial a partir de 120 nodos, como se observa en la figura 5.3.1, imponiendo de esta manera una fuerte limitación al número de nodos de la red. Motivo que nos condujo a emigrar al lenguaje SIMSCRIPT II.5.

Recomendaciones para mejorar SIMDAMA

SIMDAMA se puede mejorar substancialmente en las siguientes aspectos:

- a) El desarrollo estadístico
- b) Presentación gráfica de reportes
- c) Gráficos de comportamiento en tiempo real del sistema
- d) Animación
- e) Permitir la simulación de redes heterogéneas al igual que COMNET III, para lo cual necesita un editor gráfico donde se pueda especificar la topología e introducir los parámetros.

Finalmente, para aquellas personas interesadas en la simulación de redes de comunicaciones a través de estos sistemas, en el apéndice A se encuentra el código completo del SIMDAMA. En el apéndice C se proporciona el disquete con el código

fuentes y ejecutable de SIMDAMA, que puede ser instalado en cualquier computadora en ambiente Windows, con procesador +386 o mayor y ≥ 2 Mb de memoria RAM.

VI.3 Experiencias sobre las capacidades y limitaciones de COMNET III

El simulador COMNET es un producto maduro, que desde los años 80's cuando salió al mercado a pasado por varias transformaciones que lo han potencializado hasta convertirse en un simulador de redes LANs y WANs bastante competitivo. A continuación se describen algunas capacidades y limitantes de COMNET III percibidas durante el desarrollo de este trabajo.

COMNET es un sistema muy extenso con muchos objetos, estructuras, herramientas, etc. que permiten la representatividad de una gran variedad de modelos. No obstante, al llegar el momento de diseñar un modelo prototipo, muchas bondades de COMNET saldrán sobrando y solamente decrementarán la eficiencia del sistema de cómputo, por consiguiente sería recomendable que COMNET al igual que SIMSCRIPT y otros productos, se recompila, obteniendo un Sub-Simulador-COMNET Particular, es decir un programa ejecutable (*.EXE) que además de la portabilidad que esto significa permita a este nuevo simulador administrar mejor los recursos del sistema de cómputo.

La experimentación con protocolos no incluidos en COMNET III es prácticamente imposible. Existe la posibilidad de efectuar pequeñas modificaciones a los modos de funcionamiento preestablecidos tales como la simulación de multi- FDMA y TDMA mediante enlaces punto-a-punto. No es posible diseñar protocolos que

internamente requieran tomar decisiones para atender solicitudes de reservaciones, o cualquier otro proceso que implique que el protocolo tenga capacidad de decisión.

La arquitectura interna de los protocolos de COMNET es transparente al usuario, provocando con ello, total dependencia al modelo diseñado por la compañía. Considerando que este tipo de protocolos en telecomunicaciones puede tener muchas variantes resulta ser un factor importante al momento de elegir un simulador, ya que la falta de éste limita la investigación de nuevas arquitectura en sus protocolos. Sería una gran ayuda incluir una buena documentación de su sistema, incluyendo diagramas de flujo de información, y/o conceptuales de cada protocolo que maneje.

COMNET tiene la capacidad de generar reportes de cualquier entidad dentro del modelo con un grado de detalle bastante bueno, pero al mismo tiempo esta característica representa su “talón de Aquiles” ya que requiera de mucha memoria RAM, espacio en disco considerable, tiempo para realizar “swapping” y tiempo para la creación de archivos de entrada/salida (STATFILE.AUT, STATFILE.NDX, STATFILE). Una vez obtenidos los reportes COMNET debería contar con un sistema que manipule estos reportes debido principalmente a lo extensos que estos pueden ser y a la gran cantidad de valores representados que generalmente no se ocuparan todos a un mismo tiempo así mismo debería existir una conexión entre los n reportes generados en cada proceso de simulación que permitan al usuario obtener gráficos y/o estadísticas bajo un enfoque de toda la fase de experimentación.

VI.4 Experiencias sobre las capacidades y limitaciones de SIMSCRIPT II.5

SIMSCRIPT es un lenguaje de simulación de propósito general muy versátil para desarrollar simuladores en forma fácil y entendible. Permite detallar un modelo tanto como se requiera, facilidad que un simulador convencional no puede ofrecer, además de optimizar el uso de los equipos de cómputo. SIMSCRIPT proporciona herramientas, recursos y estructuras de datos sofisticadas y eficientes que facilitan la programación, obteniendo al mismo tiempo un producto competitivo.

SIMSCRIPT II.5 es un semicompilador que genera código C++ a partir de código fuente propio, para lo cual enlaza librerías de clases de SIMSCRIPT y librerías de clases de la fundación Microsoft. SIMSCRIPT activa automáticamente el compilador Visual C++ para finalmente generar un archivo ejecutable, que puede ser transportable a cualquier sistema de cómputo en ambiente Windows requiriendo incluso menos especificaciones de hardware que los compiladores de Visual C++ y SIMSCRIPT.

SIMSCRIPT a través de SIMGRAPHICS permite agregar a los programas de simulación una interfaz amigable tipo Windows con gráficos interactivos, animación y reportes gráficos, que de acuerdo a recomendaciones hechas por expertos, todo buen simulador debe tener, siendo incluso para algunos casos “la animación” el objetivo principal de la modelación o punto de partida para la validación de un modelo. Sin embargo para poder desarrollar una buena interface en SIMSCRIPT requerirá invertir mucho tiempo, ya que SIMGRAPHICS, el desarrollador de gráficos, es poco amigable (y confuso).

VI.5 Recomendaciones para la programación de simulación de sistemas

La estructura lógica de los programas de simulación se caracterizan por componerse de muchos procesos eminentemente iterativos con una gran cantidad de operaciones aritméticas y lógicas por iteración, con el consiguiente consumo de tiempo de procesamiento. Por ello, es recomendable la sencillez en la programación de interfaces en datos de entrada/salida, evitando procedimientos innecesarios tales como “adornar” el programa o tratar de abarcar muchos aspectos deseables en un sistema, pero que al momento de utilizarlo resulten innecesarios. Por ejemplo, si se conoce la distribución de probabilidad que se utilizará en un sistema modelado es recomendable evitar sentencias CASE con 15 o más opciones; evita saturar el CPU con animación en pantalla si no se requiere, o procedimientos multifuncionales cuando solo ocupa una función determinada en un sistema específico.

Esta programación de propósito particular (o específico) que se propone es posible desarrollarla con personal no necesariamente experto en programación, utilizando lenguajes de simulación de propósito general aprovechando las potencialidades que el software proporciona.

LITERATURA CITADA

- Caci Products Company. 1994. Comnet III User's Manual. USA. Ed. Caci Products Company.
- Coss Bu Raúl. 1993. Simulación Un Enfoque Práctico. México. Ed. Limusa. pags 1-18.
- Jones Jeffry Gene. 1995. Course Notes, Modeling And Simulation With Comnet III. USA. Ed. Caci Products Company.
- Kuriacose Joseph and Raychaudhuri Dipankar. 1988. Simulation Models for Performance Evaluation Of Satellite Multiple Access Protocols. USA. IEEE Journal On Select Areas In Communications. pags. 210-222.
- Law Aveill M. 1994. Course Notes, Simulation Of Communications Networks. USA. S.E.
- Neelamkavil Francis. 1988. Computer Simulation And Modeling. Gran Bretaña. Ed. John Wiley & Sons. pags. 1-160.
- Pritchard W, Suyderhoud H And Nelson R. 1993. Satellite Communication Systems Engineering, Launch Vehicles And Propulsion. USA. Ed. Prentice-Hall. pags. 148-199.
- Raychaudhuri D. and K. Joseph. 1987. Ku-Band Satellite Data Networks Using Very Small Aperture Terminals Part I: Multi-Access Protocols. USA. International Journal Of Satellite Communications. pags. 195-212.
- Russell Edward C. 1992. Course Notes, Simulation And Modeling. USA. Ed. Russell Software Technology.
- Russell Edward C. 1994. Simscript II.5 Programming Language. USA. Ed. Caci Products Company.

APÉNDICE A

El siguiente código en lenguaje SIMSCRIPT II.5 para Windows, genera el simulador SIMDAMA para los protocolos Aloha-R y DAMA/Aloha-R. Para generar una interfaz tipo Windows es necesario utilizar SIMGRAPHICS II en la compilación.

PREÁMBLE

```

.....
* Preámbulo define todas las variables globales, entidades, recursos conjuntos, etc. del sistema
.....

Preámbulo
  Normally, mode is undefined
  * Salidas por pantalla y PRINT indefinido

* Procesos y estructura principal de datos utilizada por proceso NODO
.....
Procesos include NODO GENERADOR, NODO and REPORTE
  Every NODO
    has a NODO ID
    has a NUM PAQ
    has a PAQ RTN
    has a MSG DAMA
    has a RET TX AL
    has a RET TX DAMA
    has a NUM PAQ REC
    and belongs to the RED
    Define NODO ID,PAQ RTN,NUM and NUM PAQ,MSG DAMA,NUM PAQ REC as an integer variable
    Define RET TX AL and RET TX DAMA as double variable
    Define RED as a set ranked by low NODO ID

  * Identificador numérico único del proceso NODO
  * Contador de mensajes de solicitud enviados por NODOs donde el NODO ID
  * Contador de Retransmisiones de mensaje de solicitud enviados por NODOs
  * Contador de mensajes enviados por el canal DAMA del NODOs
  * Acumulador de tiempo de retardo por cada mensaje Tx por el canal Aloha-R
  * Acumulador de tiempo de retardo por mensaje Tx por el canal DAMA
  * Contador de mensajes rechazados al encontrarse saturado el canal DAMA
  * Tapa que une el proceso NODOs en un conjunto llamado RED

Resources include CANAL SENAL and CANAL DAMA
  * Declaración de los 2 recursos que representan los canales comunicacionales Tx

Variables de NODOS
  Define NUM NODOS as an integer variable
  Define TAZA MSG as an real variable
Variables de ENLACE
  Define VEL TX,NUM RAN DAMA, NUM RAN AL,TOTAL RAN,T RAN DAMA,MARCO,NUM MARCOS,
    MSG REC,INESTABILIDAD and TRAN S as an integer variable
  Define RAN ALOHA,RAN DAMA,MAX TIEMPO RTN,PROPAGACION and
    MIN TIEMPO RTN as an real variable
Variables de MENSAGES
  Define T MSG SOL,T MSG DAMA,T ENCABEZADOS DAMA and T ENCABEZADOS as an integer variable
  Define MIN MSG DAMA and MAX MSG DAMA as an integer variable
  Define ED1,ED2,ED3,ED4,ES1,ES2,ES3,ES4 as an integer variable
Variables de SIMULACION
  Define TIEMPO SIMULADO, TIEMPO CALENTAMIENTO, NUM EJECTONES,
    and NEMUL TA as an integer variable
  Define unidades de tiempo a utilizar
  Define segundos to mean units
  Define milisegundos to mean hours
* Arrays y variables de entorno del sistema y ESTADÍSTICA
  Define RAN ALOHA as a 1-dimensional, integer array
  Define RAN DAMA as a 1-dimensional, integer array
  Define AP MARCO as a 1-dimensional, integer array
  Define MAX RAN DAMA AS, MAX RTN PAQ and MAX COL as a integer variable
.....
* Declaración de las Funciones para obtener el apuntador al arreglo de ranuras aloha
  * Verificar errores de los parámetros que definen un modelo
  .....
  Define APUNTADOR RANURA as a integer function
  Define VERIFICAR as a integer function

  The system owns the RED
  Une el conjunto RED al sistema

End * Fin de PREÁMBULO

```

MAIN

```

.....
* Determina la ranura y o marco que se encuentra al momento de ARRIBO
* Retoma el número identificador
* Toma como entrada el tiempo de análisis (ARRIBO), tamaño de la ranura (TAM RANURA) Y el número de elementos del arreglo

```

El bloque de ramuras (N RAMURAS).

Routine APUNTADOR.RANURA given ARRIBO,TAM.RANURA and N.RANURAS

Define ARRIBO,AP and IAP as an double variable

Define TAM.RANURA and N.RANURAS as an integer variables

Define AP as an integer variables

Let IAP = (ARRIBO-TAM.RANURA) + 1

* Obtiene la ramura ramura

Let IAP = IAP - frac(IAP)

* Elimina fracción e IAP apunta la ramura a la cual arribará el mensaje

Si IAP es mayor que el número de casillas del arreglo de ramuras significa que el arribo del mensaje se realizará en otro conjunto de ramuras o marcos que es representado por mismo arreglo de casillas, por lo que se procede a determinar que casilla del mismo marco arribará el mensaje

Let IAP = N.RANURAS

Let AP = IAP*N.RANURAS

Let AP = AP - frac(IAP)

Let IAP = IAP + (AP*N.RANURAS)

Let AP = 0

Let IAP = N.RANURAS

Always

Else

Let AP = IAP

Always

return IAP

* Regresa el apuntador que debe ser arribado

End * Final de la función APUNTADOR.RANURA

CARGAR

El procedimiento CARGAR lee y asigna los parámetros que definen el sistema de un archivo ascii abierto previamente. Los archivos que lee son *.mod y son grabados desde el mismo SIMDAMA cuando se realiza una serie de experimentaciones con pocas variaciones entre los modelos

Routine CARGAR

Read NUM.NODOS as 1.5;

Read TAZA.MSG as d(10,4);

Read VEL.CTN as d(10,4);

Read PROPAGACION as d(10,4);

Read NUM.RAN.DAMA as 1.5;

Read MIN.TIEMPO.RTN as d(10,4);

Read MAX.TIEMPO.RTN as d(10,4);

Read T.MSG.SOL as 1.5;

Read T.MSG.DAMA as 1.5;

Read TEN.CABEZADOS as 1.5;

Read TEN.CABEZADOS.DAMA as 1.5;

Read MIN.MSG.DAMA as 1.5;

Read MAX.MSG.DAMA as 1.5;

Read TIEMPO.SIMULADO as 1.5;

Read SEMILLA as 1.5;

Read ED1 as 1.5;

Read ED2 as 1.5;

Read ED3 as 1.5;

Read ED4 as 1.5;

Read ED5 as 1.5;

Read ED6 as 1.5;

Read ED7 as 1.5;

Read ED8 as 1.5;

Read ED9 as 1.5;

End * Final del procedimiento CARGAR

DAMA

El procedimiento DAMA, define la administración y el comportamiento de los mensajes a través del canal TDMA

Routine DAMA given MSG.ORIGINAL

Define L.MSGS,APM,IAP and AP as an integer variable

Define ESPERAR, MSG.ORIGINAL and ARRIBO as double variable

* Cuando arriba un mensaje al canal TDMA, se determina y genera la espera a la ramura mas proxima

Let ARRIBO = (time v*1000)

Let ESPERAR = ARRIBO-PROPAGACION

Let ESPERAR = T.RAN.DAMA-mod f(ESPERAR,T.RAN.DAMA)

Wait PROPAGACION+ESPERAR milisegundos

* Se ordenan los apuntadores al marco y ramura al tiempo de ARRIBO

* (APM y IAP respectivamente)

Let I = 0

Let AP = 0

Let APM = APUNTADOR.RANURA,time v*1000,MARCO,NUM.MARCOS)

```

Let LAP = APUNTADOR RANURA*(time v*1000/T RAN DAMA)+TOTAL RAN)

AP MARCO es el arreglo contador de procesos activos asignados a un marco específico
Si el marco al ARRIBO de la respuesta que manda la HU.B no se encuentra saturado de procesos
pendientes entonces realiza una búsqueda secuencial sobre las ranuras de este marco y toma
la llamada disponible
If AP MARCO/APM < NUM RAN DAMA
For I=AP to APM*NUM RAN DAMA
Do
  If RANS DAMA(I) = 0
    Let AP = I
    Let I = 10000
  Regardless
Loop
Regardless

Si durante el ARRIBO de la respuesta NO se puede atender su petición entonces se APM apunta al último segmento Marco
o al marco inicial si se trata del último del conjunto de marcos de control

If I = 10000
Let I = 0
Let APM = NUM MARCOS
Let APM = 0
Regardless

Búsqueda de ranura disponible en el siguiente marco según del ARRIBO

If AP MARCO/APM-1 < NUM RAN DAMA
For I=APM*NUM RAN DAMA-1 to APM*NUM RAN DAMA+NUM RAN DAMA
Do
  If RANS DAMA(I) = 0
    Let AP = I
    Let APM = APM+1
    Let I = 10000
  Regardless
Loop
Regardless
Regardless

* Si la petición de Tx fue aceptada, se registra, se calcula el tiempo de espera (del tiempo actual al
comienzo de la ranura asignada y espera ranura.

If AP = 0
Let RANS DAMA(AP) = 1
Let AP MARCO (APM) = AP MARCO(APM)+1
If AP = LAP
  Let I = AP+AP
Else
  Let I = TOTAL RAN+AP+AP
Regardless

Wait (T RAN DAMA) milisegundos
Let MSGS = min(RMIN MSG DAMA, MAX MSG DAMA, SEMILLA)
Tx el mensaje completo
Let MSG DAMA(NODO) = MSGS
Let RET TX DAMA(NODO) = RET TX DAMA(NODO)+time v-MSG ORIGINAL

* Espera comienzo de ranura
* MSGS establece el número de veces que realizará la ranura desde su asignación hasta
* Se registra el número de mensajes tx por NODO ID
* Acumula el tiempo de espera a las ranuras asignadas

* Realiza la Tx del mensaje desde el paquete 1 (la ranura) hasta el último paquete N, que forman el mensaje

For I=1 to MSGS
Do
  Request 1 CANAL DAMA(AP)
  Tx el mensaje tomando el recurso CANAL DAMA por el tiempo en que transcurre una
  ranura de tiempo
  Work T RAN DAMA milisegundos
  El canal trabaja Tx el paquete
  Relinquish 1 CANAL DAMA(AP)
  Se libera el CANAL DAMA
  If I = MSGS
  Si el mensaje aún no se tx completamente (faltan paquetes por tx)
  Wait MARCO milisegundos
  Espera el tiempo que dura el Marco para tx nuevamente en la misma ranura asignada
  Regardless
Loop
  Libera recurso completamente y se deja disponible a cualquier otra petición
  Let RANS DAMA(AP) = 0
  Let AP MARCO (APM) = AP MARCO(APM)+1
  * Se espera el tiempo de PRODUCCION al menos para el último paquete del mensaje
  Wait PRODUCCION milisegundos
  * Se garantiza el tiempo de trans de todos los paquetes tx
tx De esta forma
--
NUM PAQ REC es un contador de mensajes rechazados al no poder el sistema asignarle una ranura, debido a la saturación del medio
--
If I
  Let NUM PAQ REC(NODO) = NUM PAQ REC(NODO)+1
  If MSG DAMA(NODO) = 0
    Let MSG REC INESTABILIDAD = MSG REC INESTABILIDAD + 1
  Regardless
Always

```

End " Fin del Envío de datos por DAMA

DESPLEGAR.GRABAR

" DESPLEGAR.GRABAR es un procedimiento que despliega una ventana tipo Windows solicitando el nombre del archivo donde se grabaron los parámetros que definen el modelo DAMA-Mona-R. El nombre se obtiene en la variable NOMBRE.ARCHIVO, abre el archivo para escritura y manda llamar al procedimiento GRABAR.

Routine DESPLEGAR.GRABAR

Define FORMA as a pointer variable

Define ACCION as a text variable

Define NOMBRE.ARCHIVO as a text variable

Show FORMA with "grabar.frm"

Let ACCION = accept R(FORMA,0)

Let NOMBRE.ARCHIVO = dval ardfield R("NOMBRE",FORMA)

Select case ACCION

case "BIEN"

Open 2 for output name = NOMBRE.ARCHIVO

Use 2 for output

Call GRABAR

Close 2

Case "CANCELAR"

End select

End " Fin del procedimiento DESPLEGAR.GRABAR

Muestra ventana

Selecciona campo de entrada de datos en la ventana

Obtiene nombre del archivo

Abre archivo para escritura

Manda llamar procedimiento GRABAR

No hace nada el sistema en caso de cancelar

DESPLEGAR.CARGAR

" El procedimiento DESPLEGAR.CARGAR, muestra la ventana para la captura del nombre del archivo del modelo a simular previamente grabado en este mismo sistema.

Routine DESPLEGAR.CARGAR

Define FORMA as a pointer variable

Define ACCION as a text variable

Define NOMBRE.ARCHIVO as a text variable

Show FORMA with "cargar.frm"

Let ACCION = accept R(FORMA,0)

Let NOMBRE.ARCHIVO = dval ardfield R("NOMBRE",FORMA)

Select case ACCION

case "BIEN"

Open 1 for input name = NOMBRE.ARCHIVO

Use 1 for input

Call CARGAR

Call DESTRUIR.ENTIDADES

Case 1

Case "CANCELAR"

End select

End " Fin de procedimiento DESPLEGAR.CARGAR

Muestra ventana CARGAR

Selecciona campo de entrada del nombre del archivo

Si se oprime BIEN el archivo de NOMBRE.ARCHIVO

Se abre para la lectura

Manda llamar el procedimiento CARGAR

DESTRUIR.ENTIDADES

" Procedimiento para destruir todos los recursos, conjuntos y limpiar banderas de arreglos de selección de ranuras.

Routine DESTRUIR.ENTIDADES

Define Las as an integer variable

" Para cada uno de los nodos en red, destruir proceso y elimina del conjunto

for each NODO in RED,

Do

Remove this NODO from the RED

Destroy THIS NODO

Endp

Para el contenido de los arreglos

Release RANS.ALPHA(*)

Release RANS.DAMA(*)

" Destruye los recursos o canales creados

Destroy each CANAL SENAL

Destroy each CANAL DAMA

End " Fin de procedimiento DESTRUIR.ENTIDADES

EJEMPLOS

" EJEMPLOS es un procedimiento que despliega una ventana explicando del modelo de red

" que definen los parámetros del ejemplo, los que son cargados y deja al sistema listo

" para empezar la simulación o sobre este modelo hacer modificaciones.

Routine EJEEMPLOS

Define FORMA as a pointer variable
Define CAMPO as a text variable

SHOW FORMA with "ejemplo fin"

Mostramos la ventana

Let CAMPO = ACCEPT E(FORMA,0)

"Obtiene la aprobacion de cargar los parametros"

*Carga todos los parametros que definen el modelo de red.

Let NUMNODOS = 10

Let TAZA MSG = 14.4

Let VFLC/TN = 56

Let PROPAGACION = 270

Let NUM RAN DAMA = 1

Let MIN TIEMPO RTX = 670

Let MAX TIEMPO RTX = 30*0

Let T MSG SOL = 50

Let T MSG DAMA = 256

Let T ENCABEZADOS = 23

Let T ENCABEZADOS DAMA = 23

Let MIN MSG DAMA = 1

Let MAX MSG DAMA = 1

Let TIEMPO SIMULADO = 3600

Let SEMILLA = 2

Let ED1 = 4

Let ED2 = 4

Let ED3 = 7

Let ED4 = 8

Let ES1 = 1

Let ES2 = 1

Let ES3 = 7

Let ES4 = 8

End *Ejemplo modelo de DAMA Aloha-R con 10 nodo items J Godoy*

GRABAR

*GRABAR es un procedimiento que escribe físicamente en la unidad y path por default,
cada uno de los parametros que definen un modelo de red bajo un protocolo DAMA aloha-R

Routine GRABAR

Cada uno de las variables se graba con un formato especifico, mismo se lee el archivo
cuando se desea cargar

Write NUMNODOS as I 5,

Write TAZA MSG as d(10,4),

Write VFLC/TN as d(10,4),

Write PROPAGACION as d(10,4),

Write NUM RAN DAMA as I 5,

Write MIN TIEMPO RTX as d(10, 0),

Write MAX TIEMPO RTX as d(10, 0),

Write T MSG SOL as I 5,

Write T MSG DAMA as I 5,

Write T ENCABEZADOS as I 5,

Write T ENCABEZADOS DAMA as I 5,

Write MIN MSG DAMA as I 5,

Write MAX MSG DAMA as I 5,

Write TIEMPO SIMULADO as I 5,

Write SEMILLA as I 5,

Write ED1 as I 5,

Write ED2 as I 5,

Write ED3 as I 5,

Write ED4 as I 5,

Write ES1 as I 5,

Write ES2 as I 5,

Write ES3 as I 5,

Write ES4 as I 5,

Write as

End *Final de procedimiento GRABAR

INICIALIZAR

*INICIALIZAR es un procedimiento para inicializar todas las variables, arreglos y recursos
utilizados en el sistema, ademas de calendarizar el primer proceso NODO y el REPORTE final

Routine INICIALIZAR

Define I as an integer variable

*Sentencias para poder trabajar con milisegundos por default

Let horas v = 1000

Let minutos v = 1000

*Tamano de la ramra de psheron

Let T RAN S = int (int T MSG SOL * T ENCABEZADOS * 8)

```

      (VELOC TX*1000)/(1000+0.10)
* Tamaño de la ramita de Datos
Let TRAN DAMA = int R( (T MSG DAMA + T ENCABEZADOS DAMA)*8)
      (VELOC TX*1000)/(1000+0.10)

Let NUM RAN AL = div (int (PROPAGACION)*TRAN SI
If (PROPAGACION)*TRAN SI > NUM RAN AL
  Let NUM RAN AL = NUM RAN AL + 1
Always
Reservar RANS ALOHA as NUM RAN AL
* Reservar memoria al arreglo RANS ALOHA

* SIMDAMA genera como medida de seguridad el número de marcos (de control de marcos) necesarios para cubrir
* todo el tiempo especificado por el usuario para PROPAGACION

Let I = NUM RAN DAMA*T TRAN DAMA
If I < PROPAGACION
  Let NUM MARCOS = 2
Else
  Let NUM MARCOS = int (PROPAGACION/I)
  If mod (PROPAGACION/I) > 0
    Let NUM MARCOS = NUM MARCOS + 1
  Repeatless
Always
Let TOTAL RAN = NUM RAN DAMA*NUM MARCOS
Let MARCO = T TRAN DAMA*NUM RAN DAMA

* Reservar memoria para los arreglos AP MARCO y RANS DAMA
Reservar AP MARCO as NUM MARCOS
Reservar RANS DAMA as TOTAL RAN

* Crear recurso CANAL SENAL

Let n CANAL SENAL = NUM RAN AL
Create array CANAL SENAL
* Número de servicios para recurso CANAL SENAL
* Crear recurso CANAL SENAL

* Inicializa para cada tipo de servicios el número de servidores
For I = 1 to NUM RAN AL
  Do
    Let n CANAL SENAL(I) = 1
  Loop
  * Un servidor por tipo de servicio

* Crear recurso CANAL DAMA

Let n CANAL DAMA = TOTAL RAN
Create array CANAL DAMA
* Número de servicios para recurso CANAL DAMA
* Crear recurso CANAL DAMA

* Inicializa para cada tipo de servicios el número de servidores
For I = 1 to TOTAL RAN
  Do
    Let n CANAL DAMA(I) = 1
  Loop
  * Un servidor por tipo de servicio

* Calendrar los procesos de REPORTE y GENERADOR DE NODOS
Activar a REPORTE en TIEMPO SIMULADO segundos
Activar a NODO GENERADOR new
End Fin del procedimiento INICIALIZAR

```

LIMPIAR PARAMETROS

* LIMPIAR PARAMETROS es un procedimiento para inicializar en cero todas las variables globales del sistema para permitir la simulación de otro modelo

Return LIMPIAR PARAMETROS

```

Let NUM NODOS = 0
Let LAZA MSG = 0
Let VELOC TX = 0
Let PROPAGACION = 0
Let NUM RAN DAMA = 0
Let MIN TIEMPO RTN = 0
Let MAX TIEMPO RTN = 0
Let T MSG SOL = 0
Let T MSG DAMA = 0
Let T ENCABEZADOS = 0
Let T ENCABEZADOS DAMA = 0
Let MIN MSG DAMA = 0
Let MAX MSG DAMA = 0
Let TIEMPO SIMULADO = 0
Let SEMILLA = 0
Let FD1 = 0
Let FD2 = 0
Let FD3 = 0
Let FD4 = 0
Let FN1 = 0

```



```
Let ES2 = 0
Let ES3 = 0
Let ES4 = 0
End " Fin de limpieza de parámetros
```

MENUBAR.CTL

"MENUBAR.CTL: procedimiento para el manejo del menú principal, la conexión y ejecución de los procedimientos solicitados a través del menú.

Require MENUBAR.CTL, Given FIELD ID and FORM Yielding STATUS
 Define FIELD ID as text variable
 Define FORM as pointer variable
 Define STATUS as integer variable

```
IFIELDID eq "MENU"  
  Let FIELDID = DIVAL AC(DFIELD.F("MENU",FORM))  
EndIf
```

"Espera una selección realizada por el usuario usando el Mouse y guardando el identificador del campo seleccionado en FIELD ID

" ANF del menú principal donde se manda ejecutar el procedimiento seleccionado

```
Select case FIELD ID  
  Case "INITIALIZE"  
    Case "BACKGROUND"  
      Let DIVAL AC(DFIELD.F("MENU",FORM)) = 0  
      Display (DFIELD.F("MENU",FORM))  
    Case "SALIR"  
    Case "EXIT"  
      Let STATUS = 1  
    Case "MODELOS"  
    Case "SIMULACION"  
    Case "AYUDA"  
    Case "NODOS"  
      Call OBTENER.NODO  
    Case "ENLACE"  
      Call OBTENER.ENL  
    Case "MENSAJES"  
      Call OBTENER.SEN  
      Call OBTENER.DAT  
    Case "PARAMETROS"  
      Call OBTENER.SIM  
    Case "INICIA"  
      If (verificar0) eq 1  
        Let STATUS = 0  
      Else  
        Call DESTRUIR.ENTIDADES  
        Let STATUS = 1  
      Always  
    Case "VERIFICAR"  
      If (verificar1) eq 1  
        Let STATUS = 1  
      Regardless  
    Case "NUEVO"  
      Call DESTRUIR.ENTIDADES  
      Call LIMPIAR.PARAMETROS  
    Case "EJEMPLOS"  
      Call EJEMPLOS  
    Case "CARGAR"  
      Call DESPLEGAR.CARGAR  
    Case "GRABAR"  
      Call DESPLEGAR.GRABAR  
Default  
  EndSelect
```

"Cuando STATUS sea igual a 1 se cierra el sistema

"Manda llamar proc: OBTENER.NODO

"Manda llamar proc: OBTENER.ENL

"Manda llamar proc: OBTENER.SEN

"Manda llamar proc: OBTENER.DAT

"Manda llamar proc: OBTENER.SIM

"Manda llamar proc: DESTRUIR.ENTIDADES

"Manda llamar proc: LIMPIAR.PARAMETROS

"Manda llamar proc: DESPLEGAR.CARGAR

"Manda llamar proc: DESPLEGAR.GRABAR

End " Fin de procedimiento MENUBAR.CTL

MENUPROC

"Procedimiento para repetir el número de experimentaciones que se necesitan sin tener que volver a conectar de nuevo el sistema

Require MENUPROC
 Define ACTION as text variable
 Define MENU as pointer variable

```
Until ACTION eq "EXIT"  
Do  
  Show MENU with "menu prin"  
  Let ACTION = accept (MENU/MENUBAR.CTL)  
  Select case ACTION  
    Case "INICIA"  
      Call INICIALIZAR
```

"Muestra el menú principal

"Una vez seleccionada una opción se determina el accionar en el

"proc: MENUBAR.CTL

```

      Start Simulation
      Call DESTRUIR.ENTIDADES
      Case "EXIT"
      Stop
      Default
      Endselect
    Loop
  End " Fin de procedimiento MENUPROC

```

* Inicia la simulación
* Se para el proceso de simulación

MUESTRA.ERROR

MUESTRA.ERROR es un procedimiento para mostrar una ventana con los errores que los parámetros del module tenga

```

Routine MUESTRA.ERROR given ERROR
  Define ERROR as a text variable
  Define FORM PTR as a pointer variable
  Define FIELD ID as a text variable

```

SHOW FORM PTR with "error form"

* Muestra ventana ERROR

```

  LETVAL(A,DFIELD F("errors", FORM PTR)) = ERROR
  LET FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0)
End " Final de MUESTRA.ERROR

```

* Inserta el String de error en la ventana
* Muestra la ventana hasta que se opriman any MEN

OPERACIÓN.NODO

El proceso NODO cada determinado tiempo (depende de la tasa de inter. ARRIBO) manda llamar al procedimiento OPERACION NODO cuya función es representar la tx de un mensaje de petición a través canal Aloha-R.

```

Process NODO
  Local time v = TIEMPO SIMULADO
  Do
    CALL OPERACION NODO giving 0 and 0
    Wait exponential (TAZA.MSG.SEMILLA) SEGUNDOS
  Loop

```

Repite mientras el tiempo de simulación sea menor tiempo total de simulación
* Bandera apagada (en mensaje por TX, PAQ)
* Espera generada para volver al ARRIBO (en mensaje)

End " Final del procedimiento NODO

NODO.GENERADOR

NODO.GENERADOR es un proceso que activa todos los nodos de una red cada $\frac{1}{\text{propagacion}}$ como una ramita para disminuir la inestabilidad inicial del sistema. Una vez activado el proceso NODO este tendrá independencia total de este proceso

```

Process NODO GENERADOR
  Define i as an integer variable

```

```

  Activar n nodos que componen la red
  For i = 1 to N NODOS
  Do

```

```

    Activar a NODO giving i now
    Put this NODO in RED
    Wait TRAN S milisegundos
  Loop

```

* Activa proceso NODO dando su identificador
* Inserta el proceso NODO en el conjunto llamado RED
* Espera a la siguiente ramita para volver a generar otro nodo

End " Final de NODO.GENERADOR

OBTENER.ENL

OBTENER.ENL procedimiento para desplegar la ventana ENLACE con los datos actuales de estas variables y al mismo tiempo poder modificarlos

```

Routine OBTENER.ENL
  Define FORM PTR as a pointer variable
  Define FIELD ID as a text variable

```

SHOW FORM PTR with "enlace form"

* Muestra ventana ENLACE

Cargar los campos de la ventana ENLACE con los valores correspondientes a las variables globales que representan

```

  DOVAL(A,DFIELD F("velocidad", FORM PTR)) = VELC.TX
  DOVAL(A,DFIELD F("propagacion", FORM PTR)) = PROPAGACION
  DOVAL(A,DFIELD F("ramuras", FORM PTR)) = NUMRAMADA
  DOVAL(A,DFIELD F("ack", FORM PTR)) = MIN.TIEMPO.RTX
  DOVAL(A,DFIELD F("rx", FORM PTR)) = MAX.TIEMPO.RTX

```

LET FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0)

* Permite modificar los valores de la ventana ENLACE

* Cambia los valores en los campos de la ventana a las variables correspondientes

```
Let VELOC TX = DDVAL A(DFIELD F("velocidad", FORM PTR))
Let PROPAGACION = DDVAL A(DFIELD F("propagacion", FORM PTR))
Let SUM RAN DAMA = DDVAL A(DFIELD F("ranuras", FORM PTR))
Let MIN TIEMPO RTX = DDVAL A(DFIELD F("ack", FORM PTR))
Let MAX TIEMPO RTX = DDVAL A(DFIELD F("rx", FORM PTR))
End * Final de obtencion de datos de ENLACE
```

OBTENER.SEM

.....
 * OBTENER.SEM procedimiento para desplegar la ventana SEÑALIZACION con los datos
 actuales de estas variables y al mismo tiempo poder modificarlos.

Routine OBTENER.SEM

Define FORM PTR as a pointer variable
 Define FIELD ID as a text variable

* Muestra la ventana de SEÑALIZACION
 SHOW FORM PTR with "Señalización.frm"

* Cargar los campos de la ventana SEÑALIZACION con los valores correspondientes
 a las variables globales que representan.

```
DDVAL A(DFIELD F("tamper", FORM PTR)) = T MSG SOL
DDVAL A(DFIELD F("preambulo", FORM PTR)) = ES1
DDVAL A(DFIELD F("guarda", FORM PTR)) = ES2
DDVAL A(DFIELD F("encred", FORM PTR)) = ES3
DDVAL A(DFIELD F("encend", FORM PTR)) = ES4
```

Let FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0)

* Permite modificar los valores de la ventana SEÑALIZACION

* Cambia los valores en los campos de la ventana a las variables correspondientes

```
Let T MSG SOL = DDVAL A(DFIELD F("tamper", FORM PTR))
Let ES1 = DDVAL A(DFIELD F("preambulo", FORM PTR))
Let ES2 = DDVAL A(DFIELD F("guarda", FORM PTR))
Let ES3 = DDVAL A(DFIELD F("encred", FORM PTR))
Let ES4 = DDVAL A(DFIELD F("encend", FORM PTR))
```

Let ENCABEZADOS = ES1+ES2+ES3+ES4

End * Final de obtencion de datos para paquenzación de mensaje de peticion

OBTENER.DAT

.....
 * OBTENER.DAT procedimiento para desplegar la ventana DAMA con los datos
 actuales de estas variables y al mismo tiempo poder modificarlos.

Routine OBTENER.DAT

Define FORM PTR as a pointer variable
 Define FIELD ID as a text variable

SHOW FORM PTR with "Datos.frm"

* Muestra ventana DAMA

* Cargar los campos de la ventana DAMA con los valores correspondientes
 a las variables globales que representan.

```
DDVAL A(DFIELD F("andad", FORM PTR)) = T MSG DAMA
DDVAL A(DFIELD F("predat", FORM PTR)) = ED1
DDVAL A(DFIELD F("guadat", FORM PTR)) = ED2
DDVAL A(DFIELD F("encredat", FORM PTR)) = ED3
DDVAL A(DFIELD F("encendat", FORM PTR)) = ED4
DDVAL A(DFIELD F("mranuras", FORM PTR)) = MIN MSG DAMA
DDVAL A(DFIELD F("maxranuras", FORM PTR)) = MAX MSG DAMA
```

Let FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0)

* Permite modificar los valores de la ventana DAMA

* Cambia los valores en los campos de la ventana a las variables correspondientes

```
Let T MSG DAMA = DDVAL A(DFIELD F("andad", FORM PTR))
Let ED1 = DDVAL A(DFIELD F("predat", FORM PTR))
Let ED2 = DDVAL A(DFIELD F("guadat", FORM PTR))
Let ED3 = DDVAL A(DFIELD F("encredat", FORM PTR))
Let ED4 = DDVAL A(DFIELD F("encendat", FORM PTR))
Let MIN MSG DAMA = DDVAL A(DFIELD F("mranuras", FORM PTR))
Let MAX MSG DAMA = DDVAL A(DFIELD F("maxranuras", FORM PTR))
```

Let ENCABEZADOS DAMA = ED1+ED2+ED3+ED4

End * Final de obtencion de datos PARA mensaje de dama

OBTENER.SIM

 "OBTENER.SIM procedimiento para desplegar la ventana SIMULACION con los datos
 " actuales de estas variables y al mismo tiempo poder modificarlos

Routine OBTENER.SIM

Define FORM PTR as a pointer variable
 Define FIELD ID as a text variable

SHOW FORM PTR with "similar.frm" " Muestra ventana SIMULACION

"Cargar los campos de la ventana SEÑALIZACION con los valores correspondientes
 " a las variables globales que representan

DDVAL A:DDFIELD F("tiempo", FORM PTR) = TIEMPO SIMULADO
 DDVAL A:DDFIELD F("semilla", FORM PTR) = SEMILLA

Let FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0) " Permite modificar los valores de la ventana SIMULACION

"Cambia los valores en los campos de la ventana a las variables correspondientes

SEMILLA = DDVAL A:DDFIELD F("semilla", FORM PTR)
 TIEMPO SIMULADO = DDVAL A:DDFIELD F("tiempo", FORM PTR)
 End " Fin del procedimiento OBTENER.SIM

OBTENER.MODO

 "OBTENER.MODO procedimiento para desplegar la ventana NODO con los datos
 " actuales de estas variables y al mismo tiempo poder modificarlos

Routine OBTENER.NODO

Define FORM PTR as a pointer variable
 Define FIELD ID as a text variable

SHOW FORM PTR with "nodo.frm" " Muestra la ventana NODO

"Cargar los campos de la ventana NODO con los valores correspondientes
 " a las variables globales que representan

DDVAL A:DDFIELD F("nodos", FORM PTR) = NUM NODOS
 DDVAL A:DDFIELD F("taza", FORM PTR) = TAZA MSG

Let FIELD ID = ACCEPT F(FORM PTR,0) " Permite modificar los valores de la ventana NODO

"Cambia los valores en los campos de la ventana a las variables correspondientes

NUM NODOS = DDVAL A:DDFIELD F("nodos", FORM PTR)
 TAZA MSG = DDVAL A:DDFIELD F("taza", FORM PTR)
 End " Final de obtencion de datos para los NODOS

OPERACIÓN.NODO

 "OPERACION NODO es el procedimiento que simula la transferencia de un mensaje
 " a través de un canal Aloha-R, tiene los parametros de entrada de no. de RTX de
 " un mensaje y el tiempo del primer ARRIBO para tomar el tiempo de retardo

Routine OPERACION NODO given RTX and MSG ORIGINAL

Define TEMP,RTX and AP as an integer variables
 Define MSG ORIGINAL,ESPERAR and ARRIBO as double variable

" Especifica principio de Kanura

Let ARRIBO = time a(NODO)*1000
 Let ESPERAR = T RAN Sin mod f(ARRIBO,T RAN,S)
 Wait ESPERAR milisegundos

"Calcula el tiempo de espera
 " al principio de la ramita siguiente

" Si RTX = 0, significa que el mensaje intenta ser tx por la vez y se toma estadística
 If RTX = 0

Let NUM PAQ(NODO)=NUM PAQ(NODO)+1
 Let MSG ORIGINAL = (ARRIBO/1000)

Else

Let PAQ RTX(NODO) = PAQ RTX(NODO)+1

" Incrementa el numero de intentos de tx al mensaje

Always

" Se obtiene el numero de la ramita actual donde se intenta tx el mensaje

Let AP = APUNTADOR RAMURA(ARRIBO-ESPERAR,T RAN,S,NUM RAN ALI
 Let RAN S ALOHA(AP)=RAN S ALOHA(AP)+1

" Incrementa el numero de mensajes que intentan tx en la AP ramita

" Si la ramita actual es igual a 1 significa que no existe colision en la tx

If RAN S ALOHA(AP) = 1

Request 1 CANAL SENAL(AP)
 Wait PROPAGACION milisegundos
 Release 1 CANAL SENAL(AP)
 Let TEMP = RAN S ALOHA(AP)

" El mensaje es tx al tomar el CANAL SENAL

" El mensaje esta siendo tx

" El mensaje libera el CANAL SENAL al arribar al nodo destino

" Se conserva el valor de contador de mensajes en ramitas

```

Let RANS ALOHA(P) = 0                                     * Se inicializa en cero la ranura al no estar ocupada por el espacio

If TEMP > 1                                                * Si es >1. Al menos hubo una colision
    Let MAX COL = TEMP
    Repeat 5 times
        Wait uniform (MIN TIEMPO RTX,MAX TIEMPO RTX,SEMILLA) PROPAGACION (milisegundos)
        Call OPERATION NODO giving RTX=1 and MSG ORIGINAL    * Bandera prendida PAQ RTX
    Else
        If MAX RTX PAQ < RTX                                  * PAQ arribó a una ranura Ocupada
            Let MAX RTX PAQ = RTX                             * Obtiene el maximo global de RTX
        Repeat 5 times

Obtener los tiempos de retardo de transmision de cada nodo
    Let RET TX AL NODO = RET TX AL NODO + time v MSG ORIGINAL
    Call DAMA giving time v                                    * Manda llamar procedimiento de tx por canal DAMA
    Always
    Return

End * Fin de Rutina OPERATION NODO

```

REPORTE

```

*****
RTP REPTE como su nombre lo indica genera el reporte de salida y colecta
la estadística generada durante el proceso de simulacion
*****

Process REPORTE
    DeEne N PAQS,N RTXs and N DAMA as real variables
    DeEne N RET AL,N RET DAMA,N PAQ REC,
        C E AL and C E DA as real variables

    Imprime encabezado principal
    Print 5 lines thus

*****
                                REPORTE FINAL (DAMA ALOHA-RAN)
*****

Repta para cada nodo en RED imprimiendo los datos de cada nodo y acumulando
los resultados para obtener los promedios
For each NODO in RED
    Do
        Print 2 lines with NODO (IDNODO),NUM PAQ(NODO),PAQ RTX(NODO),
            MSG DAMA(NODO),RET TX AL(NODO),RET TX DAMA(NODO) and NUM PAQ REC(NODO) thus
        NODO_*** -- PAQS = ***** -- RTXs = ***** -- DAMA = ***** --
        RET AL ***** (MSG) RET DAMA = ***** (MSG) PAQs REC *****

        Let N PAQS = N PAQS + NUM PAQ(NODO)
        Let N RTXs = N RTXs + PAQ RTX(NODO)
        Let N DAMA = N DAMA + MSG DAMA(NODO)
        Let N RET AL = N RET AL + RET TX AL(NODO)
        Let N RET DAMA = N RET DAMA + RET TX DAMA(NODO)
        Let N PAQ REC = N PAQ REC + NUM PAQ REC(NODO)
    Loop

    Let C E AL = (N PAQS*TRAN SI (TIEMPO SIMULADO*1000)
    Let C E DA = (N DAMA*TRAN DAMA) (TIEMPO SIMULADO*1000)

    * Obtiene Caudal Eficaz (Utilizacion) del canal Aloha-R
    * Obtiene Caudal Eficaz (Utilizacion) del canal TDMA

    Let N RET AL = N RET AL / N PAQS
    Let N RET DAMA = N RET DAMA / N DAMA

    * Retardo Promedio del canal Aloha-R
    * Retardo Promedio del canal TDMA

    * Imprime los totales
    Print 12 lines with N PAQS, N RTXs, N DAMA, N PAQ REC,MSG REC INESTABILIDAD,N RET AL,N RET DAMA
        and N RET AL / N RET DAMA thus

*****
                                TO T A L E S *****
*****
PAQ ETES *****
PAQ ETES COLISIONADOS => *****
PAQ ETES ENVIADOS POR EL CANAL DAMA => *****
PAQ ETES POR CANAL DAMA RECHAZADOS => *****
PAQ ETES POR CANAL DAMA RECHAZADOS POR INESTABILIDAD => *****
TIEMPO DE RETARDO DE TRANSMISION Aloha => *****
TIEMPO DE RETARDO DE TRANSMISION DAMA => *****
TIEMPO DE RETARDO DE TRANSMISION DAMA/Aloha => *****
*****

* Imprime maximos
Print 7 lines with MAX RTX,PAQ,MAX COL thus

```

MANEJAMOS =>

RETRANSMISIONES DE UN PAQ => *****
MÚLTIPLES COLISIONES (PAQS) => *****

* Imprime Caudal Eficaz por Canal.
Print Times with CE AL and CE DA thus
Caudal Eficaz del Canal Aloha *****
Caudal Eficaz del Canal TDMA *****

Red as
End - - - - - Final del REPORTE

VERIFICAR

VERIFICAR genera una ventana por cada ERROR detectado en los parámetros suministrados para definir el modelo

Routine VERIFICAR given OP
Define ERROR as a text variable
Define Imin and OP as a integer variable

Let ERROR = "Modelo listo para << SIMULAR>>"

* No se puede simular una red sin nodos
IF (NUM NODOS < 1)
Let ERROR = "ERROR 1 - Numero de nodos debe ser > 0"
Let Imin = 1
Repeatless

* La tasa de inter-ARRIBO debe ser mayor de 0
IF (TAXA MSG < 0)
Let ERROR = "ERROR 2 - Taza de inter-ARRIBO debe ser > 0"
Let Imin = 1
Repeatless

* La velocidad de transmision debe mayor de 1, preferentemente los comunmente utilizados.
IF (VELOC TX < 1)
Let ERROR = "ERROR 3 - Velocidad de Tx debe ser mayor de 0 (50, 9 o 0.1, 1)"
Let Imin = 1
Repeatless

* Propagacion debe ser mayor de 1 milisegundo
IF (PROPAGACION < 1)
Let ERROR = "ERROR 4 - El tiempo de propagacion debe ser > 0"
Let Imin = 1
Repeatless

El numero de ramitas del canal TDMA debe ser al menos 1
IF (NUM RAMAN DAMA < 1)
Let ERROR = "ERROR 5 - Numero de ramitas debe ser > 0"
Let Imin = 1
Repeatless

* Verificar valores apropiados para minimos y maximos.
IF (MIN TIEMPO RTX < 1) OR (MAX TIEMPO RTX < 1) OR (MIN TIEMPO RTX > MAX TIEMPO RTX)
Let ERROR = "ERROR 6 - Verificar tiempos de RTX (min y max)"
Let Imin = 1
Repeatless

El tamaño del mensaje de señalizacion debe ser menor al de bytes utiles del mensaje de datos
IF (T MSG SOL < 1) OR (T MSG DAMA < 1) OR (T MSG SOL > T MSG DAMA)
Let ERROR = "ERROR 7 - Verificar tamaños de mensajes y proporciones"
Let Imin = 1
Repeatless
IF (MIN MSG DAMA < 1) OR (MAX MSG DAMA < 1) OR (MIN MSG DAMA > MAX MSG DAMA)
Let ERROR = "ERROR 8 - Verificar min y max de ramitas que pueden ser reservadas (>0)"
Let Imin = 1
Repeatless

* El tiempo de simulacion debe ser mayor de 1 segundo.
IF (TIEMPO SIMULADO < 1)
Let ERROR = "ERROR 9 - Tiempo de SIMULACION debe ser > 0 (segundos)"
Let Imin = 1
Repeatless

* El rango de semillas esta entre 1 y 20
IF (SEMILLA < 1) OR (SEMILLA > 20)

```

    Let ERROR = "ERROR 10" La SEMILLA debe estar en un rango de [1 a 20]
    Let fan = 1
    Regardless
    * switchgo para determinar si la verificación se realiza desde el verificar
    * o desde el menú Inicia Simulación en cuyo caso y no habiendo errores no debe desplegar
    * ventanas
    If (fan eq 1) OR (OP eq 1)
        Goto MUESTRA_ERROR giving ERROR
    Regardless
    Return (fan)
End * Detectar errores (VERIFICAR)

```

FIN DEL CÓDIGO FUENTE.

GLOSARIO

ACK	ACKnowledge (mensaje de reconocimiento)
CE	Caudal Eficaz
COMNET	COMunication NETworks (Redes de Comunicación)
COMSAT	COMmunications SATellite corporation (Corporación de Comunicaciones Satelitales)
CR	Contador de Ranuras
CTS	Communications Test Satellite
DAMA	Demand Assigned Multiple Access (Acceso Múltiple de Asignación por Demanda)
EncE	Encabezado de Enlace
EncR	Encabezado de Red
ES	Enlace Satelital
ESA	Europe Space Agency (Agencia Europea del Espacio)
ET	Estación Terrena
FDMA	Frequency Division Multiple Acces (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)
FIFO	First Input First Output (Primero en Entrar Primero en Salir)
GEO	GEOestacionarias
HUB	Estación Maestra
IF	Frecuencia Intermedia

GLOSARIO (Continuación)

INTELSAT	International TELEcommunications SATellite consortium (Consortio Internacional de Telecomunicaciones satelitales)
ISO	International Standards Organization (Organización Internacional de Estándares)
LAN	Local Area Networks (Red de Área Local)
LEO	Low Earth Orbit (Órbita Baja)
LPOO	Lenguaje de Programación Orientada a Objetos
LSOC	Lenguaje de Simulación Orientado a Comunicaciones
LSPG	Lenguaje de Simulación de Propósito General
MAC	Medio Access Control (Control de Acceso al Medio)
MarcoR	MarcoR
MAX.MSJ.DAMA	Máximo de MenSaJes DAMA
MAX.TIEMPO.RTX	Tiempo máximo de RTx
MCPC	Múltiples Canales Por Portadora
MIN.MSJ.DAMA	Mínimo de MenSaJes DAMA
MIN.TIEMPO.RTX	Tiempo mínimo para RTx
MsgHUB	Mensaje enviado a la estación maestra (HUB)
MSJ	Mensaje
NASA	National Aeronautics and Space Administration
nET	Número de ET del sistema

GLOSARIO (Continuación)

nM	Número de Mensajes
nMt	Número de Mensajes total
NRTx	Número de procesos de RTx por ET
NUM.NODOS	NÚMero de NODOS de una red de comunicaciones
NUM.RAN.DAMA	NÚMero de RANuras por marco DAMA
OSI	Open System Interconnection (Sistema Abierto de Interconexión)
PaqPet	Paquete Petición
PC	Personal Computer (Computadora Personal)
PCM	Pulse Coding Modulation (Modulación de Pulsos Codificados)
PM	Preámbulo de adquisición del modem
R	Retardo
RAM	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
RandD	Ranura de Datos
RF	Radio Frecuencia
RMD	Radio Microondas Digital
RP	Retardo Promedio
RTx	Retransmisión
SAT	Satélite
SCPC	Single Channel Per Carrier (Canal Único por Portadora)

GLOSARIO (Continuación)

SIMDAMA	Simulador de DAMA
SIMSCRIPT	SIMulation SCRIPT (Simulación escrita)
SOC	Simulador Orientado a Comunicaciones
SPADE	Equipo de Multiacceso por Demanda PCM de Canal Único por Portadora
SS	Sistemas satelitales
SSC	Simulación de Sistemas de Comunicaciones
T.ENCABEZADOS	Total de ENCABEZADOS
T.ENCABEZADOS.D	Total de ENCABEZADOS de mensaje DAMA
AMA	
T.MSJ.DAMA	Tamaño del MenSaJe de datos DAMA
T.MSJ.SOL	Tamaño del MenSaJe de SOLicitud
TA	Tiempo de Arribo
TAZA.MSJ	TAZA de inter-arribo de MenSaJes
TDMA	Time Division Multiple Access (Acceso Multiple por División de Tiempo)
TENC	Total de ENCabezados
TI	Tiempo de Inter-arribo
TM	Tamaño del Mensaje
TmaxE	Tiempo máximo de Espera

GLOSARIO (Continuación)

TminE	Tiempo mínimo de Espera
TP	Tiempo de Propagación
TS	Tiempo de Simulación
TTC	Estación de Trayectoria-Telemetría y Comandos
TTx	Tiempo de Tx
TU	Tiempo útil del canal
Tx	Transmisión
USAT	Ultra Small Aperture Terminals (Terminales de Apertura Ultra Pequeña)
Util	Utilización
VELC.TX	VELCidad de Tx
VSAT	Very Small Aperture Terminals (Terminales de Apertura Muy Pequeña)
VT	Velocidad de Transmisión
WAN	Wide Are Networks (Red de Área Amplia)