

DISEÑO DE UNA RED DE RADIOCOMUNICACIÓN
TRONCALIZADA, EN 800MHz CON TECNOLOGÍA
ESAS DE UNIDEN

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Electrónica

DISEÑO DE UNA RED DE RADIOCOMUNICACIÓN
TRONCALIZADA, EN 800MHz CON TECNOLOGÍA

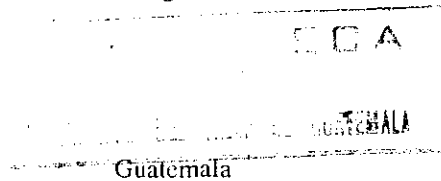
ESAS DE UNIDEN

WALTER RAÚL BARATTO ELLGUTTER

Trabajo de graduación presentado para optar

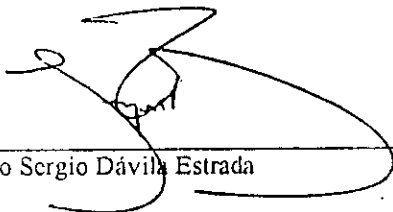
al grado académico de

Licenciatura en Ingeniería Electrónica

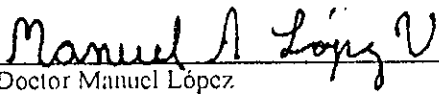


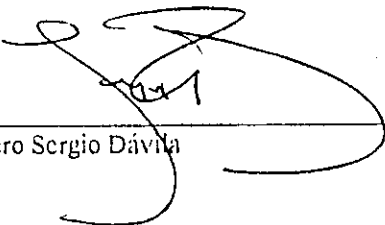
1998

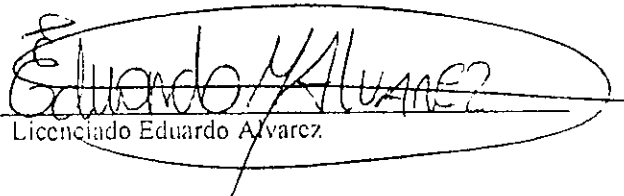
Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero Sergio Dávila Estrada
Asesor

Tribunal :

(f) 
Doctor Manuel López

(f) 
Ingeniero Sergio Dávila

(f) 
Licenciado Eduardo Alvarez

Fecha de aprobación: 6 de noviembre de 1998.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Reseña histórica	3
B. Transmisión de señales vía radio	5
C. Asignaciones de la FCC para 800 MHz	6
D. Asignaciones de la FCC para 900 MHz	8
E. Reguierimientos de carga en los canales según FCC	9
F. Interconexión telefónica y transmisión de datos según FCC	10
G. Banda de 800 MHz en Guatemala	10
H. Troncalización automática	11
I. Métodos de control de troncalización	13
J. Métodos de acceso al sistema de los transreceptores	13
K. Procesos estocásticos y markovianos	14
L. Procesos markovianos y poissonianos de nacimiento-muerte	15
M. Sistemas de líneas de espera	17
N. Sistemas M/M/s/infinito/SIRO	19
Ñ. Sistemas M/M/s/s	21
O. Sistemas LTR (Logic Trunked Radio)	21
P. Señalización de datos repetidora-móvil en LTR	22
Q. Formato de los mensajes de datos móvil-repetidora en LTR	23
R. Sistema de comunicación ESAS	25
S. Componentes de sistema ESAS	30
III. OBJETIVOS	33
IV. MÉTODOS DE TRABAJO	35

CONTENIDO

	Página
A. Estudio de tráfico de llamadas	35
B. Función de probabilidad del tiempo para la desocupación de la primera repetidora	46
C. Sitios de repetición	48
D. Recomendaciones para la elección de un sitio de repetición en 800 MHz	50
E. Torres	55
F. Recomendaciones para la caseta de repetición	55
G. Tierras en sitios de repetición	57
H. Sistemas de antenas	60
I. Enlaces	67
J. Línea de vista y área despejada necesaria para enlaces de microonda	67
K. Presupuesto de enlaces punto-punto	69
L. Presupuesto de enlaces punto-multipunto	70
M. Enlaces para una red ESAS	71
N. Formas de localización de un radio en la red	72
Ñ. Establecimiento de umbrales de cambio de celda	73
O. Interferencias	74
P. Mediciones regulares del sistema	77
Q. Reutilización de frecuencias	78
V. CÁLCULOS Y RESULTADOS	79
A. Introducción	79
B. Elección de sitios de repetición	82
C. Establecimiento del número de canales por sitio	87
D. Enlaces de voz y de datos	88

CONTENIDO

	Página
E. Equipo de antenas, torres y casetas	95
F. Reutilización de frecuencias	97
G. Umbrales de cambio de celda	98
H. Requerimientos de área despejada para los enlaces de microonda	99
I. Niveles de recepción	100
J. Configuración del sistema con carga dinámica	104
K. Facturación	104
L. Estudio de factibilidad del sistema	105
VI. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TENDENCIAS FUTURAS	111
VII. BIBLIOGRAFÍA	115
APÉNDICES	
A. Programa de computación en Quick Basic para el cálculo de los parámetros del tráfico en un sistema de comunicación troncalizado	117

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

	Tabla	Página
5.1	Número de clientes de radio y telefonía, por región geográfica	80
5.2	Número de usuarios y de repetidoras necesarias por sitio	88
5.3	Valores para el radio del área libre recomendable en los enlaces de Microonda, calculados para el punto medio de los mismos	99
5.4	Niveles de recepción estimados para los enlaces de microonda	101
5.5	Niveles de recepción del sistema ESAS en los sitios del Volcán de Agua Y Siete Orejas, estimados para diversas ciudades del país	102
5.6	Niveles de recepción del sistema ESAS en los sitios del Cerro Alux, Tiquisate, San Lorenzo y Las Escobas, estimados para diversas ciudades del país	103
5.7	Infraestructura y materiales necesarios para el sistema ESAS de cobertura nacional	106
5.8	Equipo de comunicaciones para el sistema ESAS de cobertura nacional	107
Gráfica		
2.1	Función con decaimiento exponencial	16
4.1	Diagrama de flujo para el cálculo de parámetros de tráfico	42
5.1	Cobertura deseada del sistema troncalizado	81
5.2	Ubicación de sitios de repetición	86
5.3	Enlaces de voz vía microonda	93
5.4	Enlaces de datos	94

I. INTRODUCCIÓN

La troncalización es un concepto utilizado en comunicaciones que implica que un gran número de usuarios puede ser atendido por un pequeño número de troncales, de manera que cada usuario pueda utilizar cualquier canal disponible. Este concepto puede ser aplicado a radiocomunicación debido a que típicamente los usuarios de un sistema lo utilizan sólo una pequeña parte del tiempo, y un número grande de usuarios no lo usan al mismo tiempo. El sistema ESAS (Extended Sub - Audible Signaling), de UNIDEN es un sistema troncalizado que ofrece una serie de sofisticados servicios que permiten crear una red más eficiente.

En este trabajo se hace un estudio de tráfico de llamadas (telefónicas y radio-radio), para sistemas de radiocomunicaciones troncalizadas. Además, se dan parámetros y recomendaciones importantes para instalar o ampliar sistemas de uno o varios sitios. Por último se diseña un sistema ESAS con cobertura en las zonas más importantes del país.

II. ANTECEDENTES

A. Reseña histórica

A fines del siglo XV, el gran imperio de los incas se extendía desde el norte del Perú hacia el sur, hasta el noroeste de la Argentina: una distancia de casi tres mil kilómetros. Aunque los incas no tenían escritura propiamente dicha, habían llegado a construir un notable sistema de comunicaciones que incluía maravillosos caminos, puentes y albergues, más un sistema de rápidos mensajeros. En relevos de aproximadamente una milla cada uno, estos mensajeros podían cubrir casi 300 kilómetros por día, distancia que luego los conquistadores españoles tardarían casi dos semanas en recorrer.

El monarca inca Huayna Cápac extendió aún más los límites del imperio cuando añadió al mismo lo que ahora es Ecuador y gran parte del norte de Chile, así como una extensión mayor del noroeste de Argentina. Para entonces el imperio tenía ya más de 3,500 kilómetros de longitud y casi mil de ancho, siendo así uno de los más grandes imperios de la historia.

Pero también para entonces el imperio ya había dejado atrás sus medios de comunicación. Las regiones fronterizas estaban demasiado lejos para poder gobernarlas eficazmente desde el centro del poder, al sur del Perú. Huayna Cápac, tratando de remediar la difícil situación, dividió el imperio entre sus dos hijos. Por desgracia ellos, que eran hermanastros, empezaron a luchar entre sí. De no haberlo hecho, el conquistador Pizarro y sus hombres no habrían conquistado al Perú con tanta facilidad como lo hicieron.

Quizá debemos señalar que los incas no eran los únicos que tenían ese mismo problema. Los antiguos imperios eran siempre rígidos debido a sus comunicaciones lentas e inseguras y, a decir verdad, las cosas no mejoraron mucho hasta el advenimiento de las modernas comunicaciones eléctricas. Por ejemplo, hace

casi dos siglos una de las batallas más cruentas de su tiempo se produjo solamente por culpa de las comunicaciones demasiado lentas. Fue la última batalla de la guerra de 1812 entre Estados Unidos y Gran Bretaña, en la que Andrew Jackson defendió con éxito a Nueva Orleans contra los ingleses. Mil hombres murieron en el transcurso de la lucha, y sin embargo un tratado de paz se había firmado dos semanas antes en lo que hoy es Bélgica. Desgraciadamente, el único medio de comunicación entre Europa y América era en esa época el barco, y el viaje transoceánico tardaba todo un mes.

En la primera guerra mundial, los puestos de mando de los ejércitos se comunicaban con sus unidades en las trincheras por medio de mensajeros (Hitler fue por un tiempo uno de ellos), debido a que el telégrafo era impracticable en el frente. Estos mensajeros corrían de trinchera en trinchera con el mensaje escrito. Esto provocaba que muchas órdenes llegaran cuando la situación en el frente había cambiado totalmente o simplemente, que no llegaran debido a que el mensajero había sido alcanzado por una granada o una bala.

Es hasta en la segunda guerra mundial donde por ejemplo, cada unidad acorazada podría estar en comunicación directa con el mando de su división, por medio de una unidad de radio instalada en el vehículo. Esto permitía una movilidad y efectividad mucho mayor debido a que el puesto de mando tenía información inmediata del estado de cosas en el frente, y las unidades podían recibir órdenes de manera efectiva. Esto ayudó a que grandes generales y mariscales como Guderian, Rommel, Patton, Zhukov, Montgomery y Yamashita realizaran las hazañas por las que pasaron a la historia.

En el campo de la radiodifusión, el ejemplo más notable de colaboración en la guerra es sin duda el de la BBC, la cual transmitía información en clave a todos los ejércitos clandestinos de la Europa ocupada. Aunque la maquinaria divulgadora alemana, dirigida por Joseph Goebbels, tuvo también éxitos asombrosos, sobre todo con el pueblo alemán y en el exterior, con las desmoralizantes transmisiones de Ferdonnet a los soldados franceses.

El mundo de las telecomunicaciones ha evolucionado considerablemente desde la última guerra mundial. El desarrollo de esta moderna actividad es el resultado de una interacción permanente entre la evolución de las necesidades y la de las técnicas. Así por ejemplo, tanto la arquitectura de una red de telecomunicaciones como la organización de su servicio, debe ser factible técnicamente y desde luego satisfacer las necesidades de los usuarios. De todos modos, es el costo del servicio quien finalmente otorga a una u otra tecnología el triunfo en el mercado o por el contrario, las condena a ser almacenadas en un fichero de algún centro de investigación, o a ser apiladas sencillamente en los estantes de una biblioteca científica. Por supuesto el costo del servicio está íntimamente relacionado con el volumen del mercado. Realmente, esto no sólo ocurre con la telecomunicación sino con cualquier otra disciplina técnica.

En cualquier caso, deben evitarse los juicios apresurados y las decisiones rotundas. A lo largo de los siglos, la investigación pura ha acumulado un capital considerable, en el cual se encuentran a menudo los cimientos de las aplicaciones prácticas. Normalmente, hace falta un tiempo de reflexión y de investigación básica; con frecuencia, después de mucho tiempo, y debido a una concientización personal o a la influencia de una necesidad colectiva, surge una aplicación más general, pese incluso a la existencia de pronósticos autorizados que hablan de imposibilidades utópicas, o irrealidades.

B. Transmisión de señales vía radio

El medio usado para transmisiones electromagnéticas puede ser dividido en dos categorías básicas: alámbrica e inalámbrica. Los sistemas basados en radio tienen la ventaja sustancial que no requieren "derechos de paso" físicos (aunque sí legales) entre los puntos de comunicaciones. Estos sistemas son ideales para comunicaciones a través de barreras como grandes cuerpos de agua, terreno montañoso, o aquellas áreas densamente boscosas o medio ambientes sensibles donde medios de transmisión alámbricos serían difíciles de emplear. Otro criterio que a veces prevalece es el tiempo de implementación. Generalmente un enlace por radio es más rápido para poner en servicio que un enlace por cable. Además,

sistemas basados en radio pueden ser los únicos medios practicables para comunicaciones donde el punto o puntos de destino son móviles.

En los sistemas de radio, la potencia de la señal recibida es una función de la potencia del transmisor, patrones de antenas, distancia, obstrucciones físicas, y muchos otros factores. De hecho, la propagación de ondas de radio en el aire es afectada por diversos factores, como fenómenos meteorológicos y aún extraterrestres, por lo que no existe una teoría universalmente aplicable para explicarla. El uso de teoría debe ser complementado por la observación de sistemas anteriores y recopilación exhaustiva de datos sobre fenómenos que afecten el sistema, como condiciones meteorológicas y las fuentes de ruido e interferencia recibidas. Esto está en contraste directo con los sistemas alámbricos donde la teoría es mucho más útil para predecir exactamente las características de transmisión y los efectos en el exterior son generalmente menos importantes.

C. Asignaciones de la FCC para 800 MHz

La asignación original de canales en la banda de 800 MHz fue hecha por la FCC (Federal Communications Commission, es la entidad reguladora de las comunicaciones en los E.U.A.) en 1976. Esta reasignó los canales 70 - 83 de televisión en UHF (806 - 890 MHz) para uso en unidades móviles. La FCC asignó 100 canales para uso convencional y 200 canales para uso troncalizado. La parte restante de esta banda fue reservada para uso celular y asignación futura.

Un corto tiempo después, fueron asignados otros 50 canales para uso convencional, lo que resultó en una banda de 150 canales (de 806 a 809 MHz) para uso convencional y una banda de 200 canales (de 816 a 821 MHz) para uso troncalizado. Quedó una banda de reserva de 250 canales entre esas dos bandas. El espaciado transmisión-recepción fue acordado en 45 MHz. Entonces, fue creada una banda compañera 45 MHz arriba de las bandas anteriores con la repetidora transmitiendo en la banda superior.

Se estableció que la repetidora transmitiera en la banda superior debido a dos razones, la primera es que generalmente la cobertura se pierde cuando la repetidora no puede recibir la señal proveniente de la unidad móvil (aunque ésta sí pueda recibir la de la repetidora debido a la diferencia de potencia), entonces, se dejó a las unidades móviles transmitiendo en la banda inferior debido a que a menor frecuencia existe una menor pérdida de transmisión a través del aire. La segunda razón es que a mayor frecuencia es más difícil fabricar componentes para transmisores, por ello se dejó a los móviles (que son más pequeños y de mucha mayor cantidad) transmitiendo en la banda inferior. El espaciamiento entre canales quedó en 25 kHz y la desviación máxima en ± 5 kHz. La estabilidad en frecuencia requerida es de 1.5 PPM para repetidoras, y 2.5 PPM para móviles, portátiles y estaciones base.

En 1,982 la FCC asignó la banda de reserva de 809 a 816 MHz. Estos canales fueron liberados para operación convencional y troncalizada y el usuario podría especificar el tipo de sistema deseado cuando aplicase para una licencia. Entonces se tuvieron 600 canales asignados para 800 MHz. Las frecuencias de transmisión de las repetidoras se establecieron también 45 MHz por encima de las de transmisión de los móviles en esta banda.

También en ese momento, se establecieron estándares para licenciar sistemas dentro de Estados Unidos y que cubrieran hasta una distancia menor de 100 millas de la frontera de Canadá, y 68.4 millas de la frontera de México. Cerca de la frontera de Canadá, los 600 canales de toda la banda fueron asignados usando un complejo plan regional-geográfico. Cerca de la frontera mexicana, se asignaron 400 canales (811 - 821 MHz) con el requerimiento que deberían estar corridos 12.5 kHz hacia abajo en frecuencia.

En 1,989 la FCC agregó 230 canales (821 - 824 MHz), lo cual extendió la banda de 800 MHz a 830 canales. Estos nuevos canales fueron asignados para uso exclusivo de servicios de seguridad pública, y contaron con un espaciamiento de 12.5 kHz. Sin embargo, no son asignados canales adyacentes para el

mismo sitio. Las frecuencias de transmisión de las repetidoras permanecieron 45 MHz por encima de las de transmisión de los móviles para esta banda.

Se reservaron paquetes de canales para clases especiales de usuarios en la banda de 800 MHz. Esto aseguraba que ciertos servicios de "crecimiento lento" tuvieran canales disponibles. Los paquetes asignados son:

- Seguridad pública	300 canales,
- Industria y transporte terrestre	50 canales,
- Negocios	50 canales,
- SMRS ¹	280 canales,
- Convencional	150 canales,
Total	830 canales.

D. Asignaciones de FCC para 900 MHz

En septiembre de 1,987 la FCC asignó 399 canales en la banda de 900 MHz para uso de radios móviles terrestres. Los canales de transmisión de los móviles están entre 896 y 901 MHz y los canales de transmisión de las repetidoras están 39 MHz arriba (935 - 940). En 1,989 la banda de 900 MHz fue extendida a 479 canales. Esta banda quedó entonces de 896 a 902 y de 935 a 941 MHz.

El espaciamiento entre canales es de 12.5 kHz y la desviación máxima es de ± 2.5 kHz. La estabilidad en frecuencia requerida es de .1 PPM para las repetidoras y de 1.5 PPM para los móviles y estaciones de control. Estos canales fueron divididos también en paquetes, pero no se reservó ninguno para seguridad

¹ SMRS (Specialized Mobile Radio System, sistema de radio móvil especializado): sistema de radio que es propiedad de un concesionario que hace una ganancia vendiendo el servicio en el sistema.

pública debido a que para la misma se habían asignado canales en la banda 821 - 824 MHz. Los paquetes en que se dividió esta banda son:

- Industria y transporte terrestre	99 canales,
- Negocios	100 canales,
- SMRS	280 canales,
Total	479 canales.

En la banda de 900 MHz, todos los canales en SMRS deben estar troncalizados y sólo son asignados canales adyacentes. Para los otros servicios de radio (Industria y Negocios), los canales pueden ser convencionales o troncalizados, y el coordinador de frecuencias determina si se asignan canales adyacentes o no.

E. Requerimientos de carga en los canales según FCC

La ley que valía para los canales troncalizados era que, si al final de cinco años los requerimientos de carga en los canales no eran cumplidos y todos los canales de troncalización en un área geográfica hubieran sido asignados, la autorización para los canales afectados terminaba. El requerimiento de carga en cinco años era de 70 móviles por canal. Esto era válido si se licenciaba antes de 1,993, después de esa fecha, no existen ya requerimientos de carga en los canales.

Los sistemas convencionales deben tener una carga de 100% (v. gr. 70 móviles en el aire por canal) dentro de los 8 meses de la licencia para retener el uso exclusivo del canal o aplicar para otro. Sin embargo, en áreas donde el espectro es todavía disponible y no se está aplicando para ocuparlo, se pueden obtener canales adicionales aún si no se ha llenado el requerimiento de carga del 100%. Para determinar el número

de radios se cuentan las estaciones de control así como las unidades móviles (sean convencionales o troncalizadas).

F. Interconexión telefónica y transmisión de datos según FCC

Los transreceptores móviles pueden usarse para acceder a la red de telefonía pública conmutada (PSTN, por sus siglas en inglés), en la banda de 800 y 900 MHz. Sin embargo, esta operación de interconexión deberá ser secundaria comparada con la operación en dispatch (radio - radio). Se hace una excepción cuando el sistema troncalizado o canal asignado está asignado exclusivamente a un usuario. En adición a esto, las llamadas de interconexión en un servicio de radio privado deberán estar relacionadas con las actividades comerciales del usuario en particular.

La conexión a la PSTN puede tener lugar en cualquier sitio, como la repetidora o la estación de control. El dispositivo de interconexión puede ser separado o compartido. No se requiere de equipos que limiten el largo máximo de transmisión.

Las transmisiones de datos y páginas (paging , envío de números telefónicos como localizador) también están permitidos en estas frecuencias. Pero deberán también ser un servicio secundario comparado con el de comunicación de voz.

G. Banda de 800 MHz en Guatemala

Hasta hace pocos años la banda de 800 MHz estaba reservada por el ejército de Guatemala y la asesoría de frecuencias no otorgaba concesiones sobre la misma. Las empresas (aparte del ejército) que trabajaban en esa banda no tenían concesiones legales sobre los canales que utilizaban, y se trabajaba en base al soborno y compadrazgo.

En 1997 se subastó la mayor parte de la banda a empresas públicas o privadas, otorgándose concesiones de frecuencias válidas por 15 años. Las frecuencias se otorgaron por paquetes que incluyen frecuencias adyacentes para un mismo usuario. No existen requerimientos de carga en los canales ni de estabilidad en frecuencia, además, el tipo de uso de los canales es libre. Sin embargo, todas las empresas que trabajan actualmente en radiocomunicaciones troncalizadas en 800 MHz, lo hacen con equipo que cumple con las regulaciones de la FCC.

II. Troncalización automática

En telecomunicaciones, troncalización automática se puede definir como: compartir, en forma automática, un número limitado de vías de comunicación entre un gran número de usuarios. Más específicamente, en radiocomunicaciones, troncalización es el uso compartido de canales de RF en un sistema de repetidoras múltiples.

Un problema típico de los sistemas convencionales de radio es que el uso del espectro de frecuencias es ineficiente, debido a que el tráfico no está uniformemente distribuido. Esto provoca que algunos canales de radio estén sobre utilizados y bloqueados la mayoría del tiempo, mientras que otros están sub-utilizados. Este es un problema común en los sistemas de “repetidoras comunitarias”².

Las ventajas en troncalización incluyen un mejor uso del espectro de frecuencias, menor tiempo de espera para acceder al sistema y una capacidad superior por canal para una calidad de servicio dada. Debido a que la probabilidad de que todos los canales estén ocupados en un mismo instante es pequeña

² Repetidoras comunitarias: sistemas de radio convencional tipo SMRS. Servicio utilizado ampliamente en Guatemala y América Latina antes de la implementación de sistemas troncalizados. Aún se utilizan en nuestro país.

(especialmente en sistemas grandes), la probabilidad de ser bloqueado es mucho menor que cuando sólo es posible utilizar un canal.

El concepto de troncalización no es nuevo debido a que ha sido utilizado por la industria telefónica por muchos años para conmutar el tráfico en sus líneas. Sin embargo, hasta que fue introducida en los transreceptores móviles una lógica de control basada en microprocesadores, la troncalización no fue práctica debido al tamaño y costo del sistema de control.

Los conceptos de troncalización pueden ser aplicados a control de radio porque los suscriptores individuales típicamente utilizan el sistema solamente un pequeño porcentaje del tiempo, y un número grande de usuarios no usan el sistema al mismo tiempo. Por ejemplo, puede pensarse que en un sistema troncalizado de dos repetidoras con un porcentaje de carga del 50%, la probabilidad de bloqueo en un instante cualquiera será de $.5 \times .5 = .25$. En el caso de que esas dos repetidoras funcionaran sin troncalización y con la misma carga, la probabilidad de bloqueo sería de .5 en cada una. Esta diferencia se acrecienta a medida que se incrementa el número de repetidoras en el sistema, lo que da como resultado una mayor capacidad de suscriptores por canal para una calidad de servicio fija.

Los sistemas troncalizados están caracterizados comúnmente también por el retardo en acceder a un canal. Las probabilidades de retardo pueden ser calculadas si se hacen asunciones de tiempo promedio de transmisión y una distribución estadística de la duración de las transmisiones. Estadísticas recolectadas por el Instituto de Investigaciones de Stanford (bajo el contrato de la FCC), apoyan la cantidad de cinco segundos como un estimado razonable de duración de transmisiones de radio. El parámetro usado por Telecomunicaciones de Guatemala (Telgua) para la duración media de una llamada telefónica es de 90 segundos.

I. Métodos de control de troncalización

Los sistemas usados actualmente para controlar los sistemas de radio troncalizados son los llamados "distribuido" y de "canal de control", aparte del usado por la tecnología ESAS³ de Uniden, el cual es en realidad un híbrido de ambos. El sistema distribuido utiliza una pequeña unidad lógica en cada repetidora para proveer todas las funciones de control en ese canal. No se requiere un canal de control debido a que sus funciones son proveídas por cada repetidora en particular. Este método fue desarrollado por la compañía E. F. Johnson. El método de canal de control utiliza un canal de control dedicado y un controlador para proveer las funciones de control del sistema. Este método fue desarrollado por Motorola.

J. Métodos de acceso al sistema de los transreceptores

Con el método distribuido, el acceso puede hacerse en cualquier canal que esté desocupado. Cada repetidora es responsable por la señalización de datos en su canal. La repetidora determina cuáles canales están libres (en ESAS esto lo hace el conmutador), y entonces transmite esa información a los móviles en una trama de datos que coexiste con información de voz. Esto provee un procesamiento de llamadas totalmente paralelo, v. gr. el tráfico de voz no se ve afectado por el tráfico de datos. El método de evitar las colisiones es manejado por los móviles, porque el móvil que accesa primero una repetidora es el que adquiere el canal.

Con el método de canal de control dedicado, todos los accesos al sistema deben ser hechos a través de un único canal de control. Este tipo de sistemas requieren algún método de evitar colisiones, y la mayoría usan una versión modificada del método de control de acceso encaillado (Aloha). Debido a que todas las

³ En el sistema ESAS la troncalización y los recursos (p.ej. líneas telefónicas), son controlados por un conmutador central, pero el método que utilizan los transreceptores para accesar el sistema es del tipo distribuido.

llamadas deben ser procesadas de modo secuencial, cuando se incrementa la carga y menos canales están disponibles, los intentos de acceso crecen exponencialmente y los móviles son forzados a competir en un sólo canal.

K. Procesos estocásticos y markovianos

La naturaleza nos muestra con frecuencia ejemplos de fenómenos en los que una o varias magnitudes varían con el tiempo de forma difícilmente previsible, digamos de forma aleatoria, pero de modo que las leyes de variación puedan ser establecidas con la ayuda del cálculo estadístico y del cálculo de probabilidades. En la teoría clásica de probabilidades, la probabilidad asociada al resultado de un experimento es un número. Pero existen muchas situaciones en las que el resultado aleatorio de un experimento no es un número, sino una función con un parámetro real o complejo. Un proceso estocástico se puede definir simplemente como una abstracción matemática en la que las variaciones obedecen a leyes de probabilidad.

Un proceso markoviano está formado por un conjunto de objetos y un conjunto de estados tales que:

- I) en cualquier momento dado cada objeto deberá encontrarse en uno de los estados (diferentes objetos no necesariamente deberán estar en diferentes estados);
- II) la probabilidad de que un objeto cambie de un estado a otro (el cual puede ser el mismo que el primer estado) durante un período, depende sólo de estos dos estados.

El número entero de períodos transcurridos desde el momento en que el proceso se inicia, representa las etapas del proceso, las cuales pueden ser finitas o infinitas.

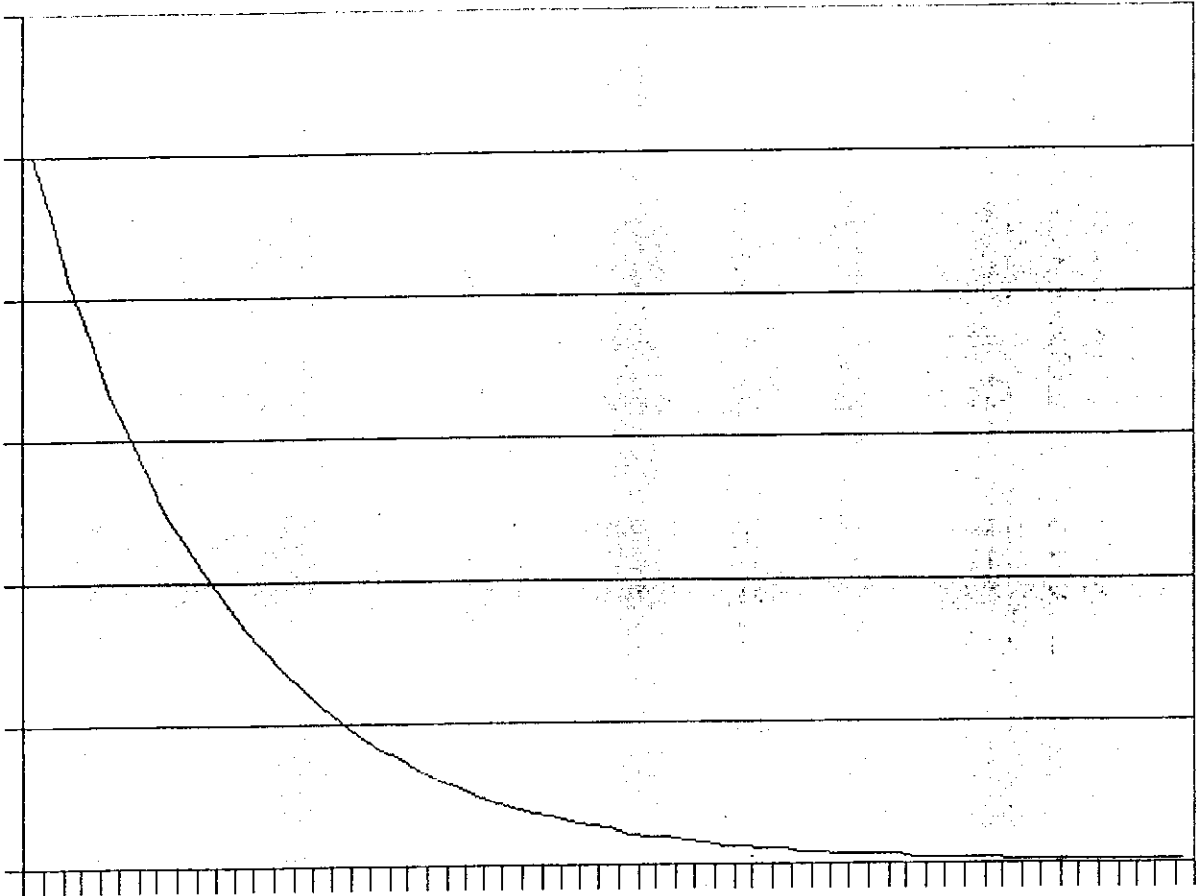
1. Procesos markovianos y poissonianos de nacimiento-muerte

Una población es un conjunto cuyos elementos tienen una característica común. Un proceso de crecimiento de población es un proceso markoviano si las probabilidades de transición para cambiar de un estado a otro dependen solamente del estado actual y no de la historia pasada por el proceso al alcanzar el estado actual.

1. Procesos poissonianos de nacimiento. Un proceso poissoniano de nacimiento es un proceso markoviano puro de nacimiento, en el cual la probabilidad de un nacimiento en cualquier intervalo pequeño es independiente del tamaño de la población. Si se considera un sistema con una población de n elementos, una tasa de crecimiento constante λ (independiente de n), será un proceso poissoniano de nacimiento si tiene una tasa de muerte $\mu = 0$ (independiente de n). En este tipo de proceso, las nuevas llegadas a la población no son resultado del número actual de elementos, sino que se presentan de manera independiente a éste. Este proceso tiene una función de nacimientos con tipo de decaimiento exponencial $\lambda e^{-\lambda t}$.

GRÁFICA No. 2.1

Función con decaimiento tipo exponencial.



2. Procesos poissonianos de muerte. Un proceso poissoniano de muerte es un proceso markoviano puro de muerte, en el cual la probabilidad de una muerte en cualquier intervalo pequeño es independiente del tamaño de la población. Esto es, para toda n , $\lambda = 0$ y $\mu = \text{constante}$. Este proceso tiene una función de muertes con decaimiento exponencial.

3. Procesos poissonianos de nacimiento-muerte. Un proceso poissoniano de nacimiento-muerte es un proceso markoviano de nacimiento-muerte, en el cual tanto la probabilidad de un nacimiento como de una muerte en cualquier intervalo pequeño es independiente del tamaño de la población. Esto es, para toda n , λ , $\mu = \text{constantes}$. Estos procesos son la base de la teoría de líneas de espera.

M. Sistemas de líneas de espera

Un proceso de líneas de espera está constituido por los clientes que llegan a una instalación que ofrece un servicio, esperan luego en línea (fila) si todos los servidores están ocupados, reciben servicio en algún momento y finalmente abandonan la instalación. Un sistema de líneas de espera es un conjunto de clientes, un conjunto de servidores y un orden en el cual los clientes llegan y son atendidos. Un sistema de líneas de espera es un proceso de nacimiento-muerte con una población formada por clientes en espera del servicio o que están en servicio. Un nacimiento ocurre cuando un cliente llega a la instalación en que se proporciona el servicio; una muerte ocurre cuando un cliente abandona la instalación. El estado del sistema es el número de clientes en la instalación.

Cinco componentes caracterizan a los sistemas de líneas de espera: el patrón de llegadas de los clientes, el patrón de servicio, el número de servidores, la capacidad de conservar a los clientes en las instalaciones y el orden en que se atiende a los clientes.

1. Patrón de llegadas. El patrón de llegadas de los clientes generalmente está especificada por el tiempo entre llegadas, que es el tiempo entre las llegadas de los clientes sucesivos a la instalación que ofrece el servicio. Puede ser determinístico (v. gr., conocerse exactamente) o puede ser una variable aleatoria cuya distribución probabilística se considera conocida. Puede depender del número de clientes que ya estén en el sistema o puede ser independiente del estado. Un rechazo ocurre cuando un cliente al llegar se niega a entrar en la instalación porque la línea de espera es demasiado grande. Un abandono ocurre cuando un cliente que ya está en la línea de espera, sale de la fila y se marcha porque la espera es demasiado larga.

2. Patrón de servicio. Generalmente el patrón de servicio está especificado por el tiempo de servicio, que es el tiempo que le toma a un servidor atender a un cliente. El tiempo de servicio puede ser determinístico o puede ser una variable aleatoria cuya distribución probabilística se considera conocida. Puede depender del número de clientes que ya se encuentran dentro de las instalaciones o puede ser independiente del estado. También es importante determinar si un servidor atiende por completo a un cliente, o si el cliente requiere una secuencia de servidores.

3. Número de servidores. El número de servidores es el número de estaciones de servicio que está atendiendo clientes o está disponible para ello.

4. Capacidad del sistema. La capacidad del sistema es el número máximo de clientes, tanto en servicio como en la(s) línea(s) de espera, que pueden estar simultáneamente en la instalación del servicio. Siempre que un cliente llegue a una instalación que esté completa, se le negará la entrada. A este cliente no se le permite esperar fuera de las instalaciones (ya que ésto sería un incremento efectivo de la capacidad) sino que se le obliga a partir sin recibir servicio. Un sistema que no tiene límite en cuanto al número de clientes que pueden permanecer dentro de las instalaciones, tiene capacidad infinita; un sistema con límite tiene capacidad finita.

5. Orden de atención. La disciplina de la línea de espera es el orden en que se atiende a los clientes. Este puede ser del tipo primero en llegar, primero en atenderse (FIFO); del tipo último en llegar, primero en atenderse (LIFO); de tipo aleatorio (SIRO), o de acuerdo a prioridades.

La notación de Kendall para especificar las características de una línea de espera es $v/w/x/y/z$, donde v denota el patrón de llegadas, w denota el patrón de servicio, x significa el número de servidores disponibles, y representa la capacidad del sistema, y z indica la disciplina de la línea de espera.

Para un sistema de líneas de espera en estado estable, las medidas de mayor interés son:

L \equiv número promedio de clientes en el sistema,

L_q \equiv longitud promedio de la línea de espera,

W \equiv tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema,

W_q \equiv tiempo promedio que un cliente permanece (o espera) en la línea,

$W(t)$ \equiv probabilidad de que un cliente permanezca más de t unidades de tiempo en el sistema,

$W_q(t)$ \equiv probabilidad de que un cliente permanezca más de t unidades de tiempo en la línea de espera.

N. Sistemas M/M/s/ ∞ /SIRO

Un sistema M/M/s/ ∞ /SIRO es un sistema de líneas de espera que tiene tiempos entre llegadas distribuidos exponencialmente, con parámetro λ ; tiempos de servicio distribuidos exponencialmente, con parámetro μ ; un número s de servidores; la capacidad del sistema no tiene límite; y una disciplina de línea de espera tipo aleatoria. La constante λ es la tasa promedio de llegadas de clientes; la constante μ es la tasa promedio de servicio a clientes. Ambas se expresan en unidades de clientes por unidades de tiempo. El tiempo esperado entre llegadas y el tiempo esperado para atender a un cliente son $1/\lambda$ y $1/\mu$, respectivamente. La tasa media de conclusiones de servicios cuando hay n clientes en el sistema es:

$$\mu(n) = n\mu \quad (n = 0, 1, \dots, s) \quad \text{ó} \quad s\mu \quad (n = s+1, s+2, \dots).$$

Las condiciones de estado estable prevalecen siempre que: $\rho = \lambda / s\mu < 1$.

También se definen (para estado estable):

p_0 = probabilidad de que el sistema tenga una población de 0

$$p_0 = \left[\frac{s^s \rho^{s+1}}{s! (1-\rho)} + \sum_{n=0}^s \frac{(s\rho)^n}{n!} \right] \quad (1)$$

$$Lq = s^s \rho^{s+1} p_0 / s! (1-\rho)^2 \quad (2)$$

$$Wq = Lq / \lambda \quad (3)$$

$$W = Wq + 1/\mu \quad (4)$$

$$L = \lambda W \quad (5)$$

Probabilidad de bloqueo (tiempo de espera > 0) = $Wq(0)$,

$$Wq(0) = (s\rho)^s p_0 / s! (1-\rho) \quad (6) \text{ (Erlang C)}$$

Los sistemas tipo M/M/s/∞/FIFO tienen las mismas ecuaciones de estado estable.

N. Sistemas M/M/s/s

Un sistema M/M/s/s es un sistema de capacidad finita con s servidores con tiempos de servicio (los cuales no dependen del estado del sistema) independientes entre sí, y con la misma distribución de decaimiento exponencial. Además, es un sistema que no acepta usuarios si no hay estaciones de servicio libres (v.gr., no tiene línea de espera). A los clientes que llegan a las instalaciones cuando éstas se encuentran llenas, se les niega la entrada y no se les permite esperar afuera para entrar más tarde. Siempre se logra un estado estable, no importando cuál sea el valor de ρ . La probabilidad de bloqueo está dada por la probabilidad de que existan s clientes en el sistema:

$$P. \text{ bloqueo} = (\lambda / \mu)^s / s! \Big/ \sum_{n=0}^s (\lambda / \mu)^n / n! \quad (7) \text{ (Erlang B)}$$

O. Sistemas LTR (Logic Trunked Radio)

Los sistemas LTR son sistemas de radio troncalizados que funcionan con métodos de acceso y control distribuidos. Todos los móviles tienen una de las repetidoras del sitio asignada como repetidora "base". Esta es la repetidora de la cual éstos reciben su información de control. Cuando un móvil no está haciendo o recibiendo una llamada, está siempre monitoreando su repetidora base para determinar cual canal está libre o si está siendo llamado por otro móvil. La repetidora base es usada siempre para hacer una llamada a menos que esté ocupada. Cuando la repetidora base está ocupada, puede ser usada cualquier otra repetidora del sitio.

Existen 250 códigos de identificación en cada repetidora. Un código de identificación y el número de repetidora base forman la "dirección" de los móviles en el sistema. Por ello, se pueden asignar hasta 5,000 en un sistema de 20 repetidoras.

P. Señalización de datos repetidora-móvil en LTR

El control del sistema es realizado por un intercambio de mensajes de datos entre el móvil y la repetidora. Esta señalización de datos ocurre continuamente con la voz, en la frecuencia subaudible de 150 Hz. Esto elimina la necesidad de un canal de control dedicado y los canales pueden ser usados para comunicación de voz para una máxima eficiencia del sistema. Si una repetidora falla, el resto permanece operacional.

Las repetidoras en uso transmiten constantemente mensajes de actualización, para que si un transreceptor acaba de entrar en servicio, no se pierda una comunicación en progreso. Estos mensajes también informan a los móviles cual repetidora está disponible.

Cuando un móvil hace una llamada, se produce un manipuleo de información con la repetidora. El móvil transmite una solicitud de servicio a la repetidora y cuando ésta detecta ese mensaje, transmite uno de vuelta al móvil que le dice que hizo un acceso exitoso al sistema. El tiempo total requerido para completar este manipuleo debe ser menor que .3 segundos.

Q. Formato de los mensajes de datos móvil-repetidora en LTR

La repetidora transmite continuamente mensajes de datos a los móviles que la están usando, o que están monitoreando ese canal. De igual manera, el móvil transmite continuamente mensajes de datos a la repetidora cuando una conversación está en progreso. El ancho de cada bit de datos es de 3.33 milisegundos, y se transmiten 300 por segundo. Un mensaje completo de datos es transmitido en aproximadamente 130 milisegundos. La información que sigue describe las partes de esos mensajes.

1. Sincronía. Los primeros dos bits de un mensaje de datos inician los circuitos de recepción de datos. Los otros bits de sincronía son usados para detectar el arribo de un mensaje de datos y establecer sincronía de bits.

2. Area. Es el número de área programado en el móvil o en la repetidora. Si el área del mensaje transmitido no concuerda con el área programada, el mensaje es ignorado y el intento de llamada no tiene éxito. Este bit es usualmente "0" a menos que haya dos sistemas LTR suficientemente cercanos para interferir el uno con el otro. Entonces se codifica como "0" un sistema y el otro como "1".

3. Repetidora en uso o repetidora a dirigirse. En un mensaje proveniente de un móvil, este espacio contiene el número de repetidora (1-20) a la cual el mensaje está siendo transmitido. Si estos bits no son iguales al número de repetidora en que se recibe el mensaje, el mismo es ignorado.

Cuando se suelta el PTT (Push To Talk, botón para transmitir en los radios móviles), el transmisor permanece abierto por un corto período, y en este espacio se envía un código de apagado (31). El código es retransmitido por la repetidora y, cuando es detectado por los otros móviles, éstos desconectan los circuitos de audio y se sintonizan de nuevo en el canal base. Esto sirve para que no se escuche estática al fin de cada comunicación.

En los mensajes transmitidos por la repetidora, si está ocupada se transmiten mensajes separados para los móviles que la usan actualmente y para los que están troncalizados hacia otras. Para los que la están usando, transmite su número de repetidora; y para los otros transmite el número de repetidora a conmutarse para recibir la llamada. Si la repetidora está libre, se transmite un mensaje cada 10 segundos y en este espacio está el número de repetidora.

4. Repetidora base. En una llamada proveniente de un móvil, se transmite el número de repetidora base programado en el radio. En un mensaje de repetidora, contiene el número de repetidora base del móvil atendido. Si la repetidora está libre, se transmite su número.

5. Código de identificación. En un mensaje de un móvil, se transmite el código (1-250) del mismo. En un mensaje de repetidora, se transmite el código del móvil atendido.

Si otros móviles asignados a esa repetidora han sido troncalizados hacia otro canal, se transmiten mensajes adicionales conteniendo la identificación de los mismos. En “repetidora base” aparece el número de la misma, y en “repetidora a dirigirse” el canal usado.

6. Canal libre. En un mensaje del móvil, contiene 31 (código de paso). En un mensaje de repetidora, contiene el número de una repetidora libre y disponible para su uso (si está libre será su número). Si todas las repetidoras están en uso, se transmitirá “0”.

7. Bits de comprobación de error. Estos bits son usados para comprobar errores en un mensaje de datos. Si se detecta un error, el mensaje es ignorado.

R. Sistema de comunicaciones ESAS

ESAS es un sofisticado sistema de radiocomunicaciones troncalizadas. Ofrece varias nuevas opciones para radios ya existentes, y provee una fácil transición para aquellos que desean moverse de un sistema LTR a uno ESAS. Cada conmutador de este sistema puede manejar hasta 63 canales, 16 grupos de troncalización, 20 canales por grupo de troncalización, y hasta 250 identificaciones de grupo (LTR) por canal. A continuación se presentan las cualidades más importantes del sistema.

1. Compatibilidad con LTR. Aparte de poder dar una fácil transición para aquellos que desean convertir un sistema LTR a uno totalmente ESAS, se provee compatibilidad para aquellos que desean mantener su equipo móvil LTR. El conmutador de ESAS tiene un respaldo completo para canales LTR radio-radio y de telefonía.

El formato para una identificación de grupo es:

$$[CCC[CCC[TT[0[HHIII]]]]],$$

CCC indica el número de celda (sitio), que puede ser de 3 o hasta 6 dígitos, TT especifica el grupo de troncalización. El sistema puede ser configurado para que el usuario solamente tenga que especificar la repetidora base (HH), y el grupo en esa repetidora (III). El 0 significa que es un código de identificación de tipo LTR (o sea, de grupo).

2. Identificaciones únicas. A cada radio se le asigna una identificación única (UID, por sus siglas en inglés) , y ésta provee información sobre la celda base. La identificación única sirve como una numeración serial electrónica y es la clave para redes de área amplia. Cada red puede tener hasta un millón de identificaciones únicas. Cada sitio o celda puede tener un máximo de 8,192 identificaciones únicas. Cada radio puede tener solamente una identificación.

El formato para una identificación única es:

[CCC[CCC[10[EEEE]]]].

Para llamar a esta identificación única, el usuario especifica una extensión, EEEE, como 0001; además del número de celda base, CCC. El "0" es un dígito que sirve por el momento como espaciador, sin embargo fue creado para posibles aplicaciones futuras. El dígito "1" significa que es un código de identificación de tipo ESAS (identificación única).

3. Area amplia. Una celda ESAS puede trabajar como celda aislada (isla), ésta provee varias opciones aparte de las ofrecidas por sistemas LTR. Los servicios sitio a sitio requieren una red de soporte para comunicación entre los mismos (backbone). En estos casos, ESAS permite hasta 128 sitios o celdas en la red. Se pueden trabajar redes de voz y de datos como redes separadas, pero ambas en el mismo equipo. El sistema ESAS es muy flexible con diversas configuraciones de redes y modos de interconexión de las mismas.

4. Asignamiento automático de celda. Con el asignamiento (roaming) automático de celda, el sistema ESAS puede trabajar como un sistema celular. Un sistema troncalizado regular no tiene capacidad de hacer asignamiento de celda o seguimiento. Con el sistema ESAS, los radios pueden viajar automáticamente de sitio a sitio. Se pueden programar los parámetros clave para asignamiento en cada radio. Usando la identificación única de cada radio, la red puede seguir a los radios en la celda en que estén, y trasladarles la información de voz y datos respectiva.

En un sistema celular, el sistema hace la decisión de qué celda asignar. En ESAS, el radio hace esta decisión con niveles programados en el mismo. El sistema no garantiza que la mejor celda será elegida. Lo

que si se garantiza es que si el radio está en el rango de una celda utilizable, éste se enlazará a la misma para recibir el servicio.

Cada operador del sistema programa los niveles de umbral para los radios. Cada radio puede tener hasta cuatro umbrales distintos. El operador del sistema asigna a cada celda en el radio uno de los niveles de umbral.

Los radios ESAS determinan cuándo pasarse a otra celda, midiendo la tasa de error de trama (FER, por sus siglas en inglés) de su celda anfitriona. Esta FER es comparada con el umbral preestablecido para esa celda. Si es menor que ese umbral, el radio irá automáticamente a modo de búsqueda de celda para recibir servicio.

Cada nivel de umbral consiste de dos variables: un intervalo de tiempo en el cual recolectar estadísticas, y un FER que debe ser cumplido para que permanezca en la celda anfitriona. Estos niveles deben ser programados tomando en cuenta mediciones de campo y una planificación cuidadosa, para que su utilidad sea óptima.

5. Tipos de llamada extendidos. Los tipos de llamadas que existen en un sistema LTR son: llamada

radio-radio, de telefonía saliente y de telefonía entrante. En el sistema ESAS se pueden manejar también los siguientes: página (paging), buzón de mensajes, traslado de llamada (call forward), llamadas privadas radio-radio half duplex o full duplex y llamadas de status. Esta última opción significa que un usuario de un móvil puede hacer una llamada especial enviando un número preestablecido para informar su ubicación o estado. Tiene la ventaja de que es un mensaje corto y puramente de datos y por eso no ocupa ningún espacio de voz en las repetidoras. Estará en funcionamiento en la versión ESAS 2.0, que será sacada al mercado a finales de 1999. Los otros tipos de llamadas extendidas sí son manejados por la versión actual de ESAS (1.73).

6. Opciones de interconexión telefónica. Cuando se realiza una llamada, el sistema tiene una lista de recursos a utilizar para darle seguimiento a la misma. Esta lista puede ser ordenada de manera prioritaria, de tal forma que, por ejemplo, se utilicen líneas telefónicas dedicadas cuando estén disponibles, y si no, se utilicen líneas discadas. Esta opción se conoce como enrutamiento de menor costo.

El sistema permite también (como se mencionó antes) hacer interconexiones telefónicas no sólo de voz teléfono-radio o radio-teléfono, sino también de página, traslado de llamada y buzón de voz. Se pueden programar números telefónicos para llamada rápida (distintos para cada usuario), los cuales pueden ser los únicos autorizados para marcar.

Se tiene la opción de manejar un sistema de usuarios prioritarios, con el cual se puede limitar la duración de llamadas, el horario permitido y la cantidad de repetidoras disponibles para los usuarios de acuerdo a su nivel de prioridad y a la carga en el sistema.

7. Control de fraude. ESAS provee dos herramientas principales para el control de fraude, o sea la desactivación de radios "piratas" (radios que utilizan una identificación de grupo activa pero no están registrados) o robados.

La primera de estas herramientas es la lista de identificaciones únicas muertas. Esta es simplemente una lista de identificaciones únicas que no están permitidas para operar. Una vez que un radio entra en la lista, todos sus servicios terminan.

Cuando un radio se enciende o cambia de celda, el mismo se comunica con la celda correspondiente para informar su ubicación. Si la celda detecta que el radio está en la lista de identificaciones muertas, le envía

el comando "kill", con el cual el radio queda permanentemente bloqueado, hasta que se le programe el comando "resurrect". Esta opción es útil para deshabilitar radios temporalmente o robados.

La otra herramienta de control de fraude es programar identificaciones de grupo (LTR) que estén restringidas a usarse con radios ESAS, es decir, radios que posean identificación única. Si un radio LTR común y corriente (pirata) intenta acceder al sistema con esa identificación de grupo, será rechazado. Esto es útil debido a que es muy sencillo conseguir en el mercado el software para programar radios en LTR. En cambio, el software necesario para programar radios en el sistema ESAS es distribuido solamente por UNIDEN y únicamente a los operadores de un sistema ESAS.

8. Facturación. Cada llamada que pasa a través del sistema es grabada por el conmutador de ESAS para su archivo o facturación. Cada llamada genera un registro con los datos útiles para tal efecto.

Un radio ESAS, a la par de su identificación única, puede tener también una o más identificaciones de tipo LTR para hacer llamadas de radio-radio o de interconexión telefónica. Los registros de facturación de ESAS asumen que todas las llamadas de un radio ESAS deben ser facturadas a la identificación única (y no a las de grupo o LTR).

Los registros de facturación son especiales para cada tipo de llamada, pero contienen básicamente el tipo de llamada, que son los números del 1 al 9 para radio-radio, telefónica entrante, telefónica saliente, paging, status, selectiva a un radio LTR, buzón de voz, administración de buzón de voz y firmado en el sistema; respectivamente. Además contienen la celda e identificación origen y destino, tiempos de inicio y duración de la llamada y número marcado (si es telefónica saliente o paging).

Para las llamadas radio-radio, el operador del sistema puede elegir entre trabajar con registros basados en tiempo acumulado por usuario, o bien, en tiempo por cada llamada individual.

Cuando se hace una llamada desde un radio a otro del sistema, se guardan dos registros, uno por una llamada saliente (del radio que inicia la llamada), y otro por una llamada entrante (del que la recibe). Sin embargo, los dos registros tienen el mismo número de identificación, por lo que se crea en realidad un sólo registro compuesto.

Los registros de facturación se guardan en un único archivo diario (Billing.log) que contiene toda la información de llamadas referente a esa celda, en ese día. Los archivos de días anteriores se graban con el nombre "Billing" más la fecha correspondiente.

9. Carga dinámica del sistema. La opción de carga dinámica permite denegar el acceso al sistema a usuarios de baja prioridad cuando el mismo se encuentra por encima de determinados niveles de carga, los cuales pueden ser modificados por el operador.

A los usuarios que sí se les permite hacer las mismas se les puede limitar el tiempo por llamada, y el número de llamadas simultáneas en el sistema.

Además, se puede reservar uno o más canales para su uso exclusivo con llamadas de ESAS, o sea, bloquear el uso de llamadas simples de LTR.

S. Componentes del sistema ESAS

El sistema básico de ESAS está compuesto de tres elementos característicos: un conmutador de red de ESAS, repetidoras lógicas de ESAS y una aplicación de ESAS. Además, necesita de sistemas de antenas, líneas telefónicas, equipos de enlace entre sitios y de los sitios de repetición con torres.

1. Conmutador de red de ESAS. El conmutador de ESAS es la unidad de control de todo el sistema. Posee los recursos (líneas telefónicas), controla la troncalización y las bases de datos del mismo.

Consiste en una computadora personal, de preferencia adaptada para montarse en estanterías (racks), la cual debe poseer como mínimo 16 megabytes de RAM, un disco duro de 170 megabytes, un fichero para disco de 3.5" y ser 80486 de 33 MHz como mínimo. También debe tener 1 modem (para diagnósticos y redes), una tarjeta AG8 para líneas telefónicas (la cual permite hasta ocho líneas), y un panel concentrador. El concentrador consiste en un panel en donde se conecta el cableado de datos y voz proveniente de todos los canales, además de una tarjeta de interface con la computadora.

2. Repetidora de ESAS. Es una repetidora troncalizada para la banda de 800 MHz, con una salida de 400 mW. Puede trabajar bajo ESAS o bien con formato de señalización LTR. Puede transmitir en el rango de 851-870 MHz, y recibir en 806-825 MHz, con una separación entre canales de 12.5 kHz, lo que resulta en una capacidad de trabajar en 1,520 canales.

ESAS es una red digital de servicios integrados (ISDN, por sus siglas en inglés) inalámbrica, y la repetidora es un dispositivo H ISDN. El dispositivo H tiene servicio 2B + D, el cual puede manejar voz y datos con protocolo HDLC en el mismo producto.

3. Aplicación de ESAS. La aplicación de ESAS consiste en realidad de varias aplicaciones que corren bajo el sistema operativo OS/2 de IBM. OS/2 provee un sistema operativo de tiempo real y de tarea múltiple. Consiste en siete ventanas que se describen a continuación.

3.1 El controlador de la configuración de ESAS tiene como función configurar toda la información específica de una celda. Aquí se definen la frecuencia y nivel de audio de las repetidoras, las

identificaciones únicas y de grupo (con sus atribuciones), la forma de administrar las líneas telefónicas, y la forma en que se comunicarán los sitios con otros.

3.2 La pantalla de monitoreo estadístico provee información estadística de la utilización de los recursos del sistema. Provee información acerca del número de repetidoras, enlaces con otros sitios, y líneas telefónicas en uso actualmente, así como el tiempo que llevan en uso. Los datos pueden ser analizados en tiempo real y en forma de reporte.

3.3 En la pantalla de terminal virtual, se tiene un monitoreo de una repetidora específica, desplegando todos los paquetes que se reciben o envían del conmutador a la repetidora. Se puede observar si está recibiendo bien los paquetes de datos de los radios, activar o desactivar el compandor (dispositivo para comprimir las frecuencias bajas de audio y expandir las altas), etc.

3.4 La ventana indicadora de radios en el sistema despliega una tabla que informa acerca de la identificación y localización de todos los radios en el sistema.

3.5 El manejador de llamadas despliega una tabla que informa (en tiempo real) acerca de todas las llamadas que se realizan en la celda; el origen, destino y tiempo de servicio.

3.6 La ventana del porcentaje de tráfico en la celda informa acerca del porcentaje de utilización de cada grupo de troncalización en la celda (en tiempo real).

3.7 El manejador de red informa acerca del estado actual de los enlaces de datos que están en uso en la celda. Aquí se pueden reiniciar enlaces y enviar mensajes de ida y vuelta a otras celdas para comprobar que exista comunicación de datos entre las mismas.

III. OBJETIVOS

- A. Estudiar las diversas opciones que tiene el sistema ESAS y aplicarlas en el diseño de un sistema en particular.

- B. Crear un modelo de tráfico de llamadas para sistemas de radiocomunicación troncalizados, con dos tipos de servicio, radio y telefonía, con base en información estadística disponible. Esto servirá para dimensionar correctamente los sistemas (tanto en número de canales como para consideraciones de recursos), lo que redundará en un buen servicio para los usuarios y un ahorro de dinero y trabajo en la implementación del sistema, que es el caso de cuando se sobredimensionan sistemas. También hay casos en los cuales se subdimensiona, y aunque es más barato, la calidad del servicio es mala y eventualmente se paga un precio muy alto en la imagen con el usuario.

- C. Desarrollar una guía para la implementación de sitios de comunicaciones troncalizadas en 800 Mhz.

- D. Desarrollar una guía para el establecimiento de sistemas de radiocomunicación multisitio, utilizando enlaces tanto de voz como de datos.

- E. Desarrollar una herramienta de computación que permita efectuar el dimensionamiento del número de canales y recursos necesarios para los sitios de repetición.

IV. MÉTODOS DE TRABAJO

A. Estudio de tráfico de llamadas

Existen dos factores que caracterizan la eficiencia de un sistema de radio troncalizado, en términos de la disponibilidad de atender llamadas. Estos factores son la probabilidad de bloqueo y el tiempo de espera para tener acceso a un canal.

Se han hecho diversos estudios por medio de los cuales se puede afirmar que tanto para comunicación radio-radio como para comunicación de radiotelefonía, la duración de las llamadas y el tiempo entre intentos de acceso al sistema sigue patrones con un tipo de decaimiento exponencial. Esto quiere decir que tienen funciones de probabilidad de la forma siguiente: $a e^{-at}$.

Además, en un sistema troncalizado el número de usuarios en el sistema es una cifra muy por encima del número de canales disponibles (es típico para un sistema de unos 10 canales que la relación sea de 100 a uno), y sólo una cantidad pequeña de ese número de usuarios querrá acceder al sistema al mismo tiempo. Entonces, el tiempo entre intentos de acceso al sistema será una función única, no importando cuantos usuarios estén utilizando el mismo en un momento dado (debido a que es un número pequeño comparado con el total de usuarios).

Con lo anterior se puede afirmar que el tráfico de llamadas, en un sistema de radiocomunicación troncalizado, se puede considerar como un proceso markoviano de nacimiento-muerte tipo poissoniano (v. gr. patrones de nacimiento y muerte con decaimiento exponencial e independientes del estado del sistema).

Ahora bien, en un sistema con dos tipos básicos de servicio, radio-radio y telefona, el patrón de duración (o distribución de servicio) de las llamadas será totalmente distinto para cada tipo de servicio. Esto hace que se tenga un sistema con cierto número de estaciones de servicio (canales), las cuales permitan dos clases distintas de transacción.

Para efectos de dimensionamiento del sistema, se tomarán los valores para procesos de llegadas cuando el sistema esté trabajando en horas pico. Esto es para que los cálculos de ingeniería se hagan para el peor de los casos.

En el sistema ESAS, cuando un móvil hace un intento de llamada y todas las repetidoras están ocupadas, el radio entra en turno, lo que significa que esperará a recibir de su repetidora base la indicación de que se ha desocupado una repetidora. Todos los radios que estén en turno y asignados a esta misma repetidora recibirán el mismo mensaje, y accederá al canal el usuario cuya señal sea detectada primero por la repetidora, mientras que los demás seguirán en turno. Esto hace que el sistema de acceso tenga un comportamiento (en caso de que haya turno) tipo SIRO (alcatorio).

Los cálculos siguientes para sistemas con líneas de espera tienen también validez para sistemas con un acceso tipo FIFO, solo que en este último caso, con factores de desviación estándar más pequeños. Esto se debe a que con acceso tipo FIFO los usuarios deben esperar a que sean atendidos los que llegaron antes, mientras que con SIRO puede ser que el turno de acceso sea el inmediato siguiente o mucho después.

Para el modelo matemático que se desarrollará, se considerarán dos procesos de nacimiento-muerte distintos (correspondientes a llamadas radio-radio y telefonía) y que son atendidos por estaciones de servicio que podrán atender a cualquiera de los dos o bien solamente al de radio-radio. Con esto último se quiere indicar que se deja la opción para programar repetidoras solamente de radio y así asegurar que no se

saturará el sistema únicamente con llamadas telefónicas que, por su duración tan extensa comparada con las de radio-radio, pueden llegar a producir este estado mucho más fácilmente.

No se considerarán líneas de espera para las llamadas de radio. Por experiencia práctica se ha podido comprobar que, en sistemas con una buena calidad de servicio, no es funcional entrar en turno por llamadas de radio. Por lo común no es agradable entrar en espera para transmitir un mensaje de 5 segundos y, en sistemas diseñados con probabilidades de bloqueo pequeñas para llamadas de radio, un segundo intento bastará para lograr comunicarse.

Para efectuar una llamada telefónica a través de un radio de ESAS (v.gr., una llamada saliente), el usuario marca el número telefónico y posteriormente oprime el botón de PTT o SEND. Con esto se logra que, si el sistema está ocupado, no tendrá que marcar el número u oprimir SEND de nuevo, debido a que cuando el radio tenga acceso a un canal hará la llamada de manera automática (enviando los números codificados como datos y no como DTMF). De hecho, si el tiempo de espera es pequeño (8 segundos o menos), el usuario no nota que entró en turno.

Es de notar que, debido a que las llamadas de radio no tienen turno, cuando exista espera en telefonía y se desocupe una repetidora con interconexión, la misma será ocupada necesariamente por una de las llamadas en espera, debido a que el acceso al canal será casi inmediato.

Para el caso de las llamadas provenientes de la red telefónica hacia el sistema ESAS (entrantes), que se hagan cuando los canales (repetidoras) de telefonía estén ocupados, el sistema creará una línea de espera tipo FIFO, y las llamadas se desearán si tienen más de 30 segundos en espera. Claro que éste será el caso si se tienen más recursos (líneas telefónicas agrupadas en un PBX) que canales de telefonía, si no, el teléfono dará tonos de ocupado.

Los intentos de llamada telefónica entrantes y salientes son en realidad procesos poissonianos de nacimiento separados, con patrones de nacimiento diferentes. Pero, debido a que tienen un patrón de muerte (tiempo de servicio) idéntico, pueden ser tratados como un proceso único, con un patrón de llegadas total que es la suma de los dos individuales. En un sistema típico las llamadas entrantes son un 15 - 20% del total de telefonía.

Además, se asumirá que ningún usuario que ha entrado en espera desiste en su intento de hacer una llamada telefónica (sea entrante o saliente). Con esto se asume el peor de los casos, debido a que si un usuario de llamada saliente que está en cola se sale de la misma e intenta realizar la llamada en múltiples intentos, no provocará "tráfico de repetición", debido a que el sistema no guarda registro de las colas de llamadas salientes. En el caso de las entrantes, el tiempo que un usuario tardará en volver a marcar el PBX del sistema es sobradamente suficiente para que el sistema ESAS libere los recursos asignados a la llamada anterior (aproximadamente medio segundo).

Debido a que las llamadas de radio no entrarán en turno, si el sistema es estable solo con llamadas de telefonía, lo será también con llamadas de telefonía y radio. Si el sistema se torna inestable, entonces las repetidoras con telefonía no podrán ser accedidas, dejando en servicio únicamente a las repetidoras sin telefonía para que procesen todas las llamadas de radio-radio (dispatch).

Se asume que se tiene un sistema con C canales, los cuales pueden prestar servicio de radio-radio, y de ellos, T pueden prestar también el servicio de interconexión telefónica. Entonces $C = T + R$, donde R es el número de canales sin telefonía. Se tienen también parámetros de llegada y servicio de telefonía λ_T , μ_T y parámetros de radio λ_R , μ_R . También se asume que los móviles tienen asignadas repetidoras base de manera uniforme (v. gr. cada repetidora tiene asignado el mismo número de móviles).

Si se tiene solamente activado servicio telefónico en los móviles, entonces se tiene un sistema M/M/T/∞/SIRO. La probabilidad de que un cliente tenga que entrar en cola (probabilidad de bloqueo) estará dada por (6), donde $s = T$ y $\rho = \lambda_T / \mu_T T$,

$$P_B (\text{sólo telefonía}) = P_{\text{BST}} = (s\rho)^s p_0 / s! (1-\rho).$$

Se asume ahora un tiempo igual de ocupación de cada uno de los canales de telefonía, entonces la probabilidad de que en un instante cualquiera se esté usando una repetidora de telefonía en particular (por un usuario de telefonía) será $P\tau = P_{\text{BST}}^{1/T}$, o sea, la probabilidad de que estén todas ocupadas es $P\tau^T = P_{\text{BST}}$.

La probabilidad de que estén ocupadas todas las repetidoras menos una es $P\tau^{T-1} * (1-P\tau) * T$. Generalizando, la probabilidad de que en un instante cualquiera estén ocupadas ψ repetidoras de telefonía (por usuarios de telefonía) es: $P\tau^\psi * (1-P\tau)^{T-\psi} * C_{T,\psi}$,

$$B_\psi = P\tau^\psi (1-P\tau)^{T-\psi} T! / \psi!(T-\psi)! \quad (8)$$

Es de notar que: $\sum_{\psi=0}^T P\tau^\psi (1-P\tau)^{T-\psi} T! / \psi!(T-\psi)! = 1, \quad \forall P\tau \in \mathfrak{R}, C.$

En un instante cualquiera, el número de repetidoras en disposición de prestar servicio de radio (v.gr., no ocupadas con teléfono) será: $C - \psi$. Entonces, para la llegada y atención de llamadas radio-radio se tendrá un sistema M/M/C- ψ /C- ψ . La probabilidad de bloqueo de llamada de radio teniendo ψ repetidoras utilizándose para telefonía ($P_{\text{BR}, \psi}$) está dada por (7) con $s = C - \psi$, $\lambda = \lambda_R$, $\mu = \mu_R$.

Entonces, la probabilidad de bloqueo para un intento de llamada radio-radio (P_{BR}) es:

$$P_{BR} = \sum_{v=0}^T B_v P_{BR \psi T}. \quad (9)$$

Aquí se está asumiendo que el proceso de llegadas y atención de telefonía es de naturaleza relativamente lenta, comparado con el de radio (v. gr. en el sistema de radio ocurren cambios de estado con mucha mayor frecuencia que en el de telefonía). Entonces es válido considerar que el tiempo que transcurre entre cambios de estado de el sistema de telefonía es suficiente para que se llegue a un estado estable en el sistema de radio.

$$\text{Además, } P_{BKRT} = (1 - P\tau) P_{BJR}. \quad (10)$$

Donde el término de la izquierda indica la probabilidad de bloqueo de una repetidora "k" (con interconexión), debido a que está sirviendo a una llamada de radio-radio. P_{BJR} denota la probabilidad de que esté ocupada una repetidora sin interconexión telefónica, "J". La ecuación (10) tiene validez debido a que, cuando una repetidora con interconexión no está atendiendo una llamada de telefonía $(1 - P\tau)$, tendrá la misma probabilidad de estar ocupada con una llamada radio-radio que una sin interconexión. Es decir que si sabemos que hay $C - \psi$ repetidoras disponibles para trabajar radio-radio, todas tienen la misma probabilidad de ser accedidas.

$$\text{Entonces, podemos decir que: } P_{BJR}^k (P\tau + P_{BKRT})^l = P_{BR}. \quad (11)$$

El primer término indica que todas las repetidoras sin interconexión están siendo ocupadas y el segundo indica lo mismo con respecto a las que sí tienen interconexión. Si utilizamos (10), la ecuación (11) resulta en:

$$P_{BJR}^k (P\tau + (1 - P\tau) P_{BJR})^l = P_{BR}. \quad (12)$$

Solamente P_{BJR} es desconocido en (12). El mismo se puede encontrar por medio de un método de acercamiento iterativo. Al encontrar P_{BJR} se puede hallar $P_{BKR T}$ por medio de (10). Despejando $P_{BKR T}$ se obtiene la probabilidad de que esté ocupada una repetidora de interconexión ($P_{BKR T} + P\tau$), entonces, la probabilidad de bloqueo para una llamada telefónica será:

$$P_{BT} = (P_{BKR T} + P\tau)^r. \quad (13)$$

El proceso de llegadas y servicio de llamadas telefónicas tendrá entonces un parámetro de carga del sistema (ρ) que se puede aproximar valuando en (6) $Wq(0) = P_{BT}$, y encontrando ρ (por medio de técnicas de acercamiento iterativas). Habiendo encontrado ρ , se obtienen Lq , Wq , W y L de telefonía por medio de (2), (3), (4) y (5) respectivamente.

Si se tiene un porcentaje de llamadas entrantes (telefónicas) $\%E$ entonces:

$$\begin{aligned} Lq_{IN} &= Lq * \%E / 100, & Lq_{OUT} &= Lq - Lq_{IN}, \\ L_{IN} &= L * \%E / 100, & L_{OUT} &= L - L_{IN}, \end{aligned} \quad (14)$$

donde Lq_{IN} y Lq_{OUT} son las esperas de llamadas entrantes y salientes respectivamente, L_{IN} y L_{OUT} son la cantidad de usuarios accedando o intentando acceder al sistema.

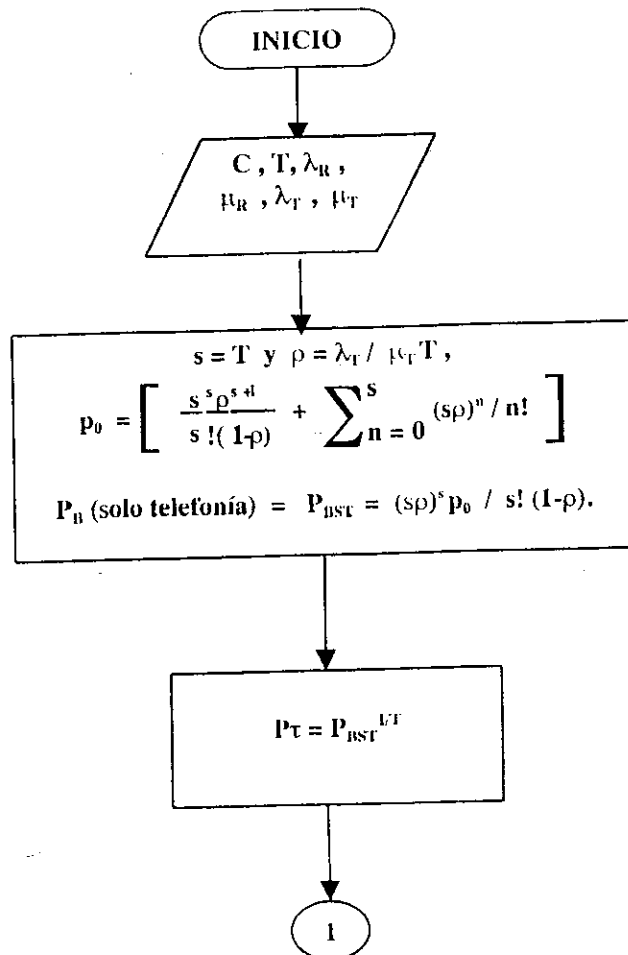
Para el proceso de llamadas radio-radio $W = 1/\mu_R$ (tomandose en cuenta solamente las llamadas que accesan el sistema), y

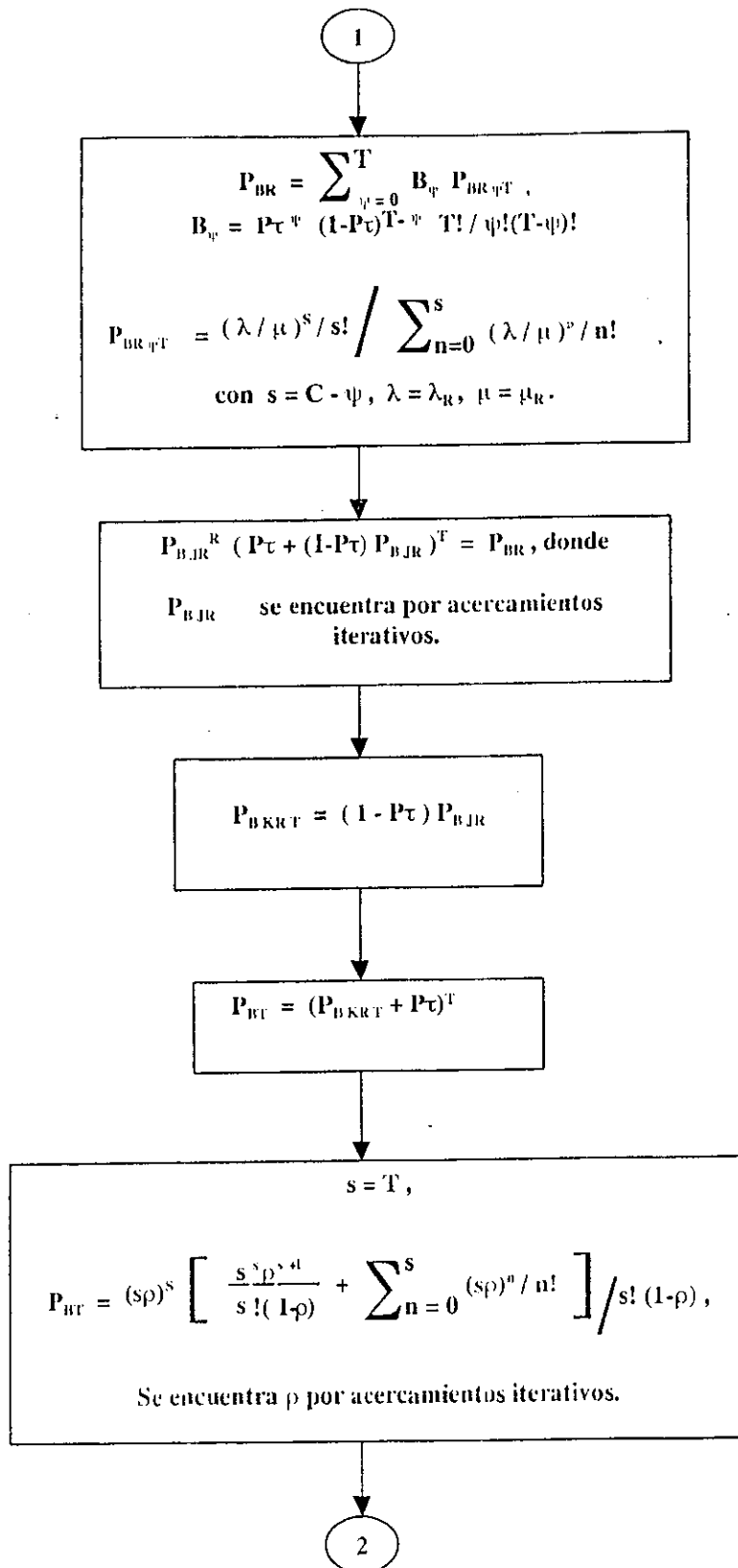
$$L = P_{BJR} R + P_{BKR I} T, \quad (15)$$

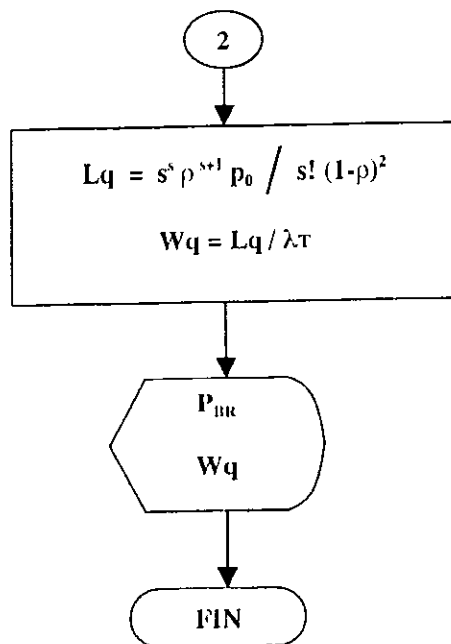
a sea, la media de repetidoras sin interconexión ocupadas más la media de repetidoras con interconexión ocupadas con llamadas radio-radio. L_q y W_q no tienen sentido debido a que en este modelo no existe cola de llamadas radio-radio.

En el apéndice A se da un programa de computación para el cálculo de los parámetros de tráfico anteriores. A continuación se presentan el diagrama de flujo y el algoritmo del mismo:

GRÁFICA 4.1
Diagrama de flujo para el cálculo de parámetros de tráfico.







ALGORITMO:

1. Ingreso del número de usuarios de radio y telefonía así como del número total de repetidoras y repetidoras con telefonía.
2. Ingreso del número promedio de llamadas de radio y telefonía (por usuario, en la hora pico), así como la duración promedio de las llamadas de radio y telefonía.
3. Cálculo de la probabilidad de bloqueo para telefonía, asumiendo que no existe tráfico de radio, utilizando la ecuación (6) (Erlang C).
4. Cálculo de la probabilidad que esté ocupada una repetidora de telefonía en particular (sin tomar en cuenta tráfico de radio).

5. Cálculo de la probabilidad de bloqueo para llamadas de radio, utilizando la ecuación (9).
6. Usando la ecuación (12) y un acercamiento iterativo, se encuentra la probabilidad de que esté ocupada una repetidora SIN interconexión telefónica.
7. Por medio de la ecuación (10), se encuentra la probabilidad de que una repetidora CON interconexión telefónica esté ocupada debido a que está sirviendo a una llamada de radio.
8. Por medio de la ecuación (13), se encuentra la probabilidad de bloqueo para una llamada telefónica.
9. Utilizando un acercamiento iterativo se encuentra la carga (ρ), que tendrá la ecuación (6) (Erlang C) para la probabilidad de bloqueo de telefonía encontrada en el paso 9.
10. El largo promedio de la cola de telefonía se encuentra por medio de la ecuación (2).
11. El tiempo promedio que un usuario de telefonía permanece en cola se encuentra por la ecuación (3).
12. Fin.

B. Función de probabilidad del tiempo para la desocupación de la primera repetidora

Si asumimos un sistema formado por una sola repetidora, la cual está actualmente ocupada con una llamada con función de probabilidad (para su duración) $F(t)$, y a la misma se intenta acceder en un instante después de que comenzó dicha llamada, entonces la función de probabilidad para la desocupación de dicho canal será $F(t + t_j)$. Para hacer que esta función tenga área unitaria, se divide entre el área (integral) de dicha función en el intervalo $0 \leq t + t_j < \infty$. Entonces, la función de probabilidad de desocupación de dicho canal si se intenta acceder en el tiempo t_j es:

$$\frac{F(t + t_j)}{\int_{t_j}^{\infty} F(\tau) d\tau} \quad (16)$$

Si se sabe que el intento de acceso a la repetidora puede ocurrir solamente en un número finito n de instantes de tiempo equidistantes y separados entre sí Δt , empezando en un tiempo Δt después de que se accesó el canal, entonces la función de probabilidad para el acceso a la repetidora es

$$\sum_{j=0}^n \frac{F(t + j\Delta t)}{n \int_{j\Delta t}^{\infty} F(\tau) d\tau} \quad (17)$$

Si los intentos de acceso al sistema ocurren en todo el tiempo que dura la llamada, y la duración máxima de ésta es L_{max} , entonces $L_{max} = n \Delta t$. Si se tiende L_{max} a infinito, además se multiplica y divide (17) dentro de Δt , y se transforma la función al campo continuo, tenemos:

$$G(t) = \lim_{L_{\max} \rightarrow \infty} \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{L_{\max}} \frac{F(t+\tau)}{\int_{\tau}^{\infty} F(\kappa) d\kappa} d\tau \quad (18)$$

La función de probabilidad de desocupación para una repetidora con dos tipos de servicio (v.gr. dos posibles tipos de llamada) es $(P_1 G_1 + P_2 G_2) / (P_1 + P_2)$, donde P_1 y P_2 son las probabilidades de que la repetidora esté ocupada por el tipo de servicio 1 y el 2, respectivamente. Generalizando:

$$\sum_{n=1}^N P_n G_n = H(t), \quad (19)$$

donde $H(t)$ es la función de probabilidad de desocupación de una repetidora con n tipos de servicio con funciones de probabilidad $F_n(t)$.

Si se tienen dos canales con funciones de probabilidad H_1 y H_2 , la probabilidad de que se haya desocupado por lo menos uno de ellos en el tiempo α después de un intento aleatorio de acceso es:

$$\int H_1 + \int H_2 - \int H_1 * \int H_2 \quad (20)$$

donde las integrales están valuadas de 0 a α . Este cálculo crece en dificultad a medida que se aumenta el número de repetidoras.

Este engorroso cálculo se simplifica para el caso de tipos de llamadas con una función de duración con decaimiento de tipo exponencial, debido a que el término (16) es siempre igual a $F(t) = \mu e^{-\mu t}$.

Entonces, el término de la integral exterior en la ecuación (18) es igual a $F (t)$, y sale de la integral por no ser función de τ . Dentro de la integral queda solamente $d\tau$, el cual se integra en el intervalo $0 - L_{max}$. De aquí resulta que $F (t) = G (t)$.

Si se tienen dos canales con un mismo tipo de servicio con función de decaimiento exponencial ($H_1 = H_2 = F$), tenemos, por la expresión (20) que la probabilidad de que se haya desocupado por lo menos un canal en el tiempo t es igual a $1 - e^{-2\mu t}$, lo que equivale a hacer una $F' (t) = 2\mu e^{-2\mu t}$, que es la función de probabilidad de desocupación combinada de los dos canales. Eso vale también para sistemas de más canales, entonces se tiene que la función de probabilidad para la desocupación de la primera repetidora en un sistema que sirve llamadas con distribución de decaimiento exponencial (de un sólo tipo) es

$$F' (t) = n\mu e^{-n\mu t}, \quad (21)$$

donde n es el número de canales. La media de la función (21) es el tiempo promedio antes de que se desocupe la primera repetidora y tiene un valor de $1/n\mu$.

C. Sitios de repetición.

Un sitio de repetición es el lugar físico donde se encuentra el equipo de radio que tiene la función de recibir y transmitir vía radiofrecuencia. Para que el equipo de radio pueda funcionar se necesita contar también con caseta, torre, antenas, alimentación de energía, motores, combustible, etc. Existe un número casi infinito de configuraciones de sitio diferentes. En particular, para un sistema troncalizado en 800 MHz, las posibilidades son muy vastas.

En lo referente a su interrelación con los radios móviles, un sitio de repetición puede funcionar como receptor y retransmisor de la información de los móviles (llamado comúnmente en nuestro país como RT o isla). Si el sitio anterior tiene además comunicación con otros sitios de repetición se le llama RA-RT. Si es un sitio dedicado exclusivamente a servir de comunicación entre otros dos sitios, se le llama salto o RA.

Respecto de su tipo de cobertura, un sitio puede ser omnidireccional o direccional. Los sitios direccionales son usados generalmente para lugares cercanos a los límites del sistema, o cuando no se desea tener cobertura para un área en particular. En estos casos, el uso de antenas direccionales es necesario. Aunque en telefonía celular es bastante común el uso de sitios direccionales, en las comunicaciones de radio troncalizadas este no es el caso, debido a que en general se utilizan sitios con una cobertura mucho más amplia (p.ej. un sólo sitio para la ciudad de Guatemala).

Existen numerosas razones para recomendar celdas mayores para un sistema ESAS que para uno de telefonía celular. El sistema ESAS posee asignación de celda (roaming) automática, pero, si una llamada telefónica está en curso y el móvil que la tiene cambia de celda, la llamada se cortará. Además, cada celda programada en un radio tiene solamente ocho celdas "adyacentes" a las que puede acceder en caso de pérdida de cobertura. Si se tiene un número mayor de celdas activas, es necesario que el usuario cambie manualmente el canal en su radio para buscar cobertura en otra región. Al cambiarse de canal, se tiene la posibilidad de programar otras nueve celdas para que operen en esa región.

En la comunicación radio-radio, utilizando identificaciones de grupo, el sistema ESAS está restringido por el momento a comunicaciones de área amplia (o sea comunicaciones que requieren más de un sitio) solamente entre dos sitios. Por lo mismo es conveniente tener sitios que cubran una región grande para ser utilizados en comunicaciones radio-radio. La versión ESAS 2.0 (que será sacada al mercado a finales de 1999) contendrá entre sus innovaciones el poder hacer conexión de voz entre más de dos sitios.

D. Recomendaciones para la elección de un sitio de repetición en 800MHz.

La topografía montañosa de la república de Guatemala hace difíciles las radiocomunicaciones en las áreas del altiplano y oriente del país, debido a la pérdida de línea de vista debido sobre todo a volcanes (más de trescientas cumbres volcánicas en total, según la Federación de Andinismo de Guatemala). Sin embargo, este no es el caso para todo el país porque, por ejemplo, toda la costa sur puede ser cubierta, para 800 MHz, con sólo dos sitios de repetición (volcanes Siete Orejas y de Agua), localizados en la zona montañosa inmediata al norte de la planicie costera. Así pues, la topografía montañosa del país no es necesariamente una desventaja para las radiocomunicaciones. Generalmente lo más conveniente es elegir sitios de repetición en áreas que son topográficamente dominantes en el paisaje, sin embargo, ésto reduce las posibilidades de reutilizar canales.

Existen diversos factores a considerar en la elección de un sitio de repetición. Abajo se presentan los más importantes.

1. Que domine el área de interés. En radiocomunicaciones en 800 MHz, las señales por rebote en montañas son bastante raras (no así en frecuencias menores como VHF), por ello, asegurar cobertura en un área determinada significa que el sitio de repetición debe estar a línea de vista de la misma. Lo más conveniente es definir "áreas principales", y elegir candidatos a sitio en base al dominio que tengan sobre las mismas.

Entre más sobresaliente sea el lugar, tendrá una mejor cobertura en el área adyacente al área principal, y podrá hacer la función de varios sitios, cubriendo "áreas principales". Ahora bien, no se debe sobreestimar lo anterior, debido a que sitios que cubran áreas muy amplias significan distancias móvil-repetidora mayores, lo que resulta en una señal recibida de menor calidad e intensidad. Otros problemas asociados

con los sitios altos son la carencia o mala calidad de servicios, difícil acceso, los rayos en época lluviosa, y la altura en sí de los mismos.

2. Servicios. Es preferible un sitio que tenga fluido eléctrico, y que éste sea de buena calidad. Por ejemplo, en el volcán de Agua existe servicio del INDE, pero la calidad y continuidad del mismo es muy deficiente (no hay una semana en que no se vaya el servicio, y en época lluviosa se va por días enteros), esto es debido al gran consumo que hay en la cumbre y a la dificultad de subir el servicio. Esto causará con toda seguridad fallos esporádicos en el equipo si no se toman las debidas precauciones (detectores de bajo y alto voltaje; UPSs; protección de transientes; sistemas de baterías, cargador e inversor).

Si no se cuenta con servicio eléctrico será necesario trabajar con recursos alternativos, como paneles de energía solar y baterías, energía eólica o una planta generadora eléctrica. Teniéndose los inconvenientes de capacidad en caso de las dos primeras, y de llevar combustible periódicamente en caso de planta eléctrica. Otro inconveniente de la planta eléctrica es el ruido provocado por la misma, el cual afectará la fauna del lugar si la hubiere.

En todo caso, en lugares donde existe fluido eléctrico, es muy importante contar con un servicio de emergencia. Lo mas conveniente es tener una planta de emergencia con una transferencia automática y apropiada para lugares con servicio eléctrico deficiente (es común, por ejemplo, que si se tiene servicio de 220 VAC falle sólo una fase, lo cual es nocivo para transferencias que no sean especialmente diseñadas). Para sitios con poco equipo, con consumo de 2000 W o menos, es factible también instalar sistemas de alimentación que consistan en cargador de baterías, baterías e inversor, los cuales proveen corriente alterna por un tiempo limitado aunque el servicio eléctrico falle. Si se utilizan estos sistemas se da también protección al equipo en caso de un fluido eléctrico inestable.

También es conveniente que en el sitio de repetición exista servicio telefónico (a menos que se piense instalar un sitio de radio-radio como isla). Si no existe servicio telefónico en el lugar, será necesario trasladar líneas telefónicas al sitio vía radio. El traslado de las líneas telefónicas puede realizarse de varias maneras, como radio-telefonos (aparatos para el traslado remoto de una línea telefónica vía radio), microonda y multiplexores, o incluso a través de un enlace satelital.

3. Acceso. Para los sitios de repetición que se encuentren en áreas rurales es muy importante considerar la dificultad de acceso a los mismos. Si existe carretera y está asfaltada, y si es de terracería es importante saber si es transitable todo el año, y el largo del tramo no asfaltado. Si no hay carretera se pueden utilizar otros medios, como helicóptero, bestias o caminatas. El problema con el acceso en helicóptero, es que es bastante caro y necesita un lugar que funcione como helipuerto, que esté libre de árboles y vegetación alta.

Si el acceso es en bestias o por caminatas se tiene el peligro del daño de equipos al ser trasladados para su instalación, por lo que se deben proteger apropiadamente de la lluvia, caídas, mal manejo de los cargadores, etc. El tiempo de reacción en caso de una falla es muy grande en estos casos, debido a que se tiene no sólo la dificultad de llegar al sitio, sino también la de conseguir cargadores o bestias para llevar la carga necesaria.

Además, existen peligros para la salud de los técnicos del sistema, por ejemplo, en las montañas de San Gil (punto muy utilizado para las comunicaciones en Izabal) existen dos tipos de serpientes venenosas (timbo y barba amarilla) a las cuales es común ver, lo cual es un peligro que hay que tomar muy en cuenta. Adicionalmente a dificultar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo, el traslado de materiales o combustible es bastante caro, sobre todo cuando se construye la caseta y se instalan torres. Algunos sitios en volcanes están expuestos a erupciones, como el caso de Cerro Chino y Cerro Negro en el Volcán de Pacaya.

4. Vegetación del lugar. Es conveniente que no exista vegetación alta en el sitio de repetición. Si un sitio que trabaja en 800 MHz se encuentra en medio de una selva espesa, los árboles cercanos absorberán la mayor parte de la energía que entra o sale de las antenas del sitio, causando una pobre cobertura.

5. Altura. En la mayoría de los casos, una celda a mayor altura significa una mejor cobertura. Pero no siempre lo más conveniente es buscar la mayor altura. Aparte de los problemas de acceso y servicios asociados con ella, a mayores alturas se tiene mayor posibilidad de fallo en los equipos. Esto se debe a que con menos oxígeno es más fácil que el equipo se sobrecaliente y el aire acondicionado y la planta de emergencia sean menos eficientes. Esto es un problema típico en el volcán de Agua (3,700 m.s.n.m.).

UNIDEN garantiza que el conmutador de ESAS está en capacidad de operación hasta una altura de 2,438 m.s.n.m. Por encima de esta altura, no se garantiza que el equipo será operable. Sin embargo, actualmente están en funcionamiento equipos ESAS las cumbres del Volcán de Agua y el Volcán Siete Orejas (3,200 m.s.n.m), siendo su funcionamiento bastante aceptable.

6. Costo del sitio. Puede ser que el sitio se consiga sólo por medio de arrendamiento, y que exista ya caseta y torre (usadas por otros equipos). Aunque es preferible trabajar en sitios donde no exista equipo de otros operadores, debido a que así solo los técnicos del sistema ESAS tendrán acceso a los equipos, ahorrándose posibles problemas. También es preferible en general comprar el lugar a ser utilizado como sitio de repetición.

Los sitios rurales pueden caer en tres categorías: fincas privadas, nacionales o lugares ya establecidos como de repetición. Si no existe camino de acceso, se debe considerar un costo asociado con la construcción del mismo (lo que facilita mucho la instalación y mantenimiento del equipo).

7. Seguridad. En sitios alejados, es preferible tener un guardián que tenga capacidad de comunicarse en caso de problemas con el equipo o externos. Y si sabe algo de electricidad o electrónica, mejor. Así podrá resolver problemas sencillos (se recomienda darle un pequeño curso de lo más necesario). En los sitios de repelición ya establecidos generalmente hay disponibles guardianes que cuidan varias casetas.

8. Pruebas de cobertura. No hay que guiarse solamente por líneas de vista hacia lugares. Se pueden hacer pruebas de cobertura programando un radio base y varios portátiles con un canal directo (sin repetidora). Se instala provisionalmente en el sitio el radio base con una antena montada en un mástil alto o bien en una torre cercana si la hubiere y se prueba comunicación con los portátiles en las áreas de interés principal de cobertura. En todos estos lugares se miden también niveles de recepción con un analizador de espectro o un medidor de campo. Para tener una buena cobertura los niveles de recepción deben estar por encima de los -115 dBm, que es el nivel de umbral. Con unos 8 dB por encima de este nivel se obtiene una señal de audio muy limpia, con una relación señal a ruido por encima de los 20 dB.

Se pueden realizar también algunos perfiles para lugares específicos, aunque éstos son más efectivos para comunicaciones punto-punto.

9. Pruebas de interferencia. Sobre todo si es un sitio en donde ya hay otras casetas de radiocomunicación, es necesario hacer pruebas de intermodulación. Más adelante se dan los pasos a seguir para hacer un estudio de intermodulación.

10. Posibilidad de enlaces. Es conveniente que los sitios tengan línea de vista con otros que se estén utilizando para que se puedan realizar enlaces directos entre sitios. Aunque también se pueden utilizar enlaces satelitales, los cuales son prácticos para no tener que usar saltos (sitios RA).

E. Torres

Numerosos son los tipos de torres que pueden existir y en efecto existen para una red inalámbrica. Sin embargo, hay tres tipos básicos que son los más comunes, autoportada, tensada y monopolo. La más barata de construir es la tensada, seguida de la monopolo. Cada una tiene sus ventajas y desventajas. Las torres tensadas requieren un espacio grande para sus tensores, los cuales pueden ser relajados o incrementados de acuerdo a la carga y altura de la torre. Estas son las torres más utilizadas y recomendadas para colocar no más de 10 antenas. Las torres autoportadas pueden alojar mayor cantidad de antenas, lo cual puede ser útil en casos cuando varios operadores utilizan la misma facilidad.

En Guatemala, desde el año 1,996, es obligatorio colocar balizas en todas las torres de comunicaciones debido a que son objetos que sobresalen claramente de la topografía. Esta ley se impuso a raíz de un accidente de avioneta contra los tensores de una torre en el Volcán de Pacaya.

Hay que tomar en cuenta que es necesaria una separación mínima de 40 pies entre la base de la antena de recepción (superior) y la punta de la antena de transmisión (inferior).

F. Recomendaciones para la caseta de repetición

Las casetas de repetición pueden construirse de varias maneras, con materiales como madera, lámina, fibrolit o incluso un contenedor de un camión. Lo más recomendable era hasta hace poco construir las de concreto (block o ladrillos), debido a su seguridad, durabilidad y aislamiento de temperatura. Pero actualmente existen nuevas técnicas que son muy efectivas (como el electropanel, una combinación en capas de duroport y concreto), por ser más rápidas, económicas y con mejor aislamiento de temperatura.

Algunas recomendaciones para la caseta se enumeran a continuación.

1. Temperatura. UNIDEN garantiza el funcionamiento normal del conmutador de ESAS entre los 10 y 40°C.

Mientras que para su almacenamiento, el conmutador puede mantenerse entre -20 y 65°C. Para la repetidora de ESAS el rango operacional es de 0 a 60°C.

Es importante tener un sistema de aire acondicionado en la caseta para mantener una temperatura apropiada. Se recomienda una temperatura de 20°C para la caseta. El sistema de distribución de aire acondicionado debe estar bien diseñado para que la temperatura sea constante en toda la caseta. Hay que considerar que a grandes alturas y con una caseta llena de equipo las especificaciones normales para el aire acondicionado no son válidas. Es decir, una caseta de determinado volumen necesitará un sistema de aire acondicionado de mayor potencia que un recinto del mismo volumen que se use, por ejemplo, como una oficina en una ciudad. Si no se toma en consideración lo anterior se tendrá como resultado la congelación de las tuberías del aire acondicionado (por uso excesivo) y el sobrecalentamiento de los equipos.

Si la caseta es grande, es conveniente colocarle ventanas a la misma para hacer posible una mejor ventilación.

2. Iluminación. Debe existir buena iluminación para poder trabajar sin problemas dentro de la caseta a toda hora. Es necesario colocar iluminación en cada pasillo entre las hileras de bastidores.

3. Piso. Por economía y utilidad se recomienda piso de cemento. Si se coloca piso de madera no se deben dejar espacios entre las tablas puesto que es común que se caigan tornillos o herramientas pequeñas y pueden caer en los espacios entre las mismas. Además, es fácil que se dañe el piso de madera cuando se trabaja con equipo pesado.

4. Espaciamiento. Se recomienda que el equipo de repetición se coloque en racks (estanterías especiales para equipo de comunicación). De hecho, tanto el conmutador como las repetidoras ESAS vienen diseñados para ello. Debido a esto, la altura del cielo de la caseta debe estar a más de 2.10 metros del suelo, ésta es la altura estandarizada de un rack. Por encima de los mismos debe haber espacio para el cableado respectivo, recomendándose una altura de no menos de 2.40 metros en el interior de la caseta.

Entre cada hilera de racks es prudente dejar un espacio de unas 30 pulgadas (75 cm) para poder trabajar en los equipos con facilidad.

5. Pasamuros. Pasamuros o Bull head es como se le conoce normalmente al espacio diseñado para servir de entrada y salida de los cables que van hacia el equipo de antena instalado en la torre. Es en realidad una caja de cobre aterrizada, con aberturas para introducir los cables o guías de onda (una por abertura). Tiene además puertos para asegurar los cables y donde poder instalar los protectores necesarios.

El nombre proviene de la apariencia que dan las guías de onda saliendo del mismo (como cuernos). Se consiguen bull heads hechos en fábrica o bien se pueden fabricar localmente en talleres dedicados al trabajo en metales.

G. Tierras en sitios de repetición

Debido a la creciente población de radios en los lugares principales de repetición (Volcán de Agua, Volcán Siete Orejas, Cerro Alux, Las Escobas), se ha empezado a notar con mayor frecuencia la presencia de interferencias en radio frecuencia. En muchos de los casos, la solución de estos problemas radica en los sistemas de tierras. A continuación se presentan algunas recomendaciones para las tierras en sitios de repetición.

1. Uso de tierras separadas. Aunque se piense que las tierras deberían medir “cero” volts DC con un multímetro, éstas pueden no ser apropiadas para usarse por algún circuito específico, debido al largo de la línea o a los requerimientos de corriente de otras cargas en esa línea.

Para entender lo anterior, considérese una carga de 20 amperios DC y una de 200 mA DC, ambas aterrizadas a lo largo de un hilo largo común a las dos, suficiente para manipular 25 amperios DC. Si la carga de 200 mA fue colocada entre la de 20 A y la “referencia de tierra”, y además la carga pequeña provee la energía para un circuito de audio pequeño, entonces será posible medir una mayor cantidad de ruido en el circuito de audio. Mayor de la que sería si las dos cargas de DC fueran aterrizadas por separado.

La razón de lo anterior es que las corrientes producidas por la carga mayor cambian el voltaje de referencia de la carga pequeña, creando un efecto en el cual las dos señales de DC parecen modularse una a la otra en el hilo de tierra común. Se debe notar que la carga relativamente pequeña de 200 mA no afectará significativamente la de 20 A, pero la corriente alta sí afectará significativamente a la corriente pequeña.

Este problema será eliminado en forma efectiva separando las corrientes de retorno de tierra a través de hilos de tierra individuales hacia las terminales de las fuentes de poder.

2. Eliminar “vueltas” de tierra. Otra situación que muchas veces resulta en problemas de interferencia relacionados con tierras es cuando dos caminos de tierra separados se conectan en un lugar distinto de la unión de tierra. Esta condición provee una “vuelta” eléctrica para corrientes de AC (incluyendo RF), lo cual puede amplificar señales no deseadas si las condiciones son apropiadas. Este es un fenómeno que se manifiesta de manera aleatoria, y que puede ser evitado al no crear ninguna vuelta de tierras.

Como ejemplo se puede considerar la mano de una persona, un circuito de tierras apropiado es como los dedos que salen de la mano cuando ésta se encuentra extendida sobre una mesa. Si una punta de un dedo se toca con otra, entonces se crea una vuelta local. La idea en los sitios de radio es eliminar todas las vueltas a lo largo de los caminos que van hacia la tierra de referencia.

3. Construir una buena referencia de tierra. Generalmente, esta "referencia de tierra" consiste de

varias varillas de cobre de 5/8" de diámetro, de 8 pies de largo, introducidas totalmente de manera vertical en el suelo; aunque también se pueden emplear mallas de tierra. Un alambre grueso o franja conecta usualmente esta referencia de tierra a una unión de tierra dentro de la caseta. Esta unión debe ser una barra de cobre sólida localizada físicamente cercana a las varillas de tierra. Las terminales que llegan a la unión deben ser soldadas para prevenir que la corrosión cause una resistencia eléctrica. El alambre que une la juntura con las varillas, debe ser soldado a cada lado también. Debe tenerse cuidado de no unir hilos de tierra, sean tierras de señales o de corazas protectoras ("shields"), a lo largo de retornos usados para dispositivos de protección para rayos..

4. Separar el sistema de protección de rayos. Los sistemas de protección de rayos deben mantenerse

separados de los otros hilos de tierra, solamente se unirán en la juntura de tierra del sistema. Las tierras del sistema para rayos deben ser conducidas a través de cables gruesos (típicamente AWG 6 o mayores), y usando las distancias más cortas posible. No deben tener vueltas ni curvas pronunciadas (un radio mínimo de 8"). Estos cables deben mantenerse separados de otros cables del sitio, así como de gabinetes y chassises, no más cerca de 8".

Hay que recordar que el principal objetivo de las tierras de los circuitos es proveer un camino de baja impedancia entre las corazas de la circuitería de señalización. Las tierras para protección de rayos proveen un camino de baja impedancia para pasar por alto el cableado de los equipos, y con ésto mantener a la circuitería alejada de las altas corrientes de los rayos.

5. Usar conductores gruesos. Las tierras para las corazas protectoras son más efectivas cuando son usados los cables más gruesos posible. Esto es debido al "efecto de piel", de acuerdo al cual, la energía en RF tiende a fluir principalmente a lo largo de la superficie de un conductor. Entonces, un conductor mayor, que tenga una mayor área de superficie, conducirá el ruido de RF a tierra mejor que uno pequeño. Generalmente es recomendado el calibre AWG 8, debido a un compromiso entre desempeño y precio.

6. Protección de las guías de onda. Se deben unir tiras de cobre aterrizadas al conductor externo del cableado en la torre. Una buena protección de rayos requiere el uso de una tira de tierra en la base de la torre, y a intervalos de 20 pies a lo largo de la torre, así como a la entrada de la caseta o bull head. Todas las conexiones deben estar adecuadamente selladas para mantener fuera la humedad y minimizar la corrosión.

H. Sistemas de antenas

Debido a que cada sitio tiene sus requerimientos únicos, el sistema de antenas y combinación de las mismas debe ser especialmente elegido. Existen numerosos métodos para combinar antenas, existiendo varias compañías que fabrican equipos de combinación de calidad que pueden reunir muy variadas necesidades. El sistema básico de antenas para cada canal incluye una antena de recepción y una de transmisión, y se recomienda que para la banda de 800 MHz exista una separación de por lo menos 40 pies entre las mismas. En sistemas troncalizados es casi un requisito utilizar métodos para "ahorrar" antenas, debido a la cantidad de canales con los que se trabaja en un sólo sitio. Sería casi imposible hacer el cableado e instalar las guías de onda para un sistema de, por ejemplo 20 canales, si no se usaran técnicas de combinación de antenas (para emplear una antena para varios transmisores y/o receptores). Esto provee

además un servicio uniforme en todos los canales y un ahorro considerable de presupuesto. Los elementos principales de los sistemas de antenas son los que siguen.

1. Combinadores de transmisión. Combinan múltiples transmisores en una misma línea de alimentación o antena. Se colocan a la salida de potencia de los canales y tienen una única salida que es la combinación de las señales entrantes, con esto se ahorran antenas, guías de onda y cableado de transmisión. Algunas especificaciones importantes de los combinadores son: aislamiento Tx – Tx (o sea, entre las entradas del combinador); aislamiento antena – Tx (entre entrada y salida del combinador); inserción de pérdidas; espaciamiento mínimo en frecuencia; y máxima potencia de entrada.

Existen dos tipos básicos de combinadores, los de cavidad y los híbridos. Los de tipo cavidad son usualmente más económicos y tienen una menor pérdida que los híbridos. Sin embargo, para usar este tipo de combinadores, debe haber una separación de frecuencias grande entre los canales del mismo (típicamente el mínimo es 250 kHz). Si la separación es pequeña, usualmente se requerirá un combinador de tipo híbrido.

2. Multiacopladores de recepción. Conecta una antena a múltiples receptores. Los multiacopladores de recepción consisten en un amplificador de bajo ruido (LNA, por sus siglas en inglés) y un divisor. El LNA recibe la señal de entrada, la amplifica y su salida es dividida en varias salidas individuales para los puertos de recepción de cada canal. También provee aislamiento entre los puertos de salida conectados a los receptores. Generalmente, si un puerto no está siendo utilizado, debe estar terminado con una carga de 50 ohms. Tiene también un filtro pasabandas entre la entrada del LNA y la antena para prevenir una sobrecarga por la señal de transmisión (que tendrá un nivel alto debido a la cercanía del equipo y no se desea que sature la recepción) y atenuar señales grandes que estén fuera de banda.

El LNA sirve para recuperar la atenuación de la señal debido a las pérdidas en el filtro pasabanda y el divisor. La ganancia del amplificador deberá ser la mínima requerida para compensar las pérdidas del filtro más 1 o 2 dB. Demasiada ganancia puede resultar en la amplificación de señales no deseadas y que no han sido filtradas lo suficiente por el sistema. Esto podría sobrecargar a los receptores y enmascarar la señal deseada. La pérdida del filtro pasabandas y la figura de ruido del amplificador son parámetros clave para determinar la sensibilidad de los receptores de la red, es decir, cuánto pueden detectar señales pequeñas.

Algunas especificaciones importantes de los multiacopladores son: aislamiento entre puertos de recepción (entre mayor mejor), figura de ruido del amplificador, punto de intercepción de tercer orden (nivel de salida donde las respuestas fundamental y de tercer orden son iguales), ancho de banda del filtro pasabandas (usualmente de 3dB de tolerancia), y banda de rechazo del filtro pasabandas.

3. Preamplificadores de recepción. Son usados para amplificar las señales de recepción antes de que las pérdidas de las líneas que van hacia el equipo de recepción los afecten. Se colocan en la torre, al lado de la antena de recepción. La fuente de energía (DC) llega hasta allí generalmente por medio del cableado de recepción, es decir, mezclada con la señal de RF. Generalmente antes de entrar al preamplificador, la señal pasa por un preselector, que es un filtro de rechazo de banda ancha, el cual está diseñado para dejar pasar toda la banda en la que se trabaja (en este caso, toda la banda de 800 MHz). Este equipo está protegido dentro de una caja hermética llamada tower top.

La función de este equipo no es combinar antenas, pero en sistemas troncalizados no tiene sentido usarlo sin un sistema de combinación de antenas debido al espacio limitado y la complejidad que se crearía en la torre.

4. Duplexores. Los duplexores son dispositivos que permiten la conexión del receptor y transmisor

de un radio a una antena común. Un duplexor debe proveer aislamiento al receptor a la frecuencia de transmisión, y atenuación del ruido de transmisión a la frecuencia de recepción.

Los requerimientos para un duplexor pueden ser determinados de las curvas de operación del fabricante y el rango de comunicación necesario. Las curvas de operación del duplexor proveen el aislamiento de recepción y la supresión de ruido de transmisión necesarias para el funcionamiento del radio. La potencia del radio y la distancia de la comunicación determina los límites de la pérdida en el duplexor.

En general, cuando la separación entre transmisión y recepción es amplia, se pueden usar duplexores con cavidades pasabandas. La ventaja de usar cavidades pasabandas es que proveen aislamiento a cualquier señal fuera de la banda de paso, no sólo de la frecuencia de transmisión. Cuando las separaciones de frecuencias son pequeñas, deben ser usados duplexores de cavidades de rechazo de banda (notch). Las cavidades de rechazo de banda pueden proveer un buen aislamiento y tienen una pérdida pequeña. La desventaja de los mismos es que carecen de aislamiento en frecuencias que no sean la del transmisor.

Los duplexores de paso-rechazo utilizan cavidades pasabanda y de rechazo de banda en cascada. Son ideales para áreas congestionadas o con interferencia, y también para espacios pequeños entre frecuencias de transmisión y recepción. La desventaja es que su costo es mayor.

De aquí nace la pregunta de qué es mejor, un sistema con una antena solo para recepción y otras de transmisión, o una única antena para recepción y transmisión. Idealmente, un sistema con duplexor es mejor debido al costo y a la parte técnica. El factor de costo es el precio de la antena adicional, guía de onda, cableado y montaje contra el precio de un duplexor. En la parte técnica el punto es que cuando tanto transmisión y recepción comparten la misma antena, el área de cobertura será el mismo para ambas.

Sin embargo, en los sistemas troncalizados, más de un canal compartirá el uso del duplexor, entonces la operación del mismo puede que no sea práctica debido al espaciamiento en frecuencia de los canales. En estos casos es común combinar los transmisores en una antena y los receptores (usando multiacopladores) en otra. Además, en general, cuando un móvil empieza a perder cobertura, se debe a que la señal de transmisión del mismo no puede ser detectada por el sistema de recepción de la repetidora (la repetidora transmite p.ej. 75 W mientras un portátil 1.5 W o menos). Por lo cual es recomendable (sobre todo en áreas montañosas) que la antena de recepción de la repetidora esté a mayor altura que la de transmisión. Esto se hace para que el móvil no reciba información de la repetidora cuando en realidad está fuera de cobertura.

5. Antenas para repetidoras. En general, si el sitio de repetición está localizado en un lugar cercano al centro del área de cobertura deseada, deberán ser usadas antenas de tipo omnidireccional. Para sitios localizados cerca de los extremos del área de cobertura deseada, se requerirán antenas con características direccionales.

En la mayoría de los casos, cuando se instala un sitio de repetición, se desea que tenga la mayor área de cobertura. Esto se obtiene utilizando antenas omnidireccionales. Se debe tener presente que los sistemas en una misma torre y a la misma altura puede que no tengan exactamente el mismo área de cobertura. Después de la topología del terreno, el factor más importante que afecta la cobertura es el montaje de las antenas en la torre. La misma actúa como un reflector pasivo y puede agrandar o disminuir el área de cobertura. La cara de la torre donde se coloca la antena también influye en el área de cobertura.

En lo que se refiere a ganancia de la antena, más no es siempre lo mejor. Una antena de alta ganancia en la cumbre de una montaña o un edificio puede resultar en la creación de puntos muertos en la base de estos.

6. Antenas para transreceptores móviles. En áreas donde la cantidad de señal reflejada es pequeña (áreas rurales planas), una antena de ganancia puede ser beneficiosa. Las antenas Yagui de mayor ganancia tienden a ser más direccionales que las de menor ganancia, por ello muchas veces, en puntos montañosos difíciles, una antena Yagui de poca ganancia funciona mejor, esto se debe a que tiene mayor oportunidad de alcanzar señales por rebote. Los centros urbanos (sobre todo la ciudad de Guatemala) tienden a ser los centros de mayor interés para la cobertura de los sistemas. Por ello lo más probable es que tengan línea de vista con los sitios, por lo cual las características de la antena móvil no son tan críticas generalmente. En todo caso, para lugares difíciles, es recomendable probar con por lo menos un par de antenas distintas para establecer cual funciona mejor.

Las antenas instaladas en vehículos deben ser montadas en la parte más alta del mismo para un mejor funcionamiento; sin embargo, es posible colocarlas también en las defensas o en lugares en los que la antena no quede junto a una mayor altura del vehículo.

7. Conectores y cables. En la banda de 800 MHz, no es recomendable utilizar conectores UHF ni PL259 debido a su pobre desenvolvimiento en alta frecuencia. Esto puede causar disminución de la potencia de salida y un sobrecalentamiento del equipo. A pesar de esto, en Guatemala es posible encontrar antenas para 800 MHz con conector UHF debido a su menor costo (\$ 2 vrs \$ 7 del N), generalmente manufacturadas localmente. El conector más recomendable es del tipo N, que es con el cual vienen todos los equipos fijos para ESAS y los equipos de antena. En todo caso, se debe tener especial cuidado al instalar los conectores debido a que pequeñas discontinuidades pueden causar grandes pérdidas en potencia.

A veces no se repara en el impacto que puede provocar el elegir un cable inapropiado en las conexiones de los transreceptores móviles. Se debe poner atención a la pérdida en el cable. Por ejemplo, para una longitud de cable de 30 pies, el cable RG58 tiene una eficiencia de 33% (4.8 dB de pérdida), el RG8 75%

(1.2 dB), y el cable flexible de 1/2" 86% (.6 dB). La desventaja de los cables de baja pérdida es su costo y su poca maniobrabilidad (debido al grosor y flexibilidad). Es funcional trabajar con un cable delgado como RG58 en condiciones de buena cobertura y con tramos cortos, no así en áreas difíciles.

Para instalaciones de radios en vehículos, es conveniente utilizar cable delgado debido al espacio limitado y a la estética. En todo caso las distancias rara vez exceden los 10 pies, lo cual equivale a una eficiencia del 70% (1.5 dB de pérdida).

Para las conexiones de los equipos de repetición, es indispensable utilizar cable flexible de baja pérdida (p.ej. Andrew de 1/2") debido a que la pérdida en el cableado afectará la cobertura y calidad de comunicación de todos los usuarios del sistema. El cable que recorre el tramo de la caseta a la torre debe ser especialmente bajo en pérdida; debido a que la distancia entre la antena y la entrada de la caseta es considerable. Para un tramo de 200 pies, el cable flexible de 1/2" tiene una eficiencia del 35%, el de 7/8" 70% y el de 1 1/4" 75%.

Para mayor información acerca de tipos de cable, conectores, antenas y equipos de medición en radiocomunicaciones es conveniente consultar el manual que producen anualmente compañías como TESSCO.

I. Enlaces

Existen muchas formas para enlazar sitios de repetición. Mientras que para sistemas de radio convencionales se pueden utilizar radios base conectados a la repetidora de cada sitio (con antenas orientadas hacia el sitio opuesto), los enlaces para sitios con transferencia de datos y canales múltiples requieren equipo especial.

Son dos los tipos de enlace más usados: vía microonda y satelitales.

Los enlaces satelitales, aunque de mayor costo, tienen la ventaja que pueden establecerse para sitios alejados entre sí (existe un proyecto para crear una red ESAS a nivel centroamericano).

J. Línea de vista y área despejada necesaria para enlaces de microonda

Para los enlaces con microonda, la línea de vista es el requerimiento más crítico para la elección de sitios, y debe incluir un área despejada con un radio que abarque la Zona de Fresnel para impedir la pérdida de señal. La Zona de Fresnel es el elipsoide de revolución cuyo corte transversal tiene un radio que es .6 veces la primera distancia de Fresnel, que es (para enlaces en 2.5 GHz) aproximadamente 20 metros en el punto medio de un camino de 15 kilómetros y 40 metros en el punto medio de un camino de 60 kilómetros.

A este radio de la Zona de Fresnel se le debe agregar el correspondiente para la curvatura de la tierra, que es (para el punto medio de enlaces de 2.5 GHz) 13 pies para enlaces de 10 millas, y 200 pies para enlaces de 40 millas.

Posibles obstrucciones como edificios y árboles deben ser determinadas directamente siguiendo el camino del enlace.

Para distancias cortas, el área despejada se verifica simplemente de manera visual.

Un criterio comúnmente usado para determinar el radio del área despejada recomendable, usado para sistemas de baja capacidad en el área de 2 GHz es:

$$Rd (\text{pies}) = .6 F_1 + Ec + 10^3, \text{ con } K=1 \quad (21)$$

Donde:

Rd : es el radio (en pies) de área despejada recomendable

F₁ : es el radio (en pies) de la primera Zona de Fresnel

$$F_1 = 72.2 (d_1 * d_2 / (F * D))^{1/2} \quad (22)$$

Ec : es el cambio, en distancia vertical (pies), debido a la curvatura de la tierra

$$Ec = d_1 * d_2 / (1.5 * K) \quad (23)$$

d₁ y d₂ : son las distancias (en millas) hacia la primera y segunda antenas, respectivamente

F : es la frecuencia, en GHz

D : es el largo del camino del enlace (millas)

K : es el radio de la tierra equivalente, en condiciones atmosféricas normales K = 4/3

Es de notar que al tomar K = 1 se está considerando un radio de la Tierra algo menor al real, con lo cual se está calculando un Rd un poco mayor. De esta manera tenemos un nivel extra de seguridad en el cálculo del enlace.

K. Presupuesto de enlaces punto-punto

El presupuesto de enlace es un procedimiento para balancear las ganancias y pérdidas en el diseño de enlaces punto - punto o punto - multipunto, para determinar el nivel de señal de recepción (RSL, por sus siglas en inglés), y el margen de desvanecimiento.

Para calcular el nivel de señal de recepción esperado, para un enlace típico de microonda utilizando antenas parabólicas, se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{RSL (dBm)} = \text{OP} + 2\text{G} - \text{PL} - 2\text{FL}, \quad (24)$$

donde:

- OP es la potencia de salida del transmisor (típicamente al rededor de 28 dBm).
- G es la ganancia de la antena, en dB, en cada lado. En enlaces de 2.5 GHz, 21 dB para antenas de 2 pies, 27 dB para 4 pies, 31 dB para 6 pies, 35 dB para 8 pies.
- FL es la pérdida debida al cable, en dB, en cada lado.
- PL es la pérdida por espacio libre, en dB, que se encuentra de:

$$\text{PL (dB)} = 96.6 + 20 \log_{10} F + 20 \log_{10} D$$

- F = frecuencia de transmisión en GHz,
- D = distancia en millas.

El margen de desvanecimiento del enlace es la diferencia entre el RSL y el umbral de recepción. Este número (en dB) muestra la pérdida extra que puede ser tolerada en el enlace antes que la señal se degrade excesivamente. Márgenes de desvanecimiento grandes son deseados para sistemas confiables, especialmente para enlaces largos. Un buen margen de desvanecimiento también mejorará el margen de interferencia.

En un equipo típico de microonda, el umbral de recepción está alrededor de -90 dBm (claro que depende de la banda de frecuencia, modulación y marca), y se recomiendan márgenes de desvanecimiento de superiores a 40 dB. Lo anterior resulta en un RSL recomendable superior a -50 dBm.

I. Presupuesto de enlaces punto-multipunto

La comunicación sitio de repetición - radios móviles es en realidad un enlace punto - multipunto. Se puede calcular un nivel de señal de recepción aproximado, tanto para la recepción en la repetidora como en el móvil. Utilizando las fórmulas (25) y (26) se obtienen los valores para el nivel de recepción en la repetidora y en el móvil, respectivamente.

$$RSL_R \text{ (dBm)} = OP_M + G_M - PL + G_R + G_{TT} - FL_R + G_{MA} - P_{CR} \quad (25)$$

$$RSL_M \text{ (dBm)} = OP_R - P_{CT} - FL_T + G_T - PL + G_M \quad (26)$$

donde:

- OP_M y OP_R son las potencias de salida del móvil y la repetidora.
- G_M , G_R , G_T son las ganancias de la antena del móvil, y las de recepción y transmisión del sitio de repetición.
- PL es la pérdida por espacio libre.
- G_{TT} es la ganancia en el tower top, si lo hubiere.
- FL_R y FL_T son las pérdidas de los cables que bajan de la torre, en recepción y transmisión.
- G_{MA} es la ganancia del multiacoplador de recepción, si lo hubiere.
- P_{CR} y P_{CT} son las pérdidas debidas a conectores y protectores en recepción y transmisión, respectivamente.

El umbral de recepción, tanto para equipos móviles o repetidoras ESAS, se establece generalmente en

-115 dBm. Con esta señal se debe tener en la repetidora un porcentaje de paquetes recibidos correctamente de 95% o más. Para los móviles, con una señal de -115 dBm, se debe tener una relación señal - ruido de 12 dB a la salida de audio.

M. Enlaces para una red ESAS

Cuando un sistema ESAS se compone de varios sitios, debe existir una red de voz y datos entre los mismos. Para mayor facilidad en el manejo y modificación de datos y parámetros del sistema, es recomendable tener una celda manejadora de la red en un lugar como la oficina del operador del sistema. Esta celda no tendrá repetidoras sino solamente un conmutador de ESAS que servirá para modificar parámetros, manejar datos y diagnósticos de los sitios de la red.

La red de datos del sistema es un recurso necesario para la conexión entre sitios. Se compone de modems conectados a los sitios, los cuales se comunican con otros similares de la red. Sus funciones son la localización de radios, manipuleo de información de configuración, y diagnósticos.

La red de voz se compone de líneas telefónicas discadas o dedicadas. Sirve para funciones de telefonía o llamadas entre sitios. Tiene la capacidad de usar la función de enrutamiento de menor costo, opción que permite utilizar, por ejemplo, líneas discadas solamente en el caso de que no estén disponibles líneas dedicadas.

Para definir los enlaces de datos y de voz, el software de ESAS provee una pantalla especial, llamada "Cell List". En esta pantalla se definen, para cada celda, los enlaces de voz o datos que la enlazarán con cada una de las otras celdas de manera particular. En el caso de datos se define qué modem y qué número deberá marcar ese modem para comunicarse con una celda o grupo de celdas.

Si se efectúa una llamada que requiere un enlace de voz, el software utilizará el número indicado para enlace de voz en "Cell List", con el cual sabrá qué recurso (línea telefónica conectada al conmutador) utilizar según el caso. Por ejemplo, si entre las celdas 15 y 16 existen líneas dedicadas, el número indicado en "Cell List" para interconexión entre los sitios conducirá al software a utilizar estos recursos específicos.

N. Formas de localización de un radio en la red

Desde la versión ESAS 1.73, existen dos modelos que pueden ser usados para determinar cuantas celdas en la red deben ser informadas cuando un radio "firma" en una celda. Con el modelo estándar, solamente la celda anfitrion y la celda base conocen la localización del radio. Con este modelo, tres celdas como máximo deben ser informadas de un movimiento de radio (su nuevo anfitrion, su antiguo anfitrion y su celda base).

La mayor ventaja de este modelo es que minimiza los costos de comunicación debido a un volumen bajo de datos transmitidos. La mayor desventaja es que si un radio recibe una llamada originada en una celda que no sea su anfitrion o su celda base, la llamada será dirigida primero a la celda base y de allí a su anfitrion. Normalmente esto no debe ocurrir en llamadas de interconexión si el operador ha planificado bien la red.

Para casos en los cuales el modelo anterior no provee un servicio adecuado, existe el modelo de localización replicada. En este modelo, el sistema informa a un número de celdas acerca del movimiento de radios en la red. Con este método, las llamadas son dirigidas directamente a la celda anfitrion sin pasar por la celda base. Este método provee un menor tiempo de establecimiento de enlaces y calidad de audio, a expensas de enviar significativamente más tráfico en la red.

Es posible hacer combinaciones de los dos métodos anteriores, informando a algunas celdas de todo el movimiento en la red, mientras a otras no.

N. Establecimiento de umbrales de cambio de celda

En el sistema ESAS los radios pueden cambiar automáticamente de celda si no se cumple una calidad mínima de recepción. Esto no garantiza que se elija la mejor celda, sólo que está firmado en una celda con un nivel de señal aceptable. Los dos parámetros que se consideran son el FER (Frame Error Rate) y el intervalo de tiempo en que se recoge información. Se deben conducir pruebas de campo para determinar los umbrales adecuados.

Se recomienda que para celdas que cubran áreas importantes y relativamente pequeñas (p.ej. ciudad de Guatemala), se trabaje con un FER pequeño, muestreado en intervalos cortos (pero lo suficientemente grandes para que no afecte, por ejemplo, el paso de un túnel). Esto se hace para garantizar la mejor calidad de servicio en áreas importantes. Un 40% de FER y un intervalo de 30 segundos son valores razonables para un área urbana.

Para sitios con una cobertura amplia, como el del volcán de Agua, es conveniente tener un FER aceptable más alto, muestreado en tiempos más largos. De esta manera se puede tener una cobertura mayor (aunque baje la calidad de la señal) y se puede evitar que el radio busque otra celda cuando se pasa por "puntos muertos". Un 75% de FER y un intervalo de 5 minutos son valores aceptables para áreas rurales.

Los umbrales de cambio de celda garantizan solamente que en la celda que esté firmado el radio, podrá recibir señalización del sistema. Pero los radios, sobre todo portátiles full duplex, tienen una potencia de salida mucho menor que los canales del sitio de repetición. Entonces se puede dar que el radio reciba la señalización del sistema con normalidad, mientras que el sistema no puede recibir la señalización

proveniente del radio. Por ello es importante balancear el rango de transmisión y recepción del radio. Esto se puede lograr ajustando el activador de recepción (carrier squelch) del radio portátil para que se abra con una señal muy alta (típicamente 18dB de relación señal-ruido en el audio), para que no pueda recibir tramas de datos de la repetidora cuando en realidad está fuera de cobertura.

O. Interferencias

Los problemas de interferencia en 800 MHz generalmente caen dentro de tres categorías: ruido de transmisión, desensibilización de recepción, e intermodulación.

1. Ruido de transmisión. El ruido de transmisión es debido a que la salida de un transmisor típico no está limitada a una franja angosta de frecuencias, y puede transmitir espúreas en la frecuencia de recepción. Si no fuera porque el receptor espera recibir información de datos, se quedaría abierto el transmisor y el canal entraría en un "loop". Entre más cercanas estén las frecuencias de transmisión y recepción, será más el ruido de transmisión en la frecuencia de recepción. Cada canal tiene una separación Tx-Rx de 45 MHz, pero en un sistema con varios canales la separación puede llegar a ser de 27 MHz.

El ruido de transmisión se detecta en los móviles cada vez que transmite el canal afectado y el causante a la vez, y produce un ruido de estática fuerte a la par de la voz.

Se recomienda una separación mínima de 40 pies entre la base de la antena de recepción (superior) y la punta de la de transmisión (inferior). Esto es suficiente para eliminar el problema la mayoría de las veces. Otro método, radical, que debe ser implementado sólo temporalmente es bajarle potencia al equipo, con la desventaja de pérdida de alcance.

Otra fuente de ruido de transmisión es la que puede causar un equipo en otras frecuencias que esté instalado en la misma caseta y torre. En este caso el ruido de transmisión se debe a armónicas que se generan en múltiplos de la frecuencia de transmisión fundamental.

2. Desensibilización del receptor. La desensibilización en recepción ocurre cuando niveles altos de señales fuera de la frecuencia de recepción, pero cercanos a ella, sobrecargan la circuitería en la entrada del receptor. Estos niveles altos de señales pueden deberse a los transmisores del sistema, intermodulación, o bien a señales que están en frecuencias de recepción de la banda de 800 MHz, pero que corresponden a otro canal del mismo sistema o de otro similar. Debido a que los filtros y antenas utilizados en recepción cubren casi toda la banda baja de 800 MHz (Rx), este último caso es el más común.

El síntoma que produce la desensibilización es que se vuelve difícil acceder al canal, se reduce la cobertura del mismo. Un método sencillo para comprobar la existencia de este problema es hacer pruebas en el sitio mismo, poniendo a transmitir un móvil a la frecuencia de cada uno de los canales. En cada caso se debe comprobar si se activa la circuitería de recepción de algún otro canal que no sea el indicado.

La desensibilización puede ser eliminada teniendo un mejor espaciamiento entre canales, filtrando la entrada del receptor afectado (o de todo el sistema de recepción), o atenuando la entrada del mismo (esto es necesario cuando el problema es producido por frecuencias en la misma banda).

3. Intermodulación. Intermodulación es la mezcla de dos o más señales que producen una tercera o cuarta frecuencia que no es deseada. Todos los sitios producen intermodulación debido a que hay más de un canal en el sitio. Sin embargo, el hecho que existan productos de intermodulación no significa que haya un problema. Para que ocurra la intermodulación, debe estar presente un punto mezclador. Esta mezcla puede ocurrir en la salida del transmisor que produce la señal a mezclar o bien en la entrada del receptor afectado.

Se pueden producir intermodulaciones de segundo orden debido a la mezcla de dos señales en la banda de 400 MHz (suma), o debido a la resta de una señal de transmisión en 800 MHz con una de 45 MHz. De la misma forma se pueden tener intermodulaciones de orden mayor.

La intermodulación puede ser causada por conectores o antenas defectuosas, fuentes de poder con espúreas, o por malos sistemas de tierras. Sin embargo, la mayoría de los problemas de intermodulación son resultado de un problema en el sistema de antenas del sitio.

Se detecta a veces cuando la señal de voz recibida en el móvil se distorsiona por un tono variable y bajo en frecuencia. Si la intermodulación está saturando el receptor, entonces se tiene también una desensibilización en recepción.

La intermodulación debe ser eliminada en el punto de mezclado debido a que es un tipo de interferencia que está en la frecuencia de recepción (y no cerca de ella). Para determinar de donde viene el problema se debe corroborar que las conexiones, antenas y tierra del equipo estén en buenas condiciones. Es conveniente utilizar un analizador de espectro, el cual medirá el nivel de señal y servirá de guía para acercarse al punto de mezclado.

Para conducir un estudio de intermodulación se debe determinar si existen más transmisores colocados en las cercanías, pertenecientes a otros operadores. Se recolecta entonces información acerca de las frecuencias, tipos de antenas, tipo de emisión, potencia, localización de las antenas y operador de los equipos que estén en el área cercana al equipo propio. Con esta información se puede investigar la posibilidad de cruce por intermodulación en las frecuencias asignadas y determinar una hipótesis del origen del problema. Se deben hacer mediciones a lo largo de un tiempo suficiente para poder tener datos estadísticamente significativos.

Generalmente el problema puede ser resuelto a través de un mejor aislamiento (filtros, atenuadores, mejoramiento de tierras), si no, será conveniente cambiar las frecuencias afectadas.

P. Mediciones regulares del sistema

Es conveniente hacer un programa de mediciones regulares del sistema, guardando un registro de los resultados del mismo. Así se puede detectar cualquier variación en la potencia, modulación y umbral de recepción de los canales. Para que este programa de mediciones regulares sea fiable, debe realizarse siempre desde el mismo lugar, con la misma antena y equipo de medición. Cualquier cambio en los datos recopilados puede ser signo de un problema en los equipos.

Algunos datos que se pueden recopilar en estas mediciones periódicas son el nivel de señal que se recibe, modulación de audio y datos, error en frecuencia y umbral de recepción, todo esto por cada repetidora. También es conveniente probar todas las líneas telefónicas del sistema.

Q. Reutilización de frecuencias

Las frecuencias son un recurso limitado, por eso cuando se tienen sistemas de varios sitios, es importante considerar la reutilización de frecuencias para sitios alejados entre sí. Por ejemplo, es posible utilizar las mismas frecuencias para un sitio que cubra el suroccidente y para otro que cubra Izabal.

Los sistemas compatibles con LTR tienen una protección adicional, el uso de "Áreas", de las cuales se habló con anterioridad.

Es posible incluso tener varios sitios de repetición que usen las mismas frecuencias y el mismo código de área, y de esta manera hacer que los radios móviles trabajen en cada uno de ellos utilizando el mismo canal programado. Sin embargo, en sistemas SMRS no es recomendable debido a que existirán usuarios con área amplia y otros sin ella.

V. CÁLCULOS Y RESULTADOS

A. Introducción

La empresa "Comunicaciones Alternativas S.A.", con sede en la ciudad de Guatemala, desea establecer una red de radiocomunicación con acceso telefónico a las áreas más importantes del país. Se desea brindar el servicio también en áreas que no tienen cobertura actual con ninguna empresa de radio, pero que tienen una buena cantidad de clientes potenciales de radio y telefonía.

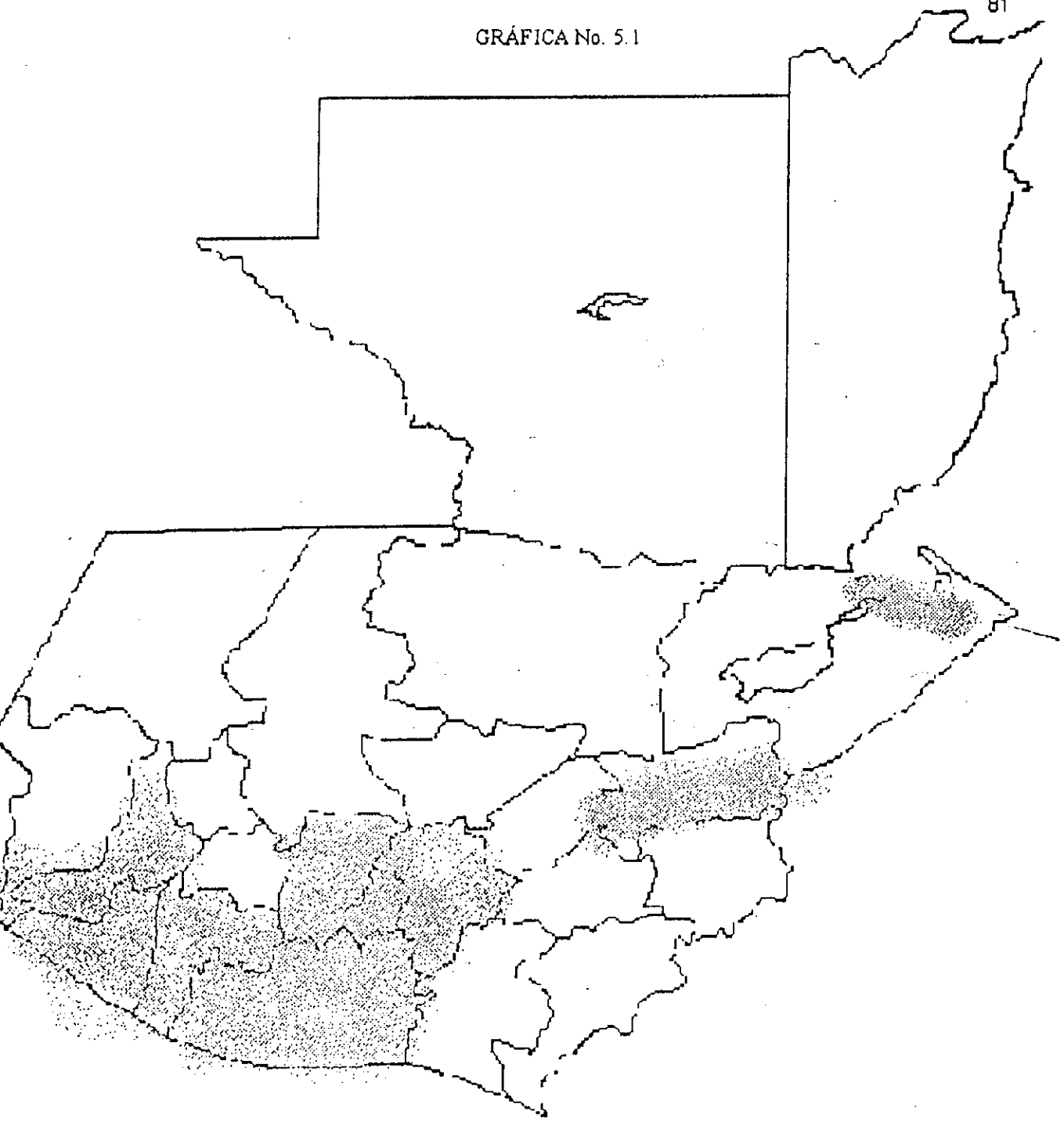
Los lugares principales que se desea cubrir son: Ciudad de Guatemala, Villa Nueva, Amatitlán, los Departamentos de Sacatepéquez, Chimaltenango, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango, la parte cálida de San Marcos (sur), también las regiones de Zacapa, Teculután, Río Hondo, y el área de Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla.

Con base en estudios realizados con anterioridad, se encontró que el número de clientes por región geográfica que se puede llegar a tener en un intervalo de dos años, es el que se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1
Número de clientes de radio y telefonía,
por región geográfica.

Región	Radio	Telefonía
Ciudad de Guatemala	900	700
Villa Nueva - Amatitlán	400	100
Escuintla	250	150
Sacatepéquez	250	150
Suchitepéquez	250	150
Retalhuleu	200	100
Quetzaltenango	450	250
Puerto Barrios - Santo Tomás	300	100
Zacapa	200	100
San Marcos	100	50
Norte de Chimaltenango	150	50
Sur de Chimaltenango	100	50
Total	3550	1950

GRÁFICA No. 5.1



**COBERTURA DESEADA DEL
SISTEMA**

B. Elección de sitios de repetición

Para el área central del país, existen varios sitios con los que se puede trabajar. Los principales son: los volcanes de Pacaya, Agua y Acatenango, y para el área de la capital, el Cerro Alux, Muxbal, y el área del mirador de carretera a El Salvador.

Acatenango es el tercer volcán de Guatemala en altura, sin embargo no es viable instalar un sitio de repetición en la punta debido a que ésta es arenosa. Se pueden colocar sitios en la parte media del volcán, para cubrir Chimaltenango.

El Volcán de Pacaya es un buen sitio para cubrir Escuintla y Amatitlán, pero el punto más alto para colocar sitios no es la punta (es un volcán activo), sino el lugar conocido como Cerro Chino. Aun en éste lugar existe a veces peligro debido a la actividad del volcán, por lo cual ya no se han colocado más casetas últimamente.

El Volcán de Agua tiene la ventaja que tiene línea de vista con la ciudad capital, y casi todo el centro del país. Es también un buen punto para establecer enlaces debido su gran cobertura. Tiene la desventaja que el acceso a la cumbre del mismo debe hacerse a pié o en bestia, un recorrido de aproximadamente 3 horas, además, la altura puede afectar el funcionamiento del equipo, y el clima y el servicio eléctrico son malos. Sin embargo, en la cumbre existe gran cantidad de casetas, lo cual puede ser ventajoso para conseguir guardianes y cargadores de equipo. A pesar de sus inconvenientes, es un sitio apropiado para cubrir las áreas de Escuintla, Sacatepéquez, Villa Nueva, Amatitlán, y la parte norte de Chimaltenango, hasta Los Encuentros (Sololá).

Al Volcán de Agua se llega desde la Antigua Guatemala siguiendo (en carretera pavimentada) hasta Santa María de Jesús y de allí media hora en carretera de terracería hasta el lugar conocido como la curva del INDE. Siguiendo 2 o 3 horas a pié o en bestia hasta la cumbre. La misma se encuentra a 3,700 m.s.n.m. Aunque esta altura sobrepasa la garantizada para el funcionamiento de un conmutador de ESAS, actualmente está en funcionamiento un conmutador en la cumbre, el cual teniendo un buen sistema de aire acondicionado, no da ningún problema. Existe un plan para reparar la carretera desde Santa María de Jesús hasta el lugar conocido como Mal Paso (a una hora de la cumbre), este proyecto será realizado probablemente en el mes de julio de 1,999.

El Volcán de Agua puede cubrir el área de la ciudad de Guatemala también, y proveer un servicio radio-radio aceptable. Sin embargo, es un lugar relativamente lejano a la ciudad, lo cual causará seguramente un servicio de radiotelefonía portátil deficiente (p.ej. llamadas que se cortan si el usuario está en movimiento, etc.). Esto es debido a que en algunos puntos se pierde la línea de vista con el Volcán de Agua, además los aparatos de telefonía portátiles full duplex tienen una potencia baja (.3 - .6 W) y probablemente una antena con pérdida. De aquí surge la necesidad de colocar otro sitio de repetición diseñado para cubrir exclusivamente la ciudad de Guatemala.

La experiencia práctica ha demostrado que los dos sitios más convenientes para cubrir la capital son el Cerro Alux y el área de carretera a El Salvador (Muxbal o Mirador). De estos dos lugares el Cerro Alux es el que se considera más conveniente, debido a la cobertura que tiene en carretera al Atlántico (aproximadamente hasta Llano Largo) y el área de Mixco y San Lucas Sac. Además, el acceso a este sitio es bastante sencillo, está a veinte minutos de la carretera a San Lucas Sacatepéquez, cruzando a la altura de Choacorrál. Se encuentra a 2,300 m.s.n.m.

Para el área del Suroccidente del país, es conveniente colocar un sitio de repetición en el área del altiplano, debido a que por la altura se tiene dominio del área de la costa. El sitio más conveniente para este

fin es el del Volcán Siete Orejas. Desde este sitio se domina el área de la ciudad de Quetzaltenango, y el área de la llanura costera de Occidente (Retalhuleu, Coatepeque, Mazatenango, Tecún Umán, etc.). En este lugar existe buena cantidad de equipos de radiocomunicación ya instalados, se tiene posibilidad de guardiana y carretera hasta el lugar. Se encuentra a 3,200 m.s.n.m.

Otros sitios como el Volcán Santa María (el cuarto en altura en Guatemala) no son viables, pues a pesar de dominar un área similar a Siete Orejas, el acceso a la cumbre es a pié y bastante difícil, además, en la cumbre no existe fluído eléctrico, y no es un sitio apto para instalar una caseta o torre, debido a la cercanía del Volcán Santiaguito y a que es un sitio con un espacio muy limitado.

Las dos cumbres máximas del país, los Volcanes Tajumulco y Tacaná no cubren toda el área del Suroccidente, no tienen servicio eléctrico y son de difícil acceso (sobre todo el Tacaná). Además, a veces pueden ser lugares peligrosos por delincuencia.

Entre las áreas cubiertas por Siete Orejas y Volcán de Agua, se crea un vacío (área sin cobertura) que abarca todo el sur de Chimaltenango, el noroccidente de Escuintla, y el nororiente de Suchitepéquez. El mismo puede ser llenado con un sitio de repetición en el área de Tiquisate, Escuintla. Este lugar tiene la ventaja que cubre el área anterior, tiene facilidades (electricidad y telefonía) y fácil acceso. Además tiene algo que se discutirá más adelante, que es la posibilidad de enlazar vía microonda, los sitios de Volcán de Agua y Siete Orejas.

Para la cobertura de la costa norte del país, el lugar más indicado es la serranía de San Gil, la cual contiene los puntos topográficamente dominantes de la región. El punto más alto de la misma está a 1,600 m.s.n.m., y tiene línea de vista con el área de Río Dulce, Livingston, y Morales; sin embargo, no tiene cobertura con el puerto de Santo Tomás y la cobertura de Puerto Barrios es deficiente debido a la lejanía y vegetación del lugar (la cumbre de San Gil está totalmente cubierta por una densa selva). Por ello se

considera más conveniente el sitio de Las Escobas, el cual (a 1,000 m.s.n.m.) proporciona una excelente cobertura a el área de Santo Tomás, Puerto Barrios y Livingston; aunque se pierda en buena parte del Río Dulce y Morales. A este sitio se accesa por carretera de terracería, a 45 minutos del puerto de Santo Tomás de Castilla.

Para cubrir el área muy comercial de Río Hondo, Teculután y regiones aledañas, la localización ideal del sitio será en el área de la Sierra de las Minas, debido a su dominio del lugar. En la de Sierra de las Minas existen varios sitios que tienen dominio de parte de la región, pero no de toda. La cumbre de la sierra (2,960 m.s.n.m.) está hacia el centro de la misma, lo que significa que tiene otros sitios alrededor, por lo cual no tiene línea de vista con la mayor parte de la región. El Cerro Pinalón es la segunda cumbre de la sierra (2,900 m.s.n.m) pero no cubre el área de Río Hondo.

El único punto desde el cual se domina el área de la ciudad de Zacapa, Río Hondo, Teculután y regiones aledañas es el Cerro San Lorenzo. No es la cumbre mayor de la Sierra de las Minas (está a 2,000 m.s.n.m mientras que la cumbre mayor está a 2,900 m.s.n.m.), pero es un sitio mas bien "periférico" dentro de la sierra, que es la razón por la cual cubre el área completa. Esta también es la razón por la cual tiene línea de vista con el Volcán de Agua, lo que invita a hacer un enlace punto - punto entre los dos sitios. Además, es posible llegar al sitio por carretera (desviándose en la carretera al Atlántico hacia la izquierda, a la altura de Santa Cruz).

Todas las celdas de ESAS serán de tipo omnidireccional. Con esto se gana cobertura en áreas periféricas y se tiene una mayor área de sombra compartida por más de una celda. Esto último será útil en caso de falla de algún conmutador o de la existencia de algunos "puntos muertos" en el área de cobertura de alguno de ellos.



UBICACIÓN DE SITIOS

C. Establecimiento de número de canales por sitio

Teniendo ya elegidos los sitios a utilizarse, se pueden agrupar los usuarios de cada región al sitio que corresponda. De esta manera se obtiene:

1. Volcán de Agua. Agrupando a los usuarios de Escuintla, Sacatepéquez, el norte de Chimaltenango, el área de Amatitlán - Villa Nueva.
2. Cerro Alux. Con los usuarios de la ciudad de Guatemala.
3. Tiquisate. Usuarios de la parte sur de Chimaltenango, y el departamento de Suchitepéquez.
4. Volcán Siete Orejas. Agrupando a los departamentos de Quetzaltenango, Retalhuleu, y San Marcos.
5. Cerro San Lorenzo. Departamento de Zacapa y parte de El Progreso.
6. Cerro Las Escobas. Usuarios de la costa del Atlántico.

Ya obtenida la información del número de usuarios en cada sitio, y considerando datos estándar de duración de llamadas de radio y telefonía (5 y 90 segundos, respectivamente), de número de llamadas de radio y telefonía por usuario en una hora pico (4 y .5 respectivamente), además una probabilidad máxima de bloqueo de radio de .15 y un tiempo de espera promedio en telefonía de 25 segundos, se puede calcular el número de repetidoras necesarias en cada sitio. Esto se hace con el procedimiento indicado en la sección de estudio de tráfico de llamadas y los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2
Número de usuarios y de repetidoras necesarias por sitio

Sitio	Usuarios		# de Canales	
	Radio	Telefonía	Total	Con Telefonía
Volcán de Agua	1050	450	17	13
Cerro Alux	900	700	20	16
Tiquisate	350	200	8	6
Volcán Siete Orejas	750	400	14	11
Cerro San Lorenzo	200	100	5	4
Cerro Las Escobas	300	100	6	5

Por supuesto es posible que algunos usuarios de una celda se muevan hacia el área de cobertura de otra, sobrecargando a la celda anfitriona. Pero este es un proceso que se considera bidireccional, o más bien, multidireccional, por lo cual no afectará mayormente el tráfico de llamadas dentro de las celdas.

D. Enlaces de voz y de datos

Para controlar todo el sistema es muy conveniente colocar una celda "Master" en las oficinas de la empresa (en la capital), la cual no tendrá canales de repetición. Sin embargo sí podrá manejar la información y configuración de todos los sitios. Para ello deberá tener comunicación de datos con cada uno de ellos.

Todos los sitios de este sistema necesitan tener acceso a líneas telefónicas. Con el sitio de Tiquisate no hay ningún problema debido a que el mismo se encuentra en un área donde existe servicio telefónico. Pero para los demás sitios, será necesario trasladar líneas por vía satelital, radioteléfonos o vía microonda. Debido a que se prefiere utilizar líneas locales para cada sitio (por ejemplo, para efectuar por medio del sistema una llamada telefónica desde la capital, se preferirá utilizar una línea de la capital), los enlaces para el traslado de las mismas serán relativamente cortos, por ello no se recomienda el camino satelital. Y debido a que se requerirá el traslado de buena cantidad de líneas hacia los sitios, no se recomienda el uso de radioteléfonos, o sea, aparatos para el traslado remoto de una línea telefónica, debido a que se necesitarían varios equipos.

Por lo anterior se recomienda que los enlaces para subir líneas telefónicas hacia los sitios de repetición se hagan a través de enlaces de microonda (p.ej. un enlace E-1 puede acomodar hasta 30 líneas). Los mismos enlazarían los sitios con oficinas en Quetzaltenango (Siete Orejas), Guatemala (Cerro Alux y Volcán de Agua) y Puerto Barrios (Las Escobas). El caso de las líneas para el Cerro San Lorenzo se discutirá más adelante.

En el sistema ESAS, así como en cualquier otro sistema de radio multisitio, son necesarios enlaces de voz y datos entre sitios. Los enlaces de datos actualizan la información de los usuarios en cada sitio, y los de voz servirán para efectuar conversaciones en área amplia.

Para efectuar enlaces de voz entre las regiones del centro del país (Volcán de Agua y Cerro Alux) con las del Suroccidente (Siete Orejas), pueden considerarse otra vez 3 posibilidades: vía satélite, utilizando la red pública de telefonía (líneas discadas), o bien a través de microonda utilizando sitios intermedios. Vía satélite pueden comunicarse los sitios instalando antenas satelitales en los mismos, o bien colocando antenas terrenas en, por ejemplo, las ciudades de Guatemala y Quetzaltenango y comunicándose a los sitios vía microonda.

La segunda posibilidad (líneas discadas) tiene la ventaja que sólo ocupa el medio mientras se va a transmitir información, pero tiene la desventaja que para establecer una comunicación sitio - sitio se requiere un tiempo considerable necesario para hacer el enlace (10 - 30 seg.).

Para enlazar vía microonda, puede utilizarse el sitio de Tiquisate como punto intermedio entre Volcán de Agua y Siete Orejas, debido a que tiene línea de vista con ambos. De esta manera se enlaza también con el conmutador de Tiquisate. Otra manera de enlazar Occidente es a través de sitios colocados a través de "Tierra Fría", pero no se recomienda esta opción debido a que se necesitarían dos saltos (p.ej. Cerro Tecpán y Raxquín) en sitios en los cuales no se instalarían conmutadores de ESAS.

Para enlazar el Volcán de Agua con el Cerro Alux, es conveniente utilizar los enlaces que estos dos sitios tienen con la capital (para el traslado de líneas telefónicas), para que haga las veces de un salto entre sitios. Esto se recomienda debido a que comunicar directamente el Volcán de Agua y el Cerro Alux involucraría otro enlace punto - punto, lo cual se evita utilizando los enlaces hacia la capital.

El enlace de voz con el sitio de San Lorenzo puede realizarse vía microonda con Volcán de Agua, debido a que existe línea de vista. Este es un camino conveniente también para trasladar líneas telefónicas hacia el sitio, en vez de colocar otra oficina (tal vez en Río Hondo) y otro enlace con la misma. Las líneas de esta manera vendrán de la capital, serán trasladadas al Volcán de Agua y de allí a San Lorenzo.

Los enlaces de microonda utilizados tendrán una modulación en Spread Spectrum, debido a su buen desempeño, tanto en calidad de señal como seguridad.

El último enlace de voz (con Las Escobas) es mejor realizarlo a través de líneas telefónicas discadas. Esto se debe a que Las Escobas no tiene línea de vista con San Lorenzo, y se necesitaría un salto

intermedio San Lorenzo - Las Escobas, lo que no se justifica debido a que este último es un sitio relativamente pequeño (con pocos canales). Estos enlaces discados serán definidos para comunicarse con cada sitio en particular (v. gr. el PBX de cada sitio).

Para las celdas de Siete Orejas, Tiquisate, Volcán de Agua y Cerro Alux se colocarán además enlaces de voz discados con cada sitio, que entrarán a funcionar en caso de que no estén disponibles los enlaces vía microonda (cuando estén llenas las líneas o el enlace tenga una falla). Esto puede programarse en cada celda a través de la opción de Enrutamiento de Menor Costo, de ESAS.

Mientras que la red de voz es de naturaleza mixta, es conveniente que la red de datos sea centralizada, es decir, en estrella. Esto se debe a que si se colocan varios caminos para llegar de una celda a otra (o sea, enlaces redundantes para transmitir datos), pueden crearse ciclos (loops), en los cuales se actualice varias veces la misma información en una celda, ya que cada celda conocerá la localización de todos los usuarios en el sistema. Por ello y para mantener un control más efectivo desde la "Celda Master" se recomienda una red de datos en estrella, centrada en la ciudad capital (donde se encuentra la "Celda Master").

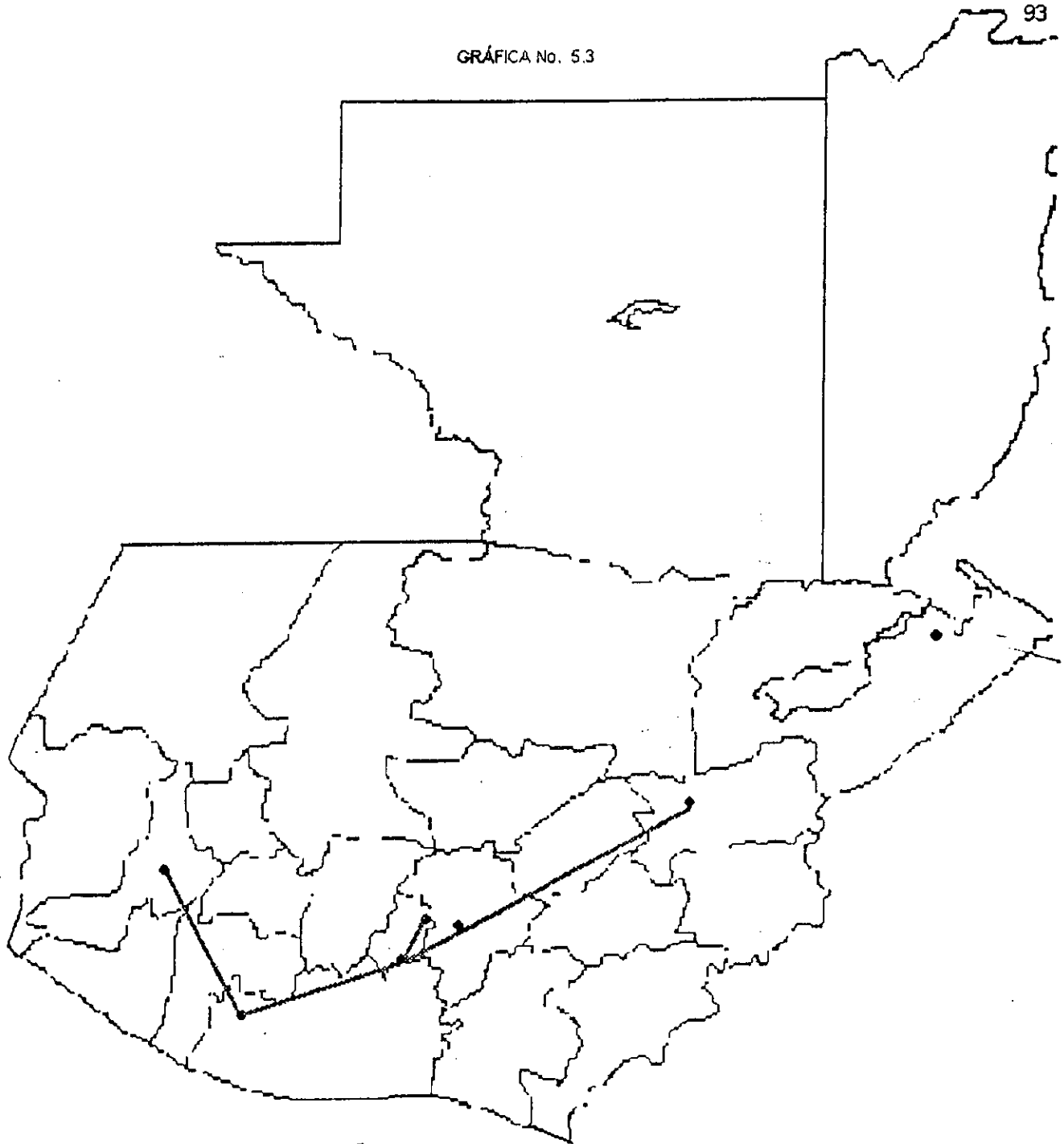
La comunicación (de datos) con los sitios de Tiquisate, Siete Orejas y Las Escobas se hará a través de líneas discadas, mientras que con el Cerro Alux y el Volcán de Agua se utilizarán líneas trasladadas a la capital vía el enlace de microonda con la misma. El enlace de datos con San Lorenzo se hará vía microonda, utilizando el salto en Volcán de Agua (que es el mismo camino que utilizarán sus líneas telefónicas).

Para subir las líneas telefónicas hacia los sitios de repetición utilizando los enlaces de microonda, se necesitan multiplexores para hacer la interfase microonda - equipo ESAS y microonda - líneas telefónicas. Para proveer un servicio más confiable, las líneas enviadas tendrán señalización E y M. Por lo mismo es necesario colocar híbridos en las oficinas de Guatemala, Quetzaltenango y Puerto Barrios. Los mismos

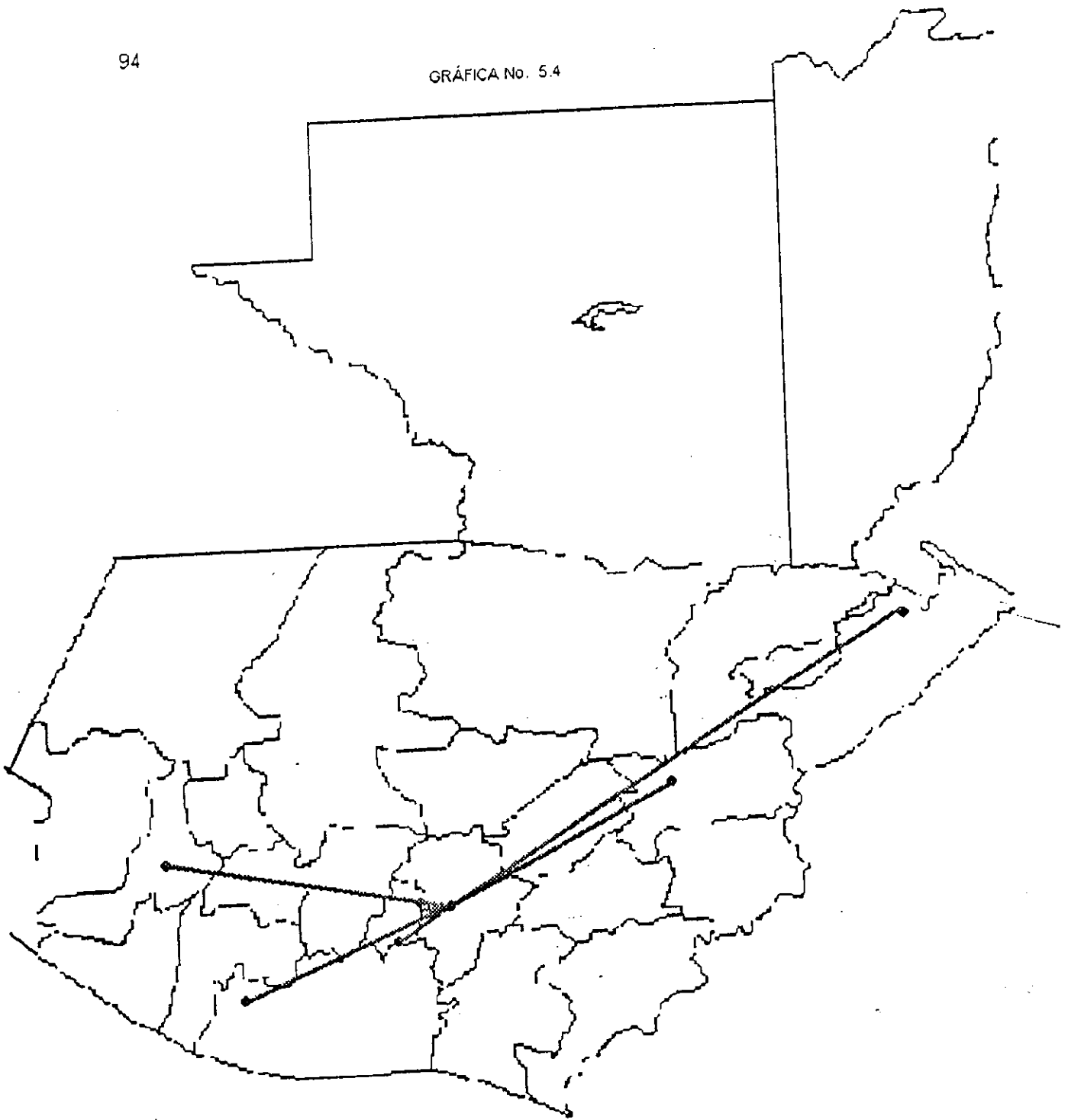
convertirán líneas telefónicas normales a líneas con señalización y viceversa. El equipo de ESAS puede trabajar con líneas con o sin señalización, pero es conveniente trabajar con líneas señalizadas, sobre todo en enlaces de voz sitio - sitio.

Las Gráficas 5.3 y 5.4 presentan la red de enlaces de voz vía microonda y la red de datos, respectivamente.

GRÁFICA No. 5.3



VOZ VÍA MICROONDA



ENLACES DE DATOS

unos 20 dB, que aumentará la señal que bajará a través del cable (180 pies) hasta la caseta. Además, el Tower Top sirve también para que el ruido inducido no se mezcle con la señal y se confunda con ésta.

Las antenas de transmisión (una cada 5 canales) se colocarán de manera que su punta esté 40 pies por debajo de la de recepción, esto significa que si esta última está a 180 pies, y el tamaño de las antenas es aproximadamente 10 pies, las antenas de transmisión se colocarán a 130 pies de altura.

Las antenas para los enlaces de microonda, serán colocadas 40 pies por debajo de las de transmisión, o sea, a una altura de 90 pies o menos. Para sitios con más de un enlace, las antenas de microonda pueden ser colocadas cerca unas de otras, debido a que los equipos modernos de microonda trabajan con duplexores incorporados. Es recomendable colocar las antenas de microonda debajo de las del equipo en 800 MHz debido a que los enlaces punto - punto tienen línea de vista y la pérdida y distorsión causada por el cable es mayor en alta frecuencia, por lo cual es recomendable tramos más cortos. Además, se perdería parte de cobertura al bajar 40 pies las antenas del equipo ESAS.

Para el cableado de las antenas en la torre se recomienda guías de onda de baja pérdida, la de 7/8" tiene, en 800 MHz, una pérdida de .8 dB cada 100 pies y no produce una distorsión apreciable, aunque no se recomienda para tramos mayores de 200 pies. La guía de onda disponible de diámetro inmediatamente superior es la de 1 1/4", y tiene una pérdida de .7 dB cada 100 pies. El problema con la guía de 1 1/4" es más que es muy difícil trabajar con ella, debido al grosor y al peso (.66 lb/ft para 1 1/4" vs. .33 lb/ft para 7/8"), y no tiene mayor diferencia en pérdida.

Para los equipos de microonda, las pérdidas y sobre todo la distorsión es mucho más crítica. La pérdida por longitud de cable es, para 2.5 GHz, aproximadamente el doble que para 800 MHz. No se recomiendan tramos de más de 100 pies con guías de onda de 7/8", un tramo más largo podría causar una distorsión apreciable en la señal.

E. Equipo de antenas, torres y casetas

Las torres en los sitios de repetición serán de tipo tensado, debido a su bajo costo y la mayor facilidad para su instalación. Con una altura de 200 pies de altura (10 secciones o tramos), para tener una buena cobertura.

Las torres para las oficinas de enlace de líneas telefónicas vía microonda (en Quetzaltenango, Guatemala y Puerto Barrios) podrán ser más pequeñas que las de los sitios de repetición. Serán de tipo autoportado y de 40 pies de altura.

Se elegirán combinadores de transmisión de cinco canales (para disminuir el número de antenas de transmisión lo suficiente para colocarlas a la misma altura en la torre). En la parte de recepción, se colocará un multiacoplador para agrupar los canales del sitio en una sola antena de recepción (pueden colocarse multiacopladores de 20 canales, que es el número máximo por grupo de troncalización). Los canales del multiacoplador que no se usen deben ser terminados.

Tanto los combinadores como los multiacopladores serán similares para todos los sitios, para hacer el sistema más uniforme. Además esto no representa un desembolso mayor y da más facilidad para una futura expansión del sistema.

La antena de recepción necesita tener una mayor ganancia y altura que la de transmisión (debido a la diferencia de potencias entre una repetidora y un radio portátil), por lo cual se colocará en el inicio del último tramo de la torre y se elegirá una antena omnidireccional de una ganancia alta (8 dB). Además, se colocará un Tower Top junto a la misma, este consta de un preselector sin pérdida y un amplificador de

unos 20 dB, que aumentará la señal que bajará a través del cable (180 pies) hasta la caseta. Además, el Tower Top sirve también para que el ruido inducido no se mezcle con la señal y se confunda con ésta.

Las antenas de transmisión (una cada 5 canales) se colocarán de manera que su punta esté 40 pies por debajo de la de recepción, esto significa que si esta última está a 180 pies, y el tamaño de las antenas es aproximadamente 10 pies, las antenas de transmisión se colocarán a 130 pies de altura.

Las antenas para los enlaces de microonda, serán colocadas 40 pies por debajo de las de transmisión, o sea, a una altura de 90 pies o menos. Para sitios con más de un enlace, las antenas de microonda pueden ser colocadas cerca unas de otras, debido a que los equipos modernos de microonda trabajan con duplexores incorporados. Es recomendable colocar las antenas de microonda debajo de las del equipo en 800 MHz debido a que los enlaces punto - punto tienen línea de vista y la pérdida y distorsión causada por el cable es mayor en alta frecuencia, por lo cual es recomendable tramos más cortos. Además, se perdería parte de cobertura al bajar 40 pies las antenas del equipo ESAS.

Para el cableado de las antenas en la torre se recomienda guías de onda de baja pérdida, la de 7/8" tiene, en 800 MHz, una pérdida de .8 dB cada 100 pies y no produce una distorsión apreciable, aunque no se recomienda para tramos mayores de 200 pies. La guía de onda disponible de diámetro inmediatamente superior es la de 1 1/4", y tiene una pérdida de .7 dB cada 100 pies. El problema con la guía de 1 1/4" o más es que es muy difícil trabajar con ella, debido al grosor y al peso (.66 lb/ft para 1 1/4" vs. .33 lb/ft para 7/8"), y no tiene mayor diferencia en pérdida.

Para los equipos de microonda, las pérdidas y sobre todo la distorsión es mucho más crítica. La pérdida por longitud de cable es, para 2.5 GHz, aproximadamente el doble que para 800 MHz. No se recomiendan tramos de más de 100 pies con guías de onda de 7/8", un tramo más largo podría causar una distorsión apreciable en la señal.

Para la construcción de las casetas, el ordenamiento del equipo en las mismas y el sistema de tierras, se utilizarán las recomendaciones expuestas en las secciones F y G de la sección de estudios de tráfico y diseño de sistemas.

Todos los sitios de repetición tienen servicio de energía eléctrica del INDE. Pero se instalarán plantas generadoras de emergencia en cada sitio, utilizando transferencias automáticas. El sitio del Volcán de Agua tendrá un consumo de unos 70 A (110 V) con todos los canales transmitiendo, agregado al aire acondicionado (unos 20 A con 220V), por lo que se recomienda una planta de 50 kVA que esté diseñada para funcionar en grandes altitudes. Para el Cerro Alux y Siete Orejas podrán utilizarse plantas de 40 kVA mientras que para los demás sitios, incluyendo las oficinas centrales, serán suficientes plantas de 20 kVA.

F. Reutilización de frecuencias

Debido a que las frecuencias en 800 MHz son un recurso limitado, es conveniente reutilizar las mismas, siempre que los sitios en que se repitan estén lo suficientemente aislados unos de otros. Además, se utilizará la opción de "Áreas" que poseen los sistemas LTR.

Las frecuencias utilizadas para el Volcán de Agua no serán reutilizadas debido a la amplia cobertura del sitio. Existen lugares en la serranía de San Gil (Izabal) en donde es posible comunicarse con el Volcán de Agua.

No se recomienda tampoco reutilizar las frecuencias de San Lorenzo en el Cerro Alux, Las Escobas o Siete Orejas debido a posibles problemas de interferencia. Mientras que entre San Lorenzo y Tiquisate existe, aparte de la distancia, una barrera formada por los Volcanes de Agua, Fuego y Acatenango, por lo que se recomienda utilizar las mismas frecuencias para esos dos sitios.

Las frecuencias de Las Escobas y Siete Orejas serán las mismas, debido a las múltiples barreras naturales entre los dos sitios. Para el Cerro Alux no se reutilizarán las frecuencias.

Como se mencionó antes, en sistemas SMRS no es conveniente utilizar más de dos veces las mismas frecuencias para los sitios.

G. Umbral de cambio de celda

Para los umbrales de cambio de celda, se tienen dos parámetros, el porcentaje de detección de tramas y el tiempo de toma de muestras. Para el sitio del Cerro Alux (que es un sitio mayormente urbano cuya cobertura se encuentra casi totalmente enmarcada dentro de la del Volcán de Agua) se recomiendan porcentajes relativamente altos y tiempos de muestreo pequeños (50% y 2 minutos, respectivamente).

Para los sitios de Las Escobas y San Lorenzo, el caso es distinto porque casi la totalidad de su sombra no es compartida por otro, v.gr. cubren mayormente áreas que no son cubiertas por ningún otro sitio. Por ello es mejor un porcentaje de detección pequeño y un tiempo de muestreo grande (20% y 5 minutos, respectivamente).

Los demás sitios (Siete Orejas, Volcán de Agua y Tiquisate) son sitios mayormente rurales que cubren áreas amplias. Sin embargo, parte de su sombra es compartida por otros sitios, por lo que se recomiendan niveles un poco más estrictos que los de Las Escobas (25% y 4 minutos).

II. Requerimientos de área despejada para los enlaces de microonda

Todos los enlaces de microonda del sistema tienen línea de vista entre sí. La fórmula (21) da el radio del área despejada recomendable para los enlaces (R_d), el cual es función de la primera distancia de Fresnel (F_1) y del cambio vertical debido a la curvatura de la tierra (E_c). La Tabla 5.3 muestra el radio del área recomendada para cada enlace. Esta área es máxima en el punto medio de cada camino, por lo que se considera solamente el área libre recomendable en la mitad de los mismos.

Tabla 5.3

Valores para el radio del área libre recomendable en los enlaces de microonda, calculados para el punto medio de los mismos (área máxima), utilizando la fórmula (21). Frecuencia = 2.5 GHz

Enlace	Distancia (Km)	F_1 (pies)	E_c (pies)	R_d (pies)
San Lorenzo - Volcán de Agua	120	197	927	1,055
Volcán de Agua - Tiquisate	70	151	315	416
Tiquisate - Siete Orejas	65	145	272	369
Volcán de Agua - Guatemala	30	99	58	127
Cerro Alux - Guatemala	12	62	9	57
Siete Orejas - Quetzaltenango	10	57	6	51
Las Escobas - Puerto Barrios	15	70	14	66

Según la tabla anterior, para el enlace Volcán de Agua - Cerro San Lorenzo se necesita un área despejada de unos 600 metros de diámetro en el centro del camino. La existencia de un área despejada de este tamaño entre los dos sitios es fácilmente comprobable observando un mapa en relieve. El punto clave es que estos dos sitios, a pesar de estar algo alejados entre sí, son suficientemente sobresalientes como para aceptar un enlace entre ellos.

I. Niveles de recepción

Los niveles de recepción (RSL) estimados para los enlaces de microonda se encuentran utilizando la fórmula (24) y los resultados se presentan en la Tabla 5.4. Los niveles de recepción en los móviles y en las repetidoras se encuentran utilizando las fórmulas (25) y (26), los resultados para varias ciudades del país se muestran en las Tablas 5.5 y 5.6.

Tabla 5.4

Niveles de recepción estimados para los enlaces de microonda,
 utilizando la fórmula (24). Pot. de salida = 28 dBm (.6W),
 Pérdida del cable = 1.12 dB (70'), Frecuencia = 2.5 GHz

Enlace	Distancia (Km)	Antenas		RSL (dBm)
		Diámetro (pies)	Ganancia (dB)	
San Lorenzo - Volcán de Agua	120	8	35	-46.3
Volcán de Agua - Tiquisate	70	8	35	-41.6
Tiquisate - Siete Orejas	65	8	35	-40.9
Volcán de Agua - Guatemala	30	6	31	-42.2
Cerro Alux - Guatemala	12	4	27	-42.3
Siete Orejas - Quetzaltenango	10	4	27	-40.7
Las Escobas - Puerto Barrios	15	4	27	-44.2

Tabla 5.5

Niveles de recepción del sistema ESAS en los sitios de Volcán de Agua y Siete Orejas, estimados para diversas ciudades del país, utilizando las fórmulas (25) y (26).

$$OP_M = 28 \text{ dBm (6W)}, OP_R = 45 \text{ dBm (35W)}, G_R = 8 \text{ dBm}, G_T = 6 \text{ dBm},$$

$$G_M = G_{MA} = 0, P_{CT} = 7, P_{CR} = 13, FL_R = 1.6, FL_T = 1.2$$

Sitio	Ciudad	Distancia (Km)	RSL (dBm) en Repetidora	RSL (dBm) en Móvil
Volcán de Agua	Guatemala	30	-78.8	-77.9
Volcán de Agua	Villa Nueva	20	-75.3	-74.3
Volcán de Agua	Amatitlán	12	-70.8	-69.9
Volcán de Agua	Escuintla	21	-75.7	-74.8
Volcán de Agua	Santa Lucía Cotz.	35	-80.1	-79.2
Volcán de Agua	Puerto Quetzal	50	-83.2	-82.3
Volcán de Agua	Antigua Guatemala	10	-69.2	-68.3
Volcán de Agua	Chimaltenango	25	-77.2	-76.3
Volcán de Agua	Tecpán Guatemala	40	-81.3	-80.3
Volcán de Agua	Los Encuentros	60	-84.8	-83.9
Volcán de Agua	El Rancho	90	-88.3	-87.4
Siete Orejas	Quetzaltenango	10	-69.2	-68.3
Siete Orejas	Coatepeque	30	-78.8	-77.9
Siete Orejas	Retalhuleu	32	-79.3	-78.4
Siete Orejas	Pto. Champerico	65	-85.5	-84.6
Siete Orejas	Mazatenango	35	-80.1	-79.2
Siete Orejas	Frontera Tecún Umán	50	-83.2	-82.3

Tabla 5.6

Niveles de recepción del sistema ESAS en los sitios de Cerro Alux, Tiquisate, San Lorenzo y Las Escobas, estimados para diversas ciudades del país, utilizando las fórmulas (25) y (26). $OP_M = 28$ dBm (.6W), $OP_R = 45$ dBm (35W), $G_R = 8$ dBm, $G_T = 6$ dBm, $G_M = G_{MA} = 0$, $P_{CT} = 7$, $P_{CR} = 13$, $FL_R = 1.6$, $FL_T = 1.2$

Sitio	Ciudad	Distancia (Km)	RSL (dBm) en	
			Repetidora	Móvil
Cerro Alux	Guatemala	12	-70.8	-69.9
Cerro Alux	San Lucas Sac.	5	-63.2	-62.3
Tiquisate	Patulul Such.	25	-77.1	-76.3
Tiquisate	San Antonio Such.	30	-78.8	-77.9
Tiquisate	Chicacao	30	-78.8	-77.9
San Lorenzo	Guastatoya	50	-83.2	-82.3
San Lorenzo	El Jicaro	30	-78.8	-77.9
San Lorenzo	Teculután	12	-70.8	-69.9
San Lorenzo	Río Hondo	10	-69.2	-68.3
San Lorenzo	Gualán	33	-79.6	-78.7
San Lorenzo	Los Amates	65	-85.5	-84.6
San Lorenzo	Zacapa	20	-75.3	-74.3
San Lorenzo	Cabañas	21	-75.7	-74.8
San Lorenzo	San Pedro Pinula Jalapa	50	-83.2	-82.3
Las Escobas	Puerto Barrios	15	-72.8	-71.8
Las Escobas	Santo Tomás	9	-68.3	-67.4
Las Escobas	Lívingston	22	-76.0	-75.2

Los niveles de recepción mostrados en la Tabla 5.4 son valores aceptables debido a que están por encima del nivel mínimo recomendable para enlaces de microonda (-50 dBm).

La distancia mostrada en las Tablas 5.5 y 5.6 corresponde a la que existe entre los sitios de repetición y el parque central de cada ciudad, con excepción de Los Encuentros, donde el punto que se considera es la bifurcación hacia Santa Cruz del Quiché. En todos estos lugares existe línea de vista con los sitios de repetición, si no se toman en cuenta las edificaciones humanas.

J. Configuración del sistema con carga dinámica

El uso de la opción de ESAS de carga dinámica permite denegar el acceso al sistema, limitar el tiempo de llamadas y el número de éstas a usuarios de acuerdo a la carga en el sistema y al nivel de prioridad de cada usuario (programado en el radio).

Sin embargo, será recomendable utilizar esta opción cuando el sistema ya esté en funcionamiento por algún tiempo, hasta que se estabilice el flujo de llamadas. De esta manera se podrá utilizar más eficazmente.

Como principio básico se programarán los canales telefónicos de los radios con una prioridad más baja que los de telefonía.

K. Facturación

Todos los registros de las llamadas (archivos Billing.log) serán obtenidos desde la "Celda Master", localizada en la capital. Los mismos servirán para llevar un control de llamadas hechas y para facturar donde corresponda.

Debido a que todos los registros de facturación reflejan el nivel de prioridad requerido para hacer cada llamada, el operador del sistema podrá utilizar la opción de carga dinámica para facturar de acuerdo a la prioridad necesaria para realizar la llamada.

L. Estudio de factibilidad del sistema

La Tabla 5.7 muestra la lista y presupuesto de la infraestructura y materiales necesarios para el sistema. No se planea construir casetas para los equipos de enlace en Guatemala, Quetzaltenango y Puerto Barrios, el equipo se colocará en las oficinas centrales de Guatemala y en oficinas alquiladas en Quetzaltenango y Puerto Barrios.

La Tabla 5.8 muestra la lista y presupuesto del equipo y cableado de comunicaciones.

Tabla 5.7

Infraestructura y materiales necesarios para el sistema ESAS de cobertura nacional.

Descripción	Cantidad	Precio (\$)	
		Unitario	Total
Sitio de repetición	6	4,000 (promedio)	24,000
Construcción de caseta (con electricidad y tierras)	6	5,000 (promedio)	30,000
Torre tensada de 200' instalada en los sitios	6	3,500 (promedio)	21,000
Torre autoportada de 40' instalada en ciudad	3	1,300	3,900
Planta de 50 kVA y transferencia automática	1	7,000	7,000
Planta de 40 kVA y transferencia automática	2	6,200	12,400
Planta de 20 kVA y transferencia automática	4	4,000	16,000
Rack de 73" para equipos estándar (19")	50	550	27,500
Escalerilla de 3 mts. de largo y 19" ancho	15	250	3,750
Licencia para utilización de frecuencia de 800 MHz (25 ó 12.5 kHz), en par	59	6,000	354,000
Línea de teléfono de la red pública	65	500	32,500
Otros (accesorios de torre, cable, etc.)			4,000
-- Total de infraestructura y materiales --			536,050

Se ha tomado en cuenta que se instalarán una o dos líneas extra por sitio (aparte de las que se necesitan por el número de repetidoras con telefonía). Esto se hace para que pueda existir una fila de espera de llamadas entrantes. Los Lq encontrados son 1.1, 1.6, .5, .9, .2 y .2, para los sitios de Volcán de Agua, Cerro

Alux, Tiquisate, Siete Orejas, San Lorenzo y Las Escobas, respectivamente. Entonces, el número de líneas extra será de 2 para Volcán de Agua y Cerro Alux, y de 1 para los demás sitios.

Tabla 5.8

Equipo de comunicaciones para el sistema
ESAS de cobertura nacional.

Descripción	Cantidad	Precio (\$)	
		Unitario	Total
Conmutador de ESAS	7	15,000	105,000
Repetidora de ESAS	70	3,500	245,000
Amplificador 90 W para 800 MHz	70	1,200	84,000
Fuente de 12 VDC y 50 A	81	250	20,250
Fuente de 24 VDC y 30 A (Eliminator/Charger)	14	1,100	15,400
Equipo de microonda en 2.5 GHz (E1), par	7	12,500	87,500
Híbrido (convertidor 2 - 4 hilos para línea tel.)	60	200	12,000
Guía de onda de 7/8"	6,000'	4	24,000
Antena parabólica de 8' con feeder para 2.5 GHz	6	3,000	18,000
Antena parabólica de 6' con feeder para 2.5 GHz	2	2,600	15,600
Antena parabólica de 4' con feeder para 2.5 GHz	6	2,000	12,000
Antena de fibra de vidrio para 800 MHz, 8 dB	6	1,600	9,600
Antena de fibra de vidrio para 800 MHz, 6 dB	16	700	11,200
Combinador de 5 canales para 800 MHz	15	6,000	90,000

Tabla 5.8
continuación

Equipo de comunicaciones para el sistema
ESAS de cobertura nacional.

Descripción	Cantidad	Precio (\$)	
		Unitario	Total
Multiacoplador de 20 canales para 800 MHz	6	1,800	10,800
Tower Top para 800 MHz, ganancia 20 dB	6	4,000	24,000
Multiplexor digital con capacidad de un E1	14	5,500	77,000
Generador de timbrado para multiplexor digital	14	1,000	14,000
Fuente ininterrumpida de energía (UPS)	7	500	3,500
Otros (cable, conectores, etc.)			5,000
-- Total de equipo de comunicaciones --	----	----	883,850

El precio total del equipo e infraestructura para la implementación del sistema será de:

- Costo de infraestructura y materiales	\$ 536,050
- Costo del equipo	\$ 883,850
- Mano de obra	\$ 100,000
- Envío de equipo hacia Guatemala	\$ 16,000
- Total	<u>\$ 1,535,900</u>

Los precios del equipo de comunicaciones dados arriba corresponden al precio F.O.B en Miami. El peso total es de alrededor 13,000 libras, de lo que resulta que el costo aproximado de traer el equipo a Guatemala, incluyendo flete, impuestos y seguro, será de \$ 16,000.

El rubro de mano de obra (\$ 100,000) incluye los costos de pago de personal, viáticos y entrenamiento para un equipo de trabajo de cuatro ingenieros. El tiempo aproximado para la implementación comercial del sistema es de 6 meses.

El proyecto puede ser implementado también por etapas, de manera que se vayan instalando canales y sitios de repetición de acuerdo a la demanda, debido a que el tiempo estimado para llenar la capacidad del mismo es de dos años.

Para la operación y mantenimiento del sistema, debe existir permanentemente personal de soporte. Se recomienda un grupo consistente de cuatro ingenieros para dicha tarea.

VI. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TENDENCIAS FUTURAS

En Guatemala las comunicaciones en 800 Mhz, aunque no están totalmente estandarizadas a través de leyes, están en realidad estandarizadas *de facto*, porque todas las empresas que trabajan actualmente en la banda utilizan equipos que cumplen con las especificaciones válidas para SMRS en los E.U.A.

Para fines prácticos de investigación de operaciones, los sistemas de comunicaciones por radio pueden considerarse como sistemas con una tasa de nacimientos independiente del estado del mismo. Esto se debe a que el sistema será usado solamente por un grupo pequeño de usuarios a la vez y que la relación usuarios del sistema - servidores es muy grande.

La probabilidad de bloqueo de llamadas telefónicas no es, en ESAS, un factor importante *per se*, debido a las facilidades de colas de espera que provee el sistema. Lo que sí importa para el tráfico de llamadas telefónicas es el tiempo que los usuarios esperan en cola en caso de bloqueo.

El estudio de sistemas de filas de espera que no tienen una tasa de nacimientos y muertes con comportamiento de tipo poissoniano, sino general, conduce a cálculos sumamente engorrosos y que necesitan seguramente métodos matemáticos sofisticados.-En todo caso, no tienen demasiada aplicación en estudios de tráfico de llamadas en radiocomunicaciones, debido a que los nacimientos y muertes en sistemas normales se comportan de manera poissoniana.

En los sistemas de radiocomunicación troncalizados, son necesarios accesorios para el sistema de antenas que reduzcan el número de las mismas, porque generalmente se trabaja con una buena cantidad de canales por sitio, y serían necesarias dos antenas por canal. Esto causaría la saturación de equipo y cableado en cualquier torre, así como haría muy dificultosa la entrada de éste último hacia la caseta de

repetición. Asimismo, el no utilizar este equipo equivale a hacer un desembolso extra muy grande en concepto de cable y antenas.

Otro problema al no utilizar equipo de reducción de antenas es que se disminuye el aislamiento entre transmisión y recepción, tanto entre Tx y Rx del mismo canal como con otros similares. Los equipos multiacopladores y tower tops poseen filtros sintonizados en la parte de la banda de recepción utilizada. La falta de aislamiento causaría con seguridad problemas de interferencia en los equipos.

La diferencia de potencia entre los equipos móviles y los de repetición puede ser compensada en los sitios de repetición con antenas de mayor ganancia en recepción, amplificadores en la torre (a la par de la antena) y una mayor altura de ésta con respecto a la de transmisión.

La planificación correcta de los saltos en un sistema enlazado multisitio ahorra la implementación de sitios innecesarios, lo que redundaría en economía de tiempo, trabajo y dinero.

A la hora de elegir sitios de repetición, el diseñador del sistema no debe guiarse únicamente por la altura de los mismos. Si bien este es un factor importante y determinante en muchos casos, es contraproducente a veces decidirse por los sitios más altos. Como ejemplo de esto se puede mencionar la cumbre de San Gil, que está a 1,600 m.s.n.m pero no tiene una cobertura comparable con Las Escobas, el cual pertenece a la misma serranía pero tiene una mejor cobertura de las áreas más comerciales de la región, aunque está a solo 1,000 m.s.n.m.

El sistema ESAS provee una gran flexibilidad para el diseño de redes de voz. Sobre todo, tiene la ventaja de que se pueden usar líneas telefónicas de acceso prioritarias, utilizando la función de enrutamiento de menor costo. De esta manera se pueden utilizar recursos de un costo menor o una calidad superior, y tener recursos de costo mayor o calidad inferior para utilizarse solamente en caso de necesidad.

En el caso de las redes de datos en un sistema ESAS, es mejor que sean de tipo centralizado (en estrella), para que no se creen ciclos repetitivos de actualización de información. Además, las redes de datos de ESAS no pierden su efectividad si se realizan por medio de enlaces discados.

Debido a limitaciones en el sistema ESAS (p. ej. que un canal solamente puede buscar 8 celdas adyacentes), es recomendable establecer sitios de repetición con un área de cobertura mayor que los de un sistema de telefonía celular.

La reutilización de frecuencias es un método que ahorra efectivamente recursos de espectro y financieros. Sin embargo, no debe ser implementada a la ligera para no tener la posibilidad de problemas de interferencia.

En trabajos posteriores, se puede continuar el estudio de sistemas troncalizados de radio aplicados a sistemas en 400 Mhz, o con otros sistemas troncalizados en 800 Mhz. Además, es conveniente proseguir estudios más detallados de enlaces y de patrones de radiación de antenas.

Otro tema recomendado es la continuación del estudio de sistemas de nacimiento - muerte con funciones de tipo generalizado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Bartee, T. Data communications, networks and systems. 3rd. ed. Indianapolis (Indiana), 1987 Howard W. Sams & Co. 359 pp.
- Bronson, R. Investigación de operaciones. 1ra. ed. México, D.F., McGraw-Hill. 324 pp. 1986
- Doyon, G. Análisis y diseño de redes de comunicaciones. Madrid. Departamento de publicaciones 1983 E.T.S. ingenieros de telecomunicación. 3 v.
- E.F. Johnson clearchannel LTR application note. Portland (Oregon), E.F. Johnson Company Press. 223 pp. 1994
- E.F. Johnson Multi-Net application note. Portland (Oregon), E.F. Johnson Company Press. 185 pp. 1994
- ESAS manuals version 1.5. Fort Worth (Texas), Uniden America, Inc. 567 pp. 1995
- Franks, L. Signal theory. 2nd. ed. Englewood Cliffs (New Jersey), Prentice Hall, Inc. 317 pp. 1969
- Freeman, R. Ingeniería de sistemas de telecomunicaciones. 2da. ed. México, D.F., 1993 Editorial Limusa S.A. de C.V. 606 pp.
- Guillemin, E. Communication networks. New York, John Wiley & Sons Inc. 2 v. 1931
- Hellman, H. Nueva era de las telecomunicaciones. Buenos Aires, Editorial Marymar. 175 pp. 1978
- Shannon, C; Weaver, W. The mathematical theory of communication. Chicago, The University of Illinois 1949 Press. 117 pp.
- Wozencraft, J.; Jacobs, I. Principles of communication engineering. New York, John Wiley & Sons. 1965 720 pp.
- 1997 Tesesco Buyer's Guide. Sparks (Maryland), The Tesesco Company. 671 pp. 1996

APÉNDICE A.

Programa de computación en Quick Basic para el cálculo de los parámetros de tráfico de un sistema de comunicación troncalizado.

```

1 CLEAR : CLS
ER2 = 10 ^ -2
ER1 = 10 ^ -2
MRI = 5: MTI = 90
LRP = 4: LTP = .5
EN = 15
NPBTM = 100: NPBRM = 100
DIM FA(53), ZA(53)
GOSUB 20
GOSUB 1015: GOSUB 1025: GOSUB 105: GOSUB 106

2 CLS
PRINT "1.- Usuarios Radio="; UR, " 8.- Llamadas/Hora Radio="; LRP
PRINT "2.- Usuarios Tel="; UT, " 9.- Llamadas/Hora Tel="; LTP
PRINT "3.- No. de repes="; C
PRINT "4.- Repes con telefonja="; T
PRINT "5.- % de llamadas entrantes="; EN
PRINT "6.- Duración de radio="; MRI, " Iteraciones (PBT,PBR)="; NPBTM; NPBRM
PRINT "7.- Duración de tel ="; MTI, " Errores = "; ER1; "%"; ER2; "%"

REM DETECCIÓN DE ERRORES DE INGRESO
IF ER1 < 0 OR ER2 < 0 OR ER1 > 100 OR ER2 > 100 OR NPBTM < 0 OR NPBRM < 0 OR
NPBTM <> INT(NPBTM) OR NPBRM <> INT(NPBRM) THEN 6
IF UR < 0 OR UT < 0 OR LRP < 0 OR LTP < 0 THEN 6
IF C <> INT(C) OR T <> INT(T) OR EN < 0 OR EN > 100 OR C > 53 OR C <= 0 OR T < 0 OR C <
T OR MRI < 0 OR MTI < 0 THEN 6

REM INICIALIZACIONES
R = C - T
LR = LRP * UR / 3600: LT = LTP * UT / 3600
NPBT = 0: NPBR = 0
KOM = 0: RO = 0: PBR = 0: PBJR = 0: PT = 0: PBIT = 0: LQ = 0: RO1 = 0: WQ1 = 0: W = 0
TE = 0: L = 0: PBST = 0: PBT = 0: PBKRT = 0: WQ = 0: SP = 0
LIN = 0: LOU = 0: LQI = 0: LQO = 0

REM RAZONES PARA QUE SOLO HAYA RADIO
IF LT = 0 OR MTI = 0 THEN RA = C: GOTO 3
IF T = 0 THEN RO = 1: RA = R: GOTO 3
RO = MTI * LT / T: IF RO >= 1 THEN RA = R: GOTO 3

```

REM CALCULO DE PT

S = T: GOSUB 10
 PBST = WQ
 PT = PBST ^ (1 / T)

REM SI SOLO HAY TELEFONO

IF MRI = 0 OR LR = 0 THEN PBKRT = 0: PBT = PBST: GOTO 5

REM CALCULO DE PBR, PBRA Y PBJRA

PX = PT: X = T: L = LR: MI = MRI
 FOR I = 0 TO T
 GOSUB 40
 S = C - I: GOSUB 30
 PBR = PBR + BI * PBRIT
 IF S <> 0 THEN PBJR = PBJR + BI * PBRIT ^ (1 / S) ELSE PBJR = PBJR + BI
 NEXT I: PBJRA = PBJR
 PBRA = PBJR ^ R * (PT + (1 - PT) * PBJR) ^ T

REM CALCULO DE PBJR, PBKRT Y PBT

IF S <> 0 THEN GOSUB 1066: PBKRT = (1 - PT) * PBJR: PBT = (PT + PBKRT) ^ T ELSE PBT =
 PBR: PBKRT = PBR ^ (1 / T) - PT

REM CALCULO DE ERROR DEBIDO AL ESTADO ESTABLE

IF PBR <> 0 THEN KOM = ABS(PBR - PBRA) / PBR

REM ALGORITMO DE ITERACIONES PARA ENCONTRAR EL NUEVO RO

5 SP = T * (1 - PBKRT)
 S = T: RO1 = RO: Y = .1: FLAG = 0
 8 IF ABS(PBT - WQ) <= PBT * ER1 / 100 THEN 9
 IF WQ > PBT THEN FLAG = 1: Y = -ABS(Y / 2)
 1762 NPBT = NPBT + 1: IF NPBT = NPBTM THEN 9
 IF WQ < PBT AND FLAG = 1 THEN Y = ABS(Y / 2)
 IF RO + Y >= .9999999 THEN FLAG = 1: GOTO 1762
 RO = RO + Y
 GOSUB 10: GOTO 8

REM CALCULO DE PARAMETROS DE LA COLA

9 LQ = S ^ S * RO ^ (S + 1) * P0 / FA(S) / (1 - RO) ^ 2 / ZA(S)
 LQI = LQ / 100 * EN: LQO = LQ - LQI
 WQ1 = LQ / LT
 W = WQ1 + MTI
 L = W * LT
 LIN = L / 100 * EN: LOU = L - LIN
 IF PBT = 0 THEN TE = 0 ELSE TE = WQ1 / PBT

REM IMPRESION DE LOS RESULTADOS

7 LOCATE 24, 50: IF RO < 1 THEN PRINT "ESTABLE"; ELSE PRINT "INESTABLE";
 LOCATE 9, 1: IF R <> 0 THEN PRINT "PBJR="; PBJR: PRINT
 IF T > 0 AND RO < 1 THEN PRINT "PT="; PT: PRINT "PBKRT="; PBKRT: PRINT "PBT="; PT +
 PBKRT: PRINT

```

PRINT "PBR="; PBR
IF RO >= 1 THEN PBT = 1
PRINT "PBT="; PBT
PRINT : IF RO < 1 AND T > 0 AND UT > 0 THEN GOSUB 700

```

```

REM INGRESO DE OPCION
6 LOCATE 24, 10: PRINT " _____ ";
A$ = INPUT$(1)
IF A$ = "F" OR A$ = "f" THEN END
IF A$ = "I" OR A$ = "i" THEN 1
A = VAL(A$): IF A$ = "A" OR A$ = "a" THEN A = 10
IF A$ = "B" OR A$ = "b" THEN A = 11
IF A$ = "C" OR A$ = "c" THEN A = 12
IF A$ = "D" OR A$ = "d" THEN A = 13
IF A < 1 OR A > 13 THEN 6
ON A GOSUB 1015, 1025, 105, 106, 107, 103, 104, 101, 102, 1091, 1092, 108, 109
GOTO 2

```

```

3 REM SOLO HAY RADIO
IF RA = 0 THEN PBR = 1: GOTO 7
L = LR: MI = MRI: S = RA: GOSUB 30
PBR = EB: PBJR = EB ^ (1 / S): PBKRT = PBJR
GOTO 7

```

```

10 REM CALCULO DE Wq(0)(RO,S = WQ)
GOSUB 15
WQ = (S * RO) ^ S * P0 / FA(S) / (1 - RO) / ZA(S)
RETURN

```

```

15 REM CALCULO DE P0 (S,RO = P0)
SU = 0: FOR N = 0 TO S
SU = SU + (S * RO) ^ N / FA(N) / ZA(N)
NEXT N
P0 = 1 / (S ^ S * RO ^ (S + 1) / FA(S) / ZA(S) / (1 - RO) + SU)
RETURN

```

```

20 REM CALCULO DE FACTORIALES
FA(0) = 1: ZA(0) = 1
FOR N = 1 TO 34
FA(N) = FA(N - 1) * N: ZA(N) = 1
NEXT N
FOR N = 35 TO 53
FA(N) = FA(N - 1) / 100 * N: ZA(N) = ZA(N - 1) * 100
NEXT N
RETURN

```

```

30 REM CALCULO DE B DE ERLANG
SU = 0: FOR N = 0 TO S
SU = SU + (MI * L) ^ N / FA(N) / ZA(N)
NEXT N
EB = (MI * L) ^ S / FA(S) / SU / ZA(S)

```

PBRIT = EB
RETURN

40 REM CALCULO DE Bi
BI = PX ^ I * (1 - PX) ^ (X - I) * FA(X) / FA(I) / FA(X - I) * ZA(X) / ZA(I) / ZA(X - I)
RETURN

REM CAMBIO DE PAR METROS

101 LOCATE 1, 31: PRINT TAB(65); : LOCATE 1, 31: INPUT "8.- LLAMADAS/HORA RADIO= ",
LRP: RETURN

1015 LOCATE 1, 1: PRINT TAB(30); : LOCATE 1, 1: INPUT "1.- USUARIOS RADIO= ", UR:
RETURN

102 LOCATE 2, 31: PRINT TAB(65); : LOCATE 2, 31: INPUT "9.- LLAMADAS/HORA TEL= ",
LTP: RETURN

1025 LOCATE 2, 1: PRINT TAB(30); : LOCATE 2, 1: INPUT "2.- USUARIOS TEL= ", UT:
RETURN

103 LOCATE 6, 1: PRINT TAB(35); : LOCATE 6, 1: INPUT "6.- DURACION DE RADIO= ", MRI:
RETURN

104 LOCATE 7, 1: PRINT TAB(35); : LOCATE 7, 1: INPUT "7.- DURACION DE TEL = ", MTI:
RETURN

105 LOCATE 3, 8: PRINT TAB(60); : LOCATE 3, 1: INPUT "3.- No. DE REPES= ", C: RETURN

106 LOCATE 4, 8: PRINT TAB(60); : LOCATE 4, 1: INPUT "4.- REPES CON TELEFONIA= ", J:
RETURN

107 LOCATE 5, 8: PRINT TAB(60); : LOCATE 5, 1: INPUT "5.- % DE LLAMADAS ENTRANTES=
", EN: RETURN

108 LOCATE 8, 3: PRINT TAB(60); : LOCATE 8, 3: INPUT "% ERROR EN PBT= ", ER1:
RETURN

109 LOCATE 8, 3: PRINT TAB(60); : LOCATE 8, 3: INPUT "% ERROR EN PBR= ", ER2:
RETURN

1091 LOCATE 8, 3: PRINT TAB(60); : LOCATE 8, 3: INPUT "ITERACIONES PARA PBT= ",
NPBTM: RETURN

1092 LOCATE 8, 3: PRINT TAB(60); : LOCATE 8, 3: INPUT "ITERACIONES PARA PBR= ",
NPBRM: RETURN

700 REM IMPRESION DE PAR METROS DE COLA

LOCATE 9, 25: PRINT "Lqin="; LQI;

LOCATE 10, 25: PRINT "Lqout="; LQO;

LOCATE 11, 25: PRINT "Lq="; LQ;

LOCATE 9, 50: PRINT "Lin="; LIN;

LOCATE 10, 50: PRINT "Lout="; LOU;

LOCATE 11, 50: PRINT "L="; L;

LOCATE 13, 25: PRINT "Wq="; WQ1;

LOCATE 13, 50: PRINT "W="; W;

LOCATE 18, 1: PRINT "T. espera si hay bloqueo="; TE, "Repes de Tel. Promedio="; SP,
PRINT "Carga solo tel="; RO1, "Carga final="; RO, "PBT aprox="; WQ, "Incremento PBT="; Y,
"Incremento PBR="; YX, "PBR aprox="; PBRX, "NPBT="; NPBT, "NPBR="; NPBR, "PBJRA=";
PBJRA, "PBRA="; PBRA, "ER1=ER="; KOM * 100; "%"
RETURN

REM CALCULO DE PBJR CON ITERACIONES

1066 PBJR = .5: YX = .1: FLAG1 = 0: FLAG2 = 0

```
1068 PBRX = PBJR ^ R * (PT + (1 - PT) * PBJR) ^ T
IF ABS(PBRX - PBR) <= PBR * ER2 / 100 THEN RETURN
IF PBRX > PBR THEN FLAG2 = 1: YZ = -1 ELSE FLAG1 = 1: YZ = 1
1069 NPBR = NPBR + 1: IF NPBR = NPBRM THEN RETURN
IF FLAG1 = 1 AND FLAG2 = 1 THEN YX = YX / 2
IF YX = 0 THEN RETURN
YX = YZ * ABS(YX)
PBJR = PBJR + YX
GOTO 1068
```