

01168 5
2ej-



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SIMULADOR DE UN SISTEMA DE
TELEFONÍA CELULAR**

OMAR GARCÉS ALVAREZ

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE

POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA
(Investigación de Operaciones)

Ciudad Universitaria
1998

260139

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SIMULADOR DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR

tesis para obtener el grado de maestro en
Investigación de Operaciones

presentada por el alumno:

OMAR GARCÉS ALVAREZ

1998

A

MIS

PADRES....

AGRADECIMIENTOS

- A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por su ayuda para la realización de mis estudios.
- A mi director de tesis el M. en I. José Maclovio Sautto Vallejo por permitirme llevar a cabo esta idea.
- A mis profesores en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI), en particular a la M. en I. Idalia Flores por sus comentarios sobre este trabajo de tesis.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México.
- A mis compañeros y amigos que de una u otra forma me ayudaron para la realización de este trabajo.
- En especial a María del Carmen Espinosa V. por su apoyo, ayuda, comentarios y sugerencias para la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE _____ 1

INTRODUCCIÓN _____ 1

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y SUS HERRAMIENTAS _____ 3

1.1.1 OPTIMIZACIÓN _____ 7

1.1.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES _____ 8

1.1.3 ANÁLISIS SISTÉMICO _____ 9

1.2 LA SIMULACIÓN _____ 11

CAPÍTULO 2 TELEFONÍA CELULAR

2.1 COMUNICACIÓN Y TELECOMUNICACIONES _____ 17

2.2 HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MÉXICO _____ 23

2.3 TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO _____ 25

2.4 ANTECEDENTES DE LA TELEFONÍA CELULAR _____ 29

2.5 FACTORES DE LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA CELULAR _____ 31

2.6 CALIDAD DE SERVICIO _____ 42

2.7 ECONOMÍA DEL SISTEMA	43
2.8 PAPEL DEL INGENIERO EN DISEÑO DE SISTEMAS CELULARES	45
2.9 IMPORTANCIA DEL SECTOR COMUNICACIONES	45
2.10 LA SIMULACIÓN EN LAS COMUNICACIONES	46

CAPÍTULO 3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

3.1 CONCEPTUALIZACIÓN	49
3.1.1 SISTEMA CONVENCIONAL	49
3.1.2 ¿QUÉ ES EL CONCEPTO DE TELEFONÍA CELULAR?	51
3.1.3 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR	54
3.2 PROCESO DE COMUNICACIÓN	56
3.2.1 CUANDO LA LLAMADA SE ORIGINA DESDE LA UNIDAD MÓVIL	56
3.2.2 CUANDO LA LLAMADA SE ORIGINA EN LA RED TELEFÓNICA PÚBLICA LOCAL	59
3.2.3 COMUNICACIÓN ENTRE UNIDADES CELULARES	61
3.2.4 DESCONEXIÓN DE UNA LLAMADA	63
3.2.5 CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE LLAMADA	64
3.2.6 ALGORITMOS DE TRANSFERENCIA DE LLAMADA	66

3.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	69
3.4 CARACTERÍSTICAS DEL SIMULADOR	77
3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODELO DE SIMULACIÓN	79
3.5.1 DIAGRAMAS DEL PROCESO DE COMUNICACIÓN	81
3.6 MANUAL DEL USUARIO	85
CONCLUSIONES	92

GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS

ANEXOS

A.1 LISTADO DE PROGRAMA

A.2 TABLAS ERLANG B

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la creciente necesidad de contar con sistemas de comunicación más rápidos y eficientes, ha hecho que desde hace años las comunicaciones inalámbricas sean una buena opción y además es un fuerte competidor en la comunicación, en el área de telefonía.

Las empresas dedicadas a dar el servicio de comunicación de telefonía inalámbrica, tienen actualmente limitantes con lo que respecta al ancho de banda empleado en el enlace de comunicación; además, la predicción y evaluación de sus sistemas se basa en el monitoreo del nivel de señal y datos estadísticos, solamente; no toman en cuenta otros factores que afectan el enlace como son: las posibles variaciones climatológicas, interferencias por otros medios, pérdidas por propagación; y otros como variaciones en la carga de tráfico durante el día. Aunque los datos anteriores sean bien conocidos ningún modelo teórico (analítico) puede proporcionar un valor calculado que corresponda exactamente a las pérdidas reales de estos factores.

La razón para no emplear solamente mediciones para obtener valores reales es que no es económicamente factible, pues las mediciones son caras y llevan tiempo. Además, aunque se lleve a cabo un estudio, no se pueden analizar las condiciones para cada terreno; debido a esto los medios auxiliares como la simulación son sumamente útiles y necesarios.

Con el empleo de la simulación se pueden realizar estudios que permitan mejorar el rendimiento del sistema, disminuir el mantenimiento e influir en el crecimiento del sistema y tener una herramienta más para el estudio y enseñanza de estos sistemas.

Con base en lo descrito con anterioridad y una inquietud personal de aplicar la Investigación de Operaciones al área de las Telecomunicaciones surge el presente trabajo de tesis que tiene como objetivo, la aplicación de un modelo de simulación a esta problemática para responder a las necesidades de competencia y mejoramiento del servicio. Con lo que se pretende dar un nuevo modelo para el estudio de sistemas de telefonía celular, y conseguir que personas ajenas a esta área de conocimientos comprendan la estructura y funcionamiento de los sistemas de telefonía celular.

Este trabajo se encuentra dividido en tres capítulos. En el capítulo uno, llamado Generalidades, trata sobre la historia, ramas y herramientas de la Investigación de Operaciones, como marco de referencia a la Simulación y su importancia.

El capítulo dos nombrado: Telefonía Celular; describe la necesidad de comunicación entre los seres humanos, las telecomunicaciones sus servicios e historia en nuestro país, describe los antecedentes y situación de la Telefonía Celular en México; da una reseña sobre la Telefonía Celular y características de algunos de estos sistemas en el mundo. Muestra los factores que intervienen en la planeación del servicio, el papel que desempeña el ingeniero y, la economía y calidad de servicio en estos sistemas. Al final del capítulo se muestra la importancia del sector comunicaciones y la simulación en esta área.

El capítulo tres, titulado Construcción del Modelo de Simulación. Exhibe el concepto de Telefonía Celular; explica y muestra, las partes y componentes de un sistema de Telefonía Celular; así como de su funcionamiento e interacción. Expone los distintos procesos, diagramas y algoritmos de comunicación necesarios para poder realizar una llamada entre usuarios del sistema telefónico celular y abonados de la red pública convencional. Posteriormente, describe los componentes del modelo de simulación. Y al término de este capítulo está el manual de usuario del programa de simulación.

Finalmente se presentan las conclusiones y resultados obtenidos en este trabajo. Además al final se muestra un glosario de términos y abreviaturas; dos anexos, uno con el listado del programa de simulación y otro con tablas Erlang B, y por último la bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y SUS HERRAMIENTAS

Antes de la primera Guerra Mundial; el pensamiento humanista consistía en asumir que el saber científico, expresado como tecnología, produciría beneficio en forma de bienestar; un aumento en la tecnología, engrandecería el bienestar. Pero al llegar la primera guerra con la muerte de millones de seres, se comprobó que avances en la tecnología, acrecentaban variantes de destrucción, provocando que el pensamiento humanista, inspirará desconfianza en el saber científico.

Años después, al inicio de la segunda Guerra Mundial, los Aliados probaron modalidades nuevas en la forma de planear, revisar problemas, mediante el conocimiento científico con grupos interdisciplinarios a los que se llamó: Grupos de Investigación de Operaciones. Dentro de este escenario se alentaron las corrientes de investigación del saber científico tan desvirtuado. Y la Investigación de Operaciones (IdO) empieza a trabajarse de manera real y profesionalmente. Aunque en un principio fue concebida para responder a una necesidad militar.

Es difícil precisar la inicialización oficial de la Investigación de Operaciones, muchos inicializadores llevaron a cabo trabajos que ahora se considerarían como de IdO, en la Primera Guerra Mundial se dio a Thomas A. Edison la tarea de averiguar maniobras para barcos mercantes para que fueran más eficaces y disminuir las pérdidas de embarques causadas por submarinos enemigos. En vez de arriesgar barcos en condiciones reales, Edison empleó un "tablero táctico" para encontrar la solución. En la década de los 30's Horace C. Levison aplicó algunos modelos matemáticos muy refinados a grandes cantidades de datos, cuyo manejo habría sido imposible de otro modo.

Desde principios de 1937, se pidió a los científicos ingleses colaborar con los militares para ayudarles a descubrir mejores maneras de utilizar el radar para localizar aviones enemigos. Este tipo de actividades científicas se conoció en Inglaterra como "Investigación Operacional". Este tipo de actividades también se desarrolló en Estados Unidos, Canadá y Francia, sobre todo en la segunda Guerra Mundial.

Originalmente, los científicos colaboraban con oficiales para resolver problemas de operaciones militares, sin embargo muchas veces los análisis científicos eran ignorados y vistos sólo como instrumentos de consulta, otros tantos fueron de gran utilidad.

En la postguerra, el desarrollo en la propuesta de solución a modelos de programación lineal dada por Dantzing en 1947, y la introducción de las computadoras digitales, dotó al análisis de poderosas herramientas que le ayudaron a ampliar la esfera de acción de la IdO.

A pesar de tener sus inicios en la guerra, la IdO ha ido abarcando campos como la ingeniería, los negocios, la industria y las comunicaciones; haciendo extensivos los beneficios de tal metodología al gobierno y las empresas privadas. Este crecimiento del campo de uso de la IdO, ha traído consigo el desarrollo y diferenciación de técnicas para la solución de problemas; se pueden identificar a la Teoría de Juegos, a la Teoría de Inventarios, de Colas, la Simulación Digital, los Procesos Estocásticos y Optimización.

Puede tomarse la siguiente definición de la Investigación de Operaciones, correspondiente a la United Kingdom Operational Research Society:¹

¹ European Journal of Operation Research, Vol. 28, 1987 pag. 218-225.

"La Investigación de Operaciones, es la aplicación del método científico a problemas complejos, de administración y dirección de grandes sistemas de hombres, máquinas, material y dinero, en la industria, los negocios, el gobierno y la defensa. Su enfoque distintivo es el desarrollo de modelos científicos del sistema, incorporando medidas de factores tales como oportunidad y riesgo, con los cuales se predice y compara contra los resultados de decisiones, estratégicas o controles alternos. Su propósito es ayudar a la administración a determinar científicamente sus políticas y acciones."

La IdO adquiere cada día mayor importancia en el universo de la profesiones científicas aplicadas. Como disciplina profesional, se integra en una realidad más amplia.

La IdO se aplica a problemas donde se tienen varios cursos de acción, con diferentes ventajas y costos. El tomador de decisiones debe elegir uno, de acuerdo a alguna preferencia, objetiva o subjetiva, cumpliendo además con las restricciones que imponga la empresa o el medio ambiente donde se da el problema; es decir, los problemas corresponden a problemas de decisión. La relación de la IdO y la toma de decisiones es muy estrecha.

La IdO es un enfoque y una metodología, cuyo objeto es el estudio y resolución de problemas, los cuales aborda con métodos, modelos e instrumentos; usa una modalidad inter y multidisciplinaria.

En cuanto a los métodos, la IdO debe ser capaz de cumplir una exigencia de variedad pero también de sobriedad, veracidad y relevancia de los temas que aborda. Respecto a los modelos, debe plantear de modo consistente, las variables y las relaciones que intervienen en el problema; asimismo especificar en que medida el modelo es apto para representar el problema. Referente a los instrumentos, la IdO debe usar la tecnología moderna (máquinas) como ayuda; a las matemáticas para manipular la complejidad del problema y a la teoría de sistemas para planear relaciones y estructuras.

Otro aspecto importante de la IdO es el uso del enfoque de sistemas, que obligan a analizar el problema desde un punto de vista más general del que se suponía inicialmente.

El énfasis en la teoría de sistemas, como herramientas de la IdO, está de apoyo; es decir, son los sistemas los que ayudan al tomador de decisiones, sin sustituirlo ni ofrecerle soluciones.

Para enfrentar los problemas, la IdO construye modelos, sobre los cuales estudia las diversas alternativas y donde ensaya las soluciones propuestas. Por otra parte, las soluciones deben ser prácticas, de tal forma que puedan ser empleadas por el tomador de decisiones.

Algunos problemas varían con el tiempo, o bien su solución se deberá implementar a través de varias etapas.

Para realizar su misión, la IdO se sirve principalmente de los medios que la ciencia moderna de modo incesante; renueva y deja los disponibles, para conseguir un desempeño acorde con su vocación.

La IdO se aplica en muchas actividades humanas, especialmente en las ciencias físicas, la economía, las ingenierías y las ciencias sociales.

Ramas de la Investigación de Operaciones según Operations Research Society of America (ORSA)² :

- 1) Análisis de decisiones, ofertas y negociación.
- 2) Defensa y seguridad internacional.
- 3) Distribución, redes y planeación.
- 4) Cuidado de la salud e industrias del sector servicios.
- 5) Interfases con la computación.
- 6) Manejo de recursos naturales, energía y medio ambiente.
- 7) Optimización.
- 8) Producción y secuenciación, inventarios y manejo de materiales.
- 9) Simulación, implementación y evaluación de modelos dinámicos.
- 10) Sistemas sociales y del sector público.
- 11) Procesos dinámicos y sus aplicaciones.

² Publicadas en Enero-Febrero de 1983, Vol. 31, Número 1.

Dentro de la Investigación de Operaciones hay dos líneas claramente diferenciadas:

- a) La optimización.
- b) El análisis de sistemas (o sistémico) dinámicos.

1.1.1 OPTIMIZACIÓN

La optimización busca la mejor manera de realizar una actividad. Son métodos para determinar los valores de las variables que hacen que el rendimiento de un proceso o un sistema sea máximo o mínimo.

En la mayoría de las aplicaciones de la IdO, se supone que la función objetivo y las restricciones del modelo se pueden expresar en forma cuantitativa o matemática como funciones de las variables de decisión. En este caso se habla de modelos matemáticos (analíticos y/o heurísticos).

Los cálculos en los modelos matemáticos son comunmente iterativos, se llega a la respuesta final en pasos o iteraciones, donde cada nueva iteración acerca a la solución al valor óptimo. Por lo que se dice: la solución converge en forma iterativa a la solución óptima. Sin embargo, no todos los modelos matemáticos poseen algoritmos que nos lleven a una solución óptima; esto se puede deber a que no hay posibilidad de probar convergencia del algoritmo o la complejidad del modelo puede hacer imposible idear algún algoritmo de solución.

Las dificultades matemáticas han obligado a buscar otros métodos de cálculo. Estos métodos también son de naturaleza iterativa, pero no garantizan una solución óptima, buscan una buena solución al problema. Tales métodos se les denomina heurísticos.

Los métodos heurísticos dentro de la IdO se emplean para dos fines principalmente: Dentro de los algoritmos de optimización exactos para aumentar la velocidad en el proceso de alcanzar la solución óptima, la otra finalidad es simplemente para obtener una " buena " solución al problema.

Dentro de los algoritmos mas importantes desarrollados, tenemos el algoritmo de transporte [22], algoritmo de flujo máximo y algoritmo de costo

mínimo en redes [25], algoritmo de descomposición de Benders [4], el método simplex [11]; por citar algunos.

1.1.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La IdO se aplica, en las áreas ya descritas, siguiendo un procedimiento aceptado y suficientemente establecido:

a) *Definición del problema.* Esto indica tres aspectos principales: el primero, identificación de la meta u el objetivo del estudio; el segundo, observación e identificación de las alternativas y el tercero, planeamiento de las limitaciones, restricciones y requisitos del problema.

b) *Construcción de un modelo que represente el sistema bajo estudio.* Dependiendo de la definición del problema, se ve si el modelo resultante se ajusta a un modelo matemático, a un modelo de simulación o el uso de una combinación de modelos matemáticos, heurísticos y de simulación.

c) *Generar o deducir una solución a partir del modelo.* En modelos matemáticos se logra usando técnicas de optimización y se dice que el modelo proporciona una solución óptima. Si se usan modelos de simulación o heurísticos el concepto de optimizar no está bien definido, y la solución se emplea para evaluaciones aproximadas.

d) *Prueba y evaluación del modelo y la solución (evaluación ex-ante).* Se examina y prueba la solución obtenida para validarla antes de implantarla.

e) *Implantación y control de la solución.* Es la aplicación y establecimiento de la solución al problema.

f) *Evaluación de la solución implantada (evaluación ex-post).* Observación de los resultados obtenidos una vez que se ha implantado la solución.

Este procedimiento es importante para distinguir la aplicación formal de la IdO del uso de alguno de sus modelos dentro de otras disciplinas, donde usualmente se limitan a ajustar el problema a un modelo preexistente y ejecutar algún programa que realiza el algoritmo y produce una solución, que se aplica sin preocuparse mucho de la evaluación.

La IdO tiene algunas limitaciones, una de las más importantes es la factibilidad de los algoritmos. Cuando se conoce un método para resolver óptimamente un problema dado, muchas veces no se puede aplicar a problemas reales, debido a que su combinatoria de los posibles caminos de solución que pueden ser explorados son demasiados. En la práctica, los problemas reales involucran miles de ellos. Cuando sucede esto, se aplican soluciones subóptimas o parciales. Muchos métodos descansan en el uso de heurísticas.

1.1.3 ANÁLISIS SISTÉMICO

En el interior del movimiento sistémico se puede hacer una distinción entre dos grupos de ideas: "el desarrollo de las ideas de sistemas como tales" y "la aplicación de esas ideas dentro de alguna disciplina ya establecida", por ejemplo en biología, historia, etc.. En el primer grupo de ideas se puede planear una nueva subdivisión: el "desarrollo teórico de sistemas" y el "desarrollo y aplicación del pensamiento sistémico en la solución de problemas"; en este último grupo es posible distinguir tres áreas de trabajo: "apoyo a la toma de decisiones", "trabajo en sistemas duros" y "trabajo en sistemas suaves"³. El análisis de sistemas se da dentro de las corrientes de "apoyo a la toma de decisiones" y "trabajo en sistemas duros".

El análisis de sistemas, ha llevado a una serie de innovaciones de carácter metodológico, conceptual, de técnicas y modelos, aunque siempre con un predominio del desarrollo de las técnicas y modelos por encima de lo conceptual y metodológico. Respecto a las ramas en que se han alcanzado resultados más significativos, destacan las siguientes: pronóstico, análisis de decisiones, análisis de riesgo e incertidumbre, programación y presupuestación, y simulación de sistemas.

En gran número de situaciones reales siguen estando fuera del alcance de las técnicas matemáticas de que se dispone en la actualidad. Por tal motivo, el sistema real puede tener demasiadas relaciones, variables, para hacer posible una representación matemática; aun cuando se pueda formular el modelo matemático, este puede ser demasiado complejo para resolverse a través de los métodos de solución disponibles. Y es aquí donde el análisis sistémico entra como otra herramienta para la solución de problemas.

³ para una mayor profundidad en este tema consultar la bibliografía [3].

El objetivo del análisis sistémico es la descripción de sistemas y la explicación de sus componentes. Describir un sistema significa que se construye algún tipo de representación o modelo de él. El segundo propósito del análisis sistémico: la explicación, responde las preguntas ¿Cómo? y ¿Porqué? de la conducta o comportamiento de los componentes del sistema.

El análisis de sistemas tiene los siguientes elementos esenciales[6]:

- 1) Un objetivo o varios objetivos que deseamos alcanzar.
- 2) Técnicas o instrumentos (o "sistemas") alternativos que permiten alcanzar el objetivo.
- 3) Los "costos" o recursos requeridos por cada sistema.
- 4) Un modelo o varios modelos matemáticos, es decir el marco matemático o lógico o conjunto de ecuaciones que muestren la interdependencia de los objetivos, las técnicas e instrumentos, el ambiente y los recursos.
- 5) Un criterio que relaciona los objetivos y los costos o recursos para la elección de la alternativa preferida u óptima.

El uso del análisis de sistemas no garantiza por sí mismo que el usuario obtendrá una solución ideal para un problema.

Un enfoque diferente para la representación por medio de sistemas a los problemas que no tienen solución analítica ni algoritmo que los resuelva, se manejan por medio de modelos de simulación.

- *La simulación un instrumento de modelación sistémica.*

Un modelo de simulación divide el sistema representado en partes básicas o elementales que después se entrelazan entre sí vía relaciones lógicas bien definidas.

Los modelos de simulación, cuando se comparan con modelos matemáticos, ofrecen mayor flexibilidad al representar sistemas complejos.

El análisis sistémico y la simulación, se han convertido en uno de los principales pilares de desarrollo dentro de la IdO.

Frecuentemente, las técnicas de simulación y de optimización se usan en combinación. Primero se construye un modelo simplificado del sistema que permite emplear una técnica de optimización. Los resultados de este estudio determinan valores aproximados de los principales parámetros, alrededor de los cuales deben realizarse estudios más detallados, o sea de simulación.

La implementación de algoritmos de IdO, así como de simulación, se realiza generalmente con el apoyo de equipo de cómputo, sin el cual un buen número de los problemas reales no tendrían solución práctica. La relación entre la IdO y la computación se ha mantenido desde el nacimiento de ambas disciplinas, y en ocasiones se les llega a confundir en sus aplicaciones a los negocios.

1.2 LA SIMULACIÓN

Con el surgimiento de la computadora se dio un gran impulso al desarrollo del análisis de sistemas. Al permitir analizar una gran cantidad de información, las computadoras han ayudado a estudiar con mayor precisión las variables asociadas a sistemas más complejos. La computadora es además una herramienta indispensable para la solución de modelos formales de sistemas, y para realizar estudios de simulación de sistemas.

La simulación de sistemas tomó otro significado con la computadora, ya que surgió la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos en una computadora; surgieron incontables aplicaciones y aportaciones en todas las áreas del conocimiento humano.

Existen sistemas donde la solución analítica no existe o es muy laborioso obtenerla, es por esto que surge la simulación digital, que es la modelación de cierto tipo de sistemas utilizando un computador digital. La simulación en computadora digital es un método para analizar sistemas.

La simulación de sistemas se define⁴ como " la técnica de resolver problemas siguiendo los cambios en el tiempo del modelo dinámico de un sistema".

La simulación significa representación de la realidad; por ende, la descripción verbal y la representación esquemática o gráfica del mundo real

⁴ Simulación de sistemas, Geoffrey Gordon. Edt. Diana 1986.

constituyen una simulación. Otra una definición de simulación es: una técnica experimental para resolver problemas que permite tener un modo efectivo de probar, manejar y evaluar un sistema propuesto sin tener acción directa sobre el.

Las aplicaciones de la simulación son el diseño de sistemas, el análisis de sistemas y la postulación de sistemas.

El diseño de sistemas tiene el propósito de producir un sistema que satisfaga algunas especificaciones. El sistema propuesto se modela y se predice su comportamiento a partir del conocimiento del comportamiento del modelo. Si el comportamiento predicho se compara favorablemente con el comportamiento deseado, se acepta el diseño. En caso contrario, se rediseña el sistema y se repite el proceso.

El análisis de sistemas pretende comprender la manera en que opera un sistema existente o propuesto. Mediante la simulación se investiga el comportamiento del modelo y los resultados obtenidos se interpretan en términos del comportamiento del sistema.

En la postulación de sistemas se establecen hipótesis de un conjunto probable de entidades y actividades que pueden explicar el comportamiento. El estudio compara la respuesta del modelo con base en esas hipótesis contra el comportamiento conocido.

El modelado es el proceso de identificar y asociar objetos y procesos físicos, o símbolos y sus relaciones, con las entidades, atributos, actividades y relaciones de un sistema, a fin de obtener resultados y conclusiones que sirvan al sistema original y a todos aquellos estructuralmente semejantes a él. El modelado es un proceso de abstracción, creativo que implica el conocimiento del sistema y depende de la imaginación, intuición, perspicacia de la persona que lo desarrolle. Una vez realizado este proceso, dependiendo de cómo y con que se haga, tomará distintas características.

Para realizar un modelo de simulación de un sistema se requiere primero conocer algunos conceptos como: entidad, atributo, actividad, variable estocástica y estado del sistema.

- *Conceptos básicos de simulación:*

Entidad. Es un elemento que conforma al sistema.

Atributo. Denota una propiedad en las entidades.

Variable Estocástica. Es una variable que corresponde a una actividad aleatoria. No se conoce la secuencia de los valores pero si el rango de ellos y su probabilidad.

Actividad. Es un proceso (estocástico generalmente) que causa cambios en el sistema.

Estado del Sistema. Indica una descripción de todas las entidades, atributos y actividades de acuerdo con su existencia en algún punto del tiempo.

El modelo es una descripción abstracta del mundo real; es una representación simple de formas, procesos y funciones mas complejas.

Para realizar el modelo se requieren de dos tareas:

- 1) La determinación del objeto, estructura o sistemas a modelar. Aquí se fija la frontera de lo que se pretende modelar y se identifica el objeto de interés.
- 2) Establecer las relaciones. Aquí se reconocen las propiedades partes y relaciones que conforman dicho objeto y los procesos, leyes o mecanismos que provocan cambios en él.

Realizadas estas dos tareas se procede a elaborar el modelo. Una vez construido el modelo, se pueden manipular las variables que intervienen y buscar las posibles soluciones. Posteriormente se procede a resolver el modelo, este proceso recibe el nombre de aplicación.

Dentro de la simulación de sistemas se puede hablar de dos tipos de simulación:

La simulación continua

En la simulación continua el interés primordial es en los cambios suaves, generalmente se utilizan ecuaciones diferenciales para describir a los sistemas en estudio. En este tipo de simulación se examina en todos y cada uno de los puntos en el tiempo. Este tipo de simulación se emplea, por ejemplo, para el estudio de transitorios en circuitos eléctricos, el análisis de flujo en una tubería, etc.

La simulación discreta

En la simulación discreta su interés se centra en los eventos (sucesos) de un punto a otro en la escala del tiempo. Consiste en seguir cambios en el estado del sistema resultado de la sucesión de eventos. Un evento puede provocar un cambio en el valor de algún atributo de alguna entidad, puede crear o destruir una entidad, o puede iniciar o detener una actividad. La tarea de simular sistemas discretos requiere construir un programa en que sea posible seguir la secuencia de los eventos. Un ejemplo de este tipo de simulación es el análisis de colas en bancos.

Dinámica, es decir, esta en función del tiempo; las interacciones entre entidades y sus atributos, varían o cambian con el tiempo. Permite estudiar los sistemas ya sea en tiempo real, tiempo comprimido o tiempo expandido.

Estocástica, las variables son de tipo no determinísticas (aleatorias). No se puede determinar exactamente su salida.

Polivariable: interviene un número grande de variables interrelacionadas donde la interrelación generalmente reviste las características anteriores (dinámica y estocástica).

En la figura 1, se muestra la metodología general del proceso de simulación por medio de un diagrama de flujo.

La simulación digital permite observar procesos del mundo real que llegan a ser demasiado costosos si se implementaran por otros medios o se llevaran a cabo en condiciones reales.

La técnica de simulación consiste básicamente en reproducir varios ciclos de vida del sistema y sacar las estadísticas respectivas.

Con lo referido anteriormente se entiende a la simulación como un método usado para estudiar la dinámica de sistemas, el cual está formado por la construcción del modelo como su uso posterior para estudiar un problema.

Así la simulación es aplicable a todas las disciplinas, ya que es una metodología aplicada y experimental que intenta:

- a) Describir el comportamiento del sistema.

b) Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado.

c) Usar estas teorías para predecir un comportamiento futuro.

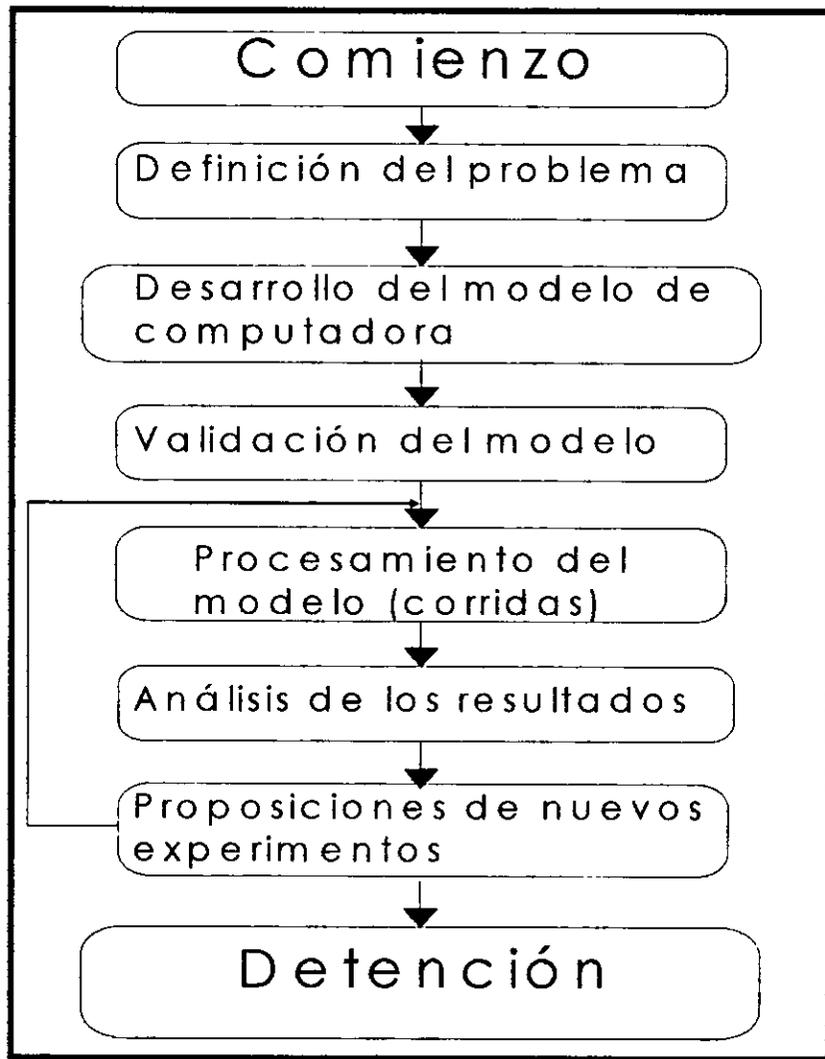


Figura 1 Procedimiento de Simulación

Conforme se ha desarrollado las computadoras digitales se ha incrementado el uso de la simulación digital debido principalmente al abaratamiento del procesamiento, la reducción del tiempo de procesamiento.

La simulación hace posible estudiar y experimentar con las complejas interacciones que ocurren en el interior de un sistema dado. Puede ser usada como recurso pedagógico para estudiantes y profesores.

La simulación no da resultados óptimos. En cada ciclo de simulación puede llevar a un diseño mejor, pero no necesariamente al óptimo. Aunque también, puede suceder todo lo contrario, los resultados obtenidos en la simulación pueden ser peores.

CAPÍTULO 2 TELEFONÍA CELULAR

2.1 COMUNICACIÓN Y TELECOMUNICACIONES

“La comunicación es el proceso por el que el individuo transmite estímulos para influir en los demás”. La comunicación es un proceso fundamental en el ser humano.

Desde la época primitiva hasta nuestros días, la sociedad se funda en la capacidad de transmitir sus intenciones, deseos, sentimientos, conocimientos y experiencias de una persona a otra.

Sin comunicación es casi imposible la existencia del individuo. En todo ser humano existe un impulso vital de comunicación que le permite satisfacer sus motivaciones físicas o psíquicas y mantener así el equilibrio de su existencia.

El proceso de comunicación es interacción, crea estímulos y reacciones recíprocas, lo que motiva una relación mutua y constante entre el comunicador y el receptor.

La comunicación es modeladora del medio ambiente en que se desenvuelve el individuo y se constituye en la base del desarrollo de la humanidad a lo largo de su proceso histórico.

En los tiempos remotos, el hombre primitivo recurría a los gestos y emisiones de sonido para comunicarse, posteriormente surgen nuevas formas de comunicación, como las pinturas rupestres, la danza, el canto, los jeroglíficos, las escrituras primitivas, hasta llegar a la escritura alfabética.

Paralelamente, a medida que aumenta la comunicación, se abren nuevos horizontes. Surge el deseo de comunicarse con otros pueblos, de crear sistemas que la faciliten como caminos, vías, carreteras, etc., y es el intercambio de conocimientos lo que produce un enloquecimiento mutuo en las culturas. Pero de hecho el progreso sensible de la transmisión de ideas no se alcanza sino hasta que el hombre recurre a métodos científicos y es a través de su aprovechamiento cuando aparece la tecnificación de los sistemas difusores de ideas.

El primer sistema basado en la máquina de imprenta del alemán Gutemberg en 1492, permitió una mayor propagación y conservación de ideas y conocimientos.

A partir de la revolución francesa ya se puede hablar de una difusión generalizada de ideas, así como de un progreso en las técnicas de comunicación. Es entonces cuando el mundo pasa del manuscrito, al libro. El mundo se transforma. En el período de grandes transformaciones técnicas y sociales conocido como la Revolución Industrial llevó a la humanidad al descubrimiento de la electricidad.

Su aprovechamiento en las técnicas de comunicación es decisivo, logra el perfeccionamiento de los medios de comunicación. Así en el siglo XIX aparecen grandes inventos como el telégrafo de Samuel Morse, el teléfono de Graham Bell, el fonógrafo de Edison, el cinematógrafo de los hermanos Lumiere y el radio de Guglielmo Marconi, quien hace posible la comunicación a larga distancia por medio de las ondas electromagnéticas cuya naturaleza fue descubierta por J. C. Maxwell y reproducidas por primera vez en forma artificial por Hertz.

Las estructuras sociales evolucionan a la par y como cúspide a los inventos difusores de palabras e imágenes surge la televisión en las primeras décadas del siglo XX y la era espacial abre las puertas a nuevos y revolucionarios medios de comunicación. En 1957 es puesto en órbita el primer

satélite artificial de la tierra y se hace factible la comunicación espacial que permite enviar mensajes alrededor del mundo.

En esta era de la electrónica en que los descubrimientos científicos y sus aplicaciones han originado una revolución en los medios de comunicación. La cibernética pone a su alcance las computadoras electrónicas y la fisión atómica descubre ante él sus poderosas aplicaciones tanto en beneficio como en su destrucción total.

Un sistema de comunicación a base de varios satélites convenientemente situados en el espacio ha permitido enlazar la transmisión de señales en todo el mundo.

Dentro de los medios de comunicación, destacan en la actualidad por su impacto en la sociedad las Telecomunicaciones, las cuales pueden ser por medio de "hilo" e inalámbricas(también llamadas Radiocomunicaciones).

Las Radiocomunicaciones se originan por la curiosidad, el interés y la determinación del hombre por establecer comunicaciones sin medios alámbricos. Estas se iniciaron con la telegrafía sin hilos, continuando con la radiotelefonía, y así evolucionando en diversos aspectos, como el radar, las microondas y las comunicaciones vía satélite.

En el ámbito mundial las Telecomunicaciones están reglamentadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, cuya sede está en Ginebra, Suiza. Esta institución tiene por objeto organizar las telecomunicaciones y dictar normas que regulen el mejor uso del espectro de frecuencias radio eléctricas.

El objeto principal de reglamentar el uso del espectro de frecuencias fue el de uniformar su empleo de tal manera que la misma frecuencia fuera utilizada para el mismo servicio en todo el mundo o en varias regiones y evitar el caos que de otra forma se crearía.

El espectro de frecuencias radio eléctricas es una gama comprendida entre 1 ciclo por segundo (Hertz, su abreviatura es Hz) hasta los 30 giga ciclos por segundo (GHz). En la figura 1, se muestra el espectro de frecuencia radio eléctricas, donde se pueden observar algunas aplicaciones de las Radiocomunicaciones y el nombre algunos dispositivos o medios para la transmisión y recepción de frecuencias.

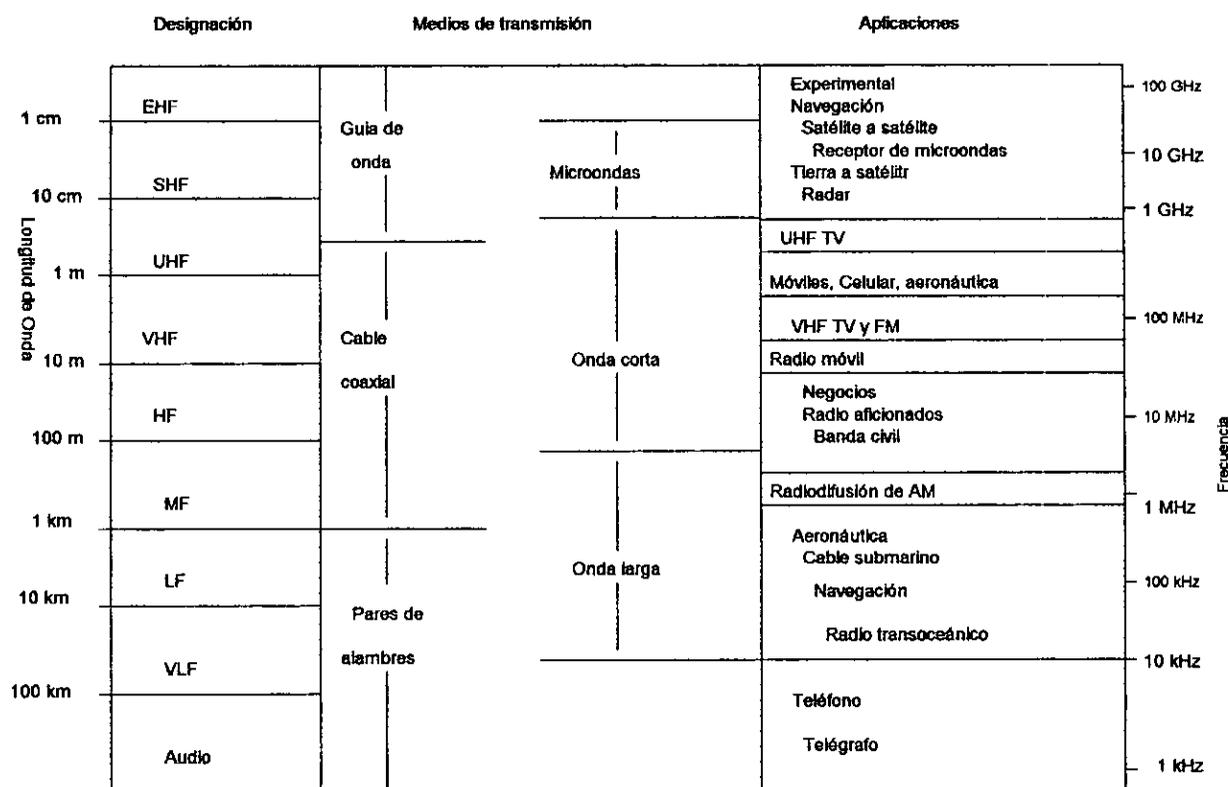


Figura 1 Espectro de frecuencia

En los medios de Telecomunicación se distinguen unos que por su instantaneidad y omnipresencia al poner en contacto al individuo con sus semejantes en el preciso momento que acontece, ocurre algo de interés en la vida íntima del individuo hacen que: la radio, la televisión y la telefonía; modifiquen en forma significativa el comportamiento social del hombre.

Las Telecomunicaciones han experimentado un considerable dinamismo durante los últimos 15 años, que se ha traducido en cambios estructurales, organizativos y regulatorios de los mercados. Ante este nuevo marco, surgen importantes oportunidades de crear y desarrollar nuevos mercados, apoyándose en la implantación de nuevas redes y servicios soportados por nuevas tecnologías.

Siendo el mercado de las Telecomunicaciones móviles uno de los más activos en los últimos años, no debe sorprender como uno de los de actuación preferente. Sin embargo, las características y dinámicas propias de estos

mercados, y su reacción ante los estímulos; crean incertidumbres sobre sus formas de evolución y perspectivas del futuro.

Los mercados de las Telecomunicaciones tienen sus aspectos críticos, los cuales poseen efectos en su desarrollo, dichos aspectos son los siguientes:

- Disponibilidad espectral
- La regularización
- La forma de los mercados
- Las tarifas
- Los estándares
- Las tecnologías
- El diseño y la operativa
- Las inversiones
- La interacción con la red terrestre
- La dimensión socio-política

En la diversidad de aplicaciones, dentro de las telecomunicaciones se tienen los siguientes servicios:

RADIOMENSAJERÍA(PAGING): Servicio de avisos, que da una atención sobre la existencia de una llamada para el usuario, proveyendo una limitada movilidad a este, en cuanto a independizarle de una conexión a la red fija de Telecomunicaciones. Puede dar dos tipos de aviso, uno sonoro que condiciona al usuario a ponerse en contacto con el número de teléfono fijo y posteriormente, según el tipo de aviso originar otra llamada a su llamante. O un mensaje corto alfanumérico, que permite devolver la llamada sin la intermediación de otro agente.

Es un servicio unidireccional, que se puede dar en diferentes ámbitos: entornos cerrados o locales (edificios, campus, etc.), entornos de área limitada (ciudad o región) y entornos nacionales. Por su utilidad como localizadores de personas cuya disponibilidad debe ser alta, es un servicio que a tenido una alta aceptación.

TELEFONÍA SIN HILOS: Servicio que permite una movilidad limitada al usuario, en torno a un punto de terminación de la red fija telefónica. Su ámbito de aplicación es doméstico o en entornos muy locales al negocio (restaurantes, etc.). Su preferencia permite una alta penetrabilidad en interiores. Servicio bidireccional y determinado por la estación base (alcance, calidad, seguridad, etc.) unidad permanente a la red fija.

TELEFONÍA PÚBLICA SIN HILOS: Es una extensión del servicio anterior en que la estación de base es pública y la terminal del usuario es portátil (como si se tratara de una cabina telefónica sin hilos, de decenas de metros cuadrados de superficie, y con terminales propietarios). Es un servicio unidireccional, aunque interactivo (sólo permite generar llamadas). El precio es excesivo de las terminales, la necesidad de importantes inversiones en infraestructura para instalar un número de estaciones de base suficientes para ofrecer una gran cobertura, la necesidad de unas tarifas atractivas, etc., han hecho que el mercado no se haya desarrollado conforme a lo esperado. La poca atracción para los inversionistas ha hecho que varios de ellos se hayan retirado, quedando el mercado en una situación paradójica.

RADIO CELULAR: Servicio que ofrece comunicaciones bidireccionales, generalmente telefónicas y -en menor escala- de datos, de y hacia una terminal móvil a menudo instalado en un automóvil, aunque también terminales transportables y manuales. La estructura de la red, con estaciones de base de cobertura limitada (células), que permite la reutilización de frecuencias entre células no adyacentes, exige una tecnología compleja para mantener la comunicación al cambiar de célula o de red. Sus costos de terminal y del servicio se han hecho aplicarse fundamentalmente al sector de negocios. Es el servicio que permite una movilidad total del usuario, siempre que la cobertura de su red le provea el servicio en su localización específica. La telefonía celular del futuro integrará algunos servicios mencionados.

RED DE COMUNICACIONES PERSONALES: Es el servicio de telecomunicaciones soñado, en el cual el usuario recibe los servicios de la red fija, con plena movilidad, y según un número personal, independiente de una terminal y de su localización. Este servicio, no existente, requiere tal capacidad de comunicación para soportar el gran número potencial de terminales, que se hace necesaria la reutilización de frecuencias, lo que significa células muy pequeñas y, por tanto, un número elevadísimo de estaciones base. Con células más pequeñas, las terminales necesitarían menor potencia y serían más baratos y ligeras.

RADIO MÓVIL PRIVADO: Son los servicios de comunicaciones móviles soportados sobre redes que son propiedad del usuario. Son aplicables al ámbito de los negocios en los que se requiere disponer de personal desplazable, pero permanentemente comunicado con sus bases. Normalmente el área de cobertura es limitada a zonas urbanas, aunque existen redes de cobertura muy amplia.

SERVICIOS MÓVILES TERRESTRES POR SATÉLITE: Con la ventaja de cobertura, existen servicios para redes móviles de servicio privado, basados en el uso de satélites geoestacionarios como estaciones base. Los satélites, por su facilidad de alcanzar una gran cobertura en un tiempo corto de materialización de inversiones, son muy interesantes para la provisión de servicios personalizados. Este servicio de comunicaciones es de carácter internacional.

SISTEMAS DE RADIOLOCALIZACIÓN POR SATÉLITE: Son servicios que permiten la localización de una terminal móvil, en tanto esté en operación. Son útiles para la localización permanente de flotas de vehículos, permitiendo además la comunicación con estos. Los hay de tipo pasivo, en el que la terminal se autoriza con señales recibidas, y de tipo activo, en los cuales la terminal es quien emite la señal al sistema de radiolocalización, la cual es transmitida a un centro de control donde puede ser consultada por el vehículo.

SISTEMAS DE MENSAJERÍA POR RADIO: Es un servicio de mensajería para enviar información a terminales móviles. Su utilización es para servicios de carácter social (seguridad) pueden abrir un gran mercado.

COMUNICACIÓN DE RADIO DE CORTO ALCANCE: Este servicio de comunicación entre terminales móviles de bajo costo, que se encuentran a una distancia limitada, apoyados en estaciones repetidoras; son útiles para aplicaciones de seguridad, vigilancia, etc.

SERVICIO UNIVERSAL DE COMUNICACIONES MÓVILES: Se prevé que sea la siguiente generación de servicios, integrado las funcionalidades de la mayoría de los anteriores (sin hilos, celular, paging, etc.). Para su provisión se estima que será necesario integrar las tecnologías que soportan esos servicios. Otro servicio importante que soportará son las comunicaciones de datos de alta velocidad.

2.2 HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MEXICO

La historia de las telecomunicaciones en México se remonta a mediados del siglo pasado, con la instalación del primer aparato telegráfico en 1849. Posteriormente, en 1882 entraron en operaciones los primeros circuitos telefónicos, y la primera llamada internacional se realizó en 1883.

El desarrollo de las telecomunicaciones siguió y en 1921 se efectuó la primera emisión radiofónica, posterior a esto en 1927 se formó la Comisión Federal de Radio.

El auge de la radiodifusión en la década de los 40's, aunado al crecimiento de la telefonía en el país, fueron el pivote para el inicio de la actividad industrial en este campo, sin embargo no fue hasta la década de los 60's, cuando crece considerablemente la tasa de inversión en las comunicaciones y se instalan las primeras grandes factorías del sector.

En los sesenta el sector público por medio de la SCT inicia la construcción de la red de telecomunicaciones, integrada básicamente por el servicio de microondas que conducen las señales telegráficas, telefónicas, de radio y televisión.

El servicio telegráfico por Telex se extendió a 34 ciudades del país. Con motivo de los XIX Juegos Olímpicos, TELMEX instala una compleja infraestructura entre la red de microondas y la estación terrestre de Tulancingo, para el enlace vía satélite.

En la década de los 80's la telefonía se incrementa de manera notable, al principio de la década había aproximadamente 4 millones de teléfonos, para finales de la misma cerca de 9 millones.

En 1981, se establece el servicio telefónico radiomóvil, para aquellos usuarios que requieran contar con una comunicación automática desde sus vehículos.

En 1982, México inició las comunicaciones por satélite en su territorio, arrendando capacidad de un satélite Intelsat, para satisfacer las necesidades del país.

Se inaugura el Centro de Control y Seguimiento Terrestre del Sistema Satélite Morelos; entra en operación el satélite Morelos 1 y se lanza al espacio el satélite Morelos 11, todo esto sucede en 1985. Año en que México ingresa a aquellos países que han montado sus propios sistemas "domésticos".

A finales de la década de los noventas (1989) la SCT da a conocer los nombres de las empresas que tendrán la concesión para explotar el servicio de telefonía celular en el país.

En 1991, se celebran los 100 años de la creación de la SCT, con la inauguración de la Expo-Centenario SCT, la cual tuvo un impacto importante en todos los sectores de comunicaciones.

En Noviembre de 1993 y Febrero 1994, entran en operación los satélites mexicanos Solidaridad I y II respectivamente. Con lo que se amplía la capacidad de comunicación vía satélite, para satisfacer las necesidades de comunicación con países de Centroamérica, el Caribe, Sudamérica y E.U..

El sector de las comunicaciones en la economía mexicana, muestra desde 1970 hasta hoy en día, uno de los sectores con mayor dinamismo, colocándolo sólo por debajo del sector de la petroquímica básica.

El incremento de interés en este sector por parte de los particulares ha sido impulsado mediante acciones emprendidas por la SCT, al limitarse al establecimiento de las regulaciones y a la promoción de las telecomunicaciones, dejando a la iniciativa privada la prestación de los servicios. Estas políticas han dado como resultado la modernización incipiente de las telecomunicaciones en México.

Por último es importante señalar que en el desarrollo de las telecomunicaciones ha existido tradicionalmente dependencia tecnológica del exterior, se considera que en el sector se realizan esfuerzos considerables para la capacitación y creación de técnicos en esta industria nacional.

2.3 TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

Dentro de los servicios de Telecomunicaciones mencionados con anterioridad. El servicio telefónico se ha convertido hoy en día, indispensable para el hombre. Dentro de las necesidades de comunicación que requiere el ser humano.

En la figura 2, se sitúa a través se un enfoque sistémico a la telefonía celular, como medio de comunicación. El servicio telefónico puede ser dividido en dos tipos:

- 1ro. El servicio telefónico alámbrico.
- 2do. El servicio telefónico inalámbrico (radiomóvil y celular)

La telefonía celular es una alternativa de tipo técnico y económico, para ofrecer soluciones en las comunicaciones, se puede considerar ventajosa para la extensión de la telefonía tanto privada como pública en ambientes urbanos, rurales y extrarradio.

En México la telefonía celular, tiene como antecedentes; el servicio telefónico radiomóvil establecido en 1981. La telefonía celular entra en auge desde que es concesionada en 1989, como consecuencia de la problemática que enfrenta la telefonía tradicional (alámbrica) para poder comunicar a un número elevado de demandantes de dicho servicio.

En 1988, había unos 10 mil usuarios de este servicio en el Distrito Federal y su zona conurbada; esto a consecuencia de la escasa infraestructura y al poco desarrollo del mismo.

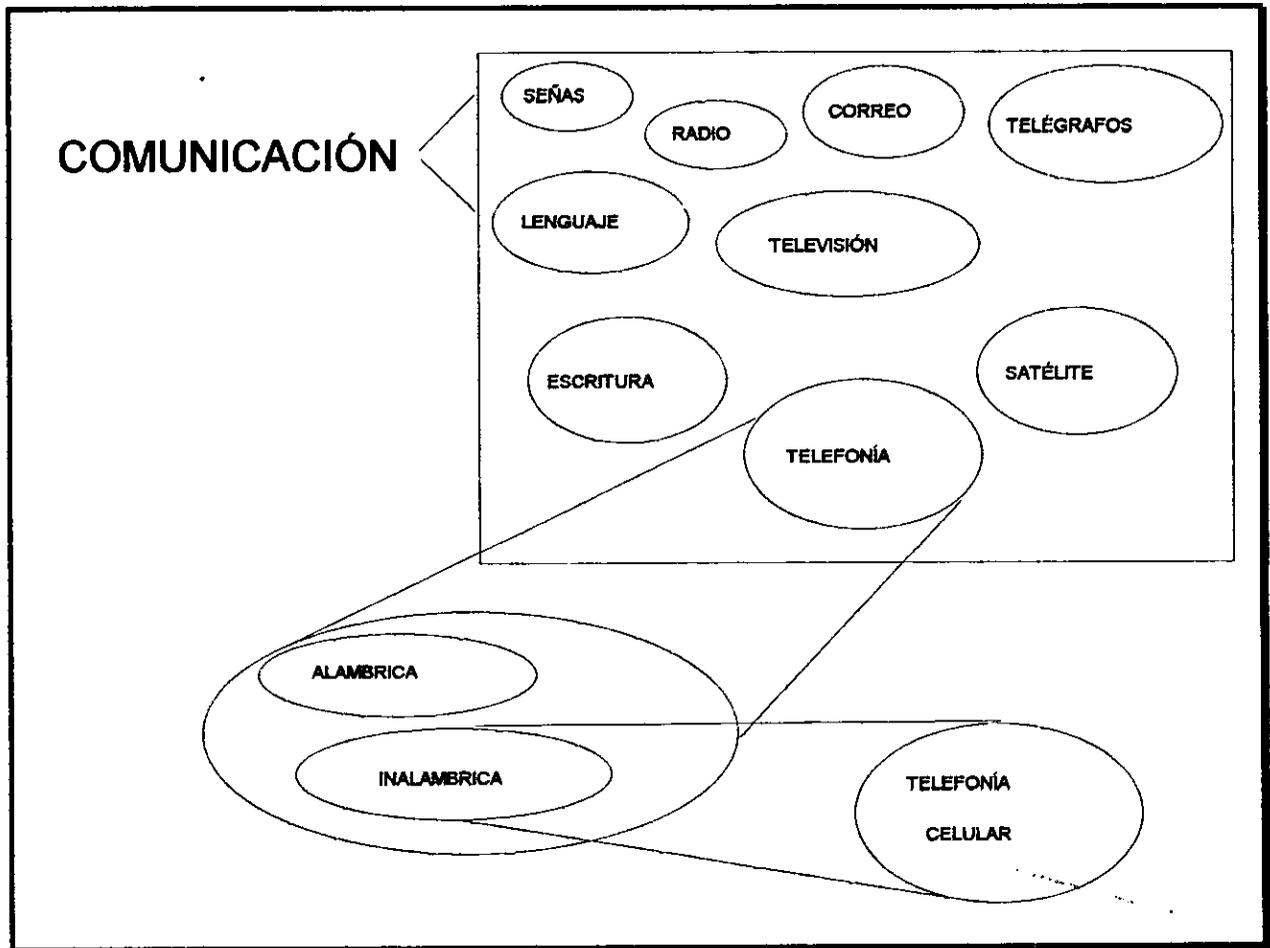


Figura 2 Ubicación de la Telefonía Celular

En virtud de lo anterior y ante la urgencia de satisfacer la demanda de comunicación telefónica, el gobierno lanzó una convocatoria para aquellas empresas públicas y privadas interesadas en proporcionar el servicio de telefonía celular.

La principal ventaja de un sistema de telefonía celular sobre otros sistemas de comunicación es su capacidad para manejar mayores cargas de tráfico debido a la reutilización eficiente de las frecuencias disponibles en el espectro de radio. Por sus características, la telefonía celular se convierte en el eje de comunicación rápida y personalizada que permite al instante tener comunicación con la persona deseada aun cuando esta se encuentre viajando y en diferentes regiones del país.

El mercado de la telefonía celular entró en México en el año 1989, creándose las nuevas regiones de telefonía celular que ahora existen y asignándose dos licencias por cada una de las regiones. Las licencias tipo A fueron distribuidas a diferentes empresas, las cuales operan en las frecuencias de 825-835/870-880 Mhz; mientras que las licencias tipo B fueron otorgadas a TELMEX, que posee una cobertura nacional en el servicio de telefonía celular y operan en las frecuencias de 835-845/880-890 Mhz. La empresa celular propiedad de TELMEX es conocida bajo el nombre de TELCEL.

El 31 de Octubre de 1990 las empresas favorecidas con las concesiones dentro de las licencias tipo A, deciden unirse para integrar, la Asociación Mexicana de Concesionarios de Radiotelefonía Celular, A. C. (AMCEL).

La actual distribución de las empresas participantes en las nueve regiones existentes, sus asociaciones con empresas nacionales y extranjeras se muestran en la tabla 1.

TABLA 1			
REGION	COMPAÑÍA	SOCIO LOCAL	SOCIO EXTRANJERO
1	BAJATEL	TECELMEX	GENERAL CELULAR INTL.
2	MOVITEL		McCAW, CONTEL
3	NORCEL	DOMOS	MOTOROLA, CENTEL
4	CEDETEL	PROTEXA	MOTOROLA
5	COMCEL	IUSACELL, BANAMEX	BELLSOUTH
6	PORTACEL	IUSACELL, ALARCON	BELLCANADA
7	TELECOM DEL GOLFO	IUSACELL, GMD	BELLCANADA
8	PORTATEL		ASSOCIATED COMMS
9	IUSACELL	IUSACELL	BELL ATLANTIC
TODAS	TELCEL	TELMEX GRUPO CARSO	SOUTHWESTRN BELL, FRANCE TELECOM

La figura 3, muestra las nueve regiones en que fue "dividido" (concedido) el territorio nacional para el uso de telefonía celular por parte de empresas públicas y privadas.

Desde sus comienzos, la telefonía celular ha mostrado grandes tasas de crecimiento y para fines de 1993, este servicio se ha expandido a más de 90 países y cuenta con alrededor de 30 millones de usuarios en todo el mundo.

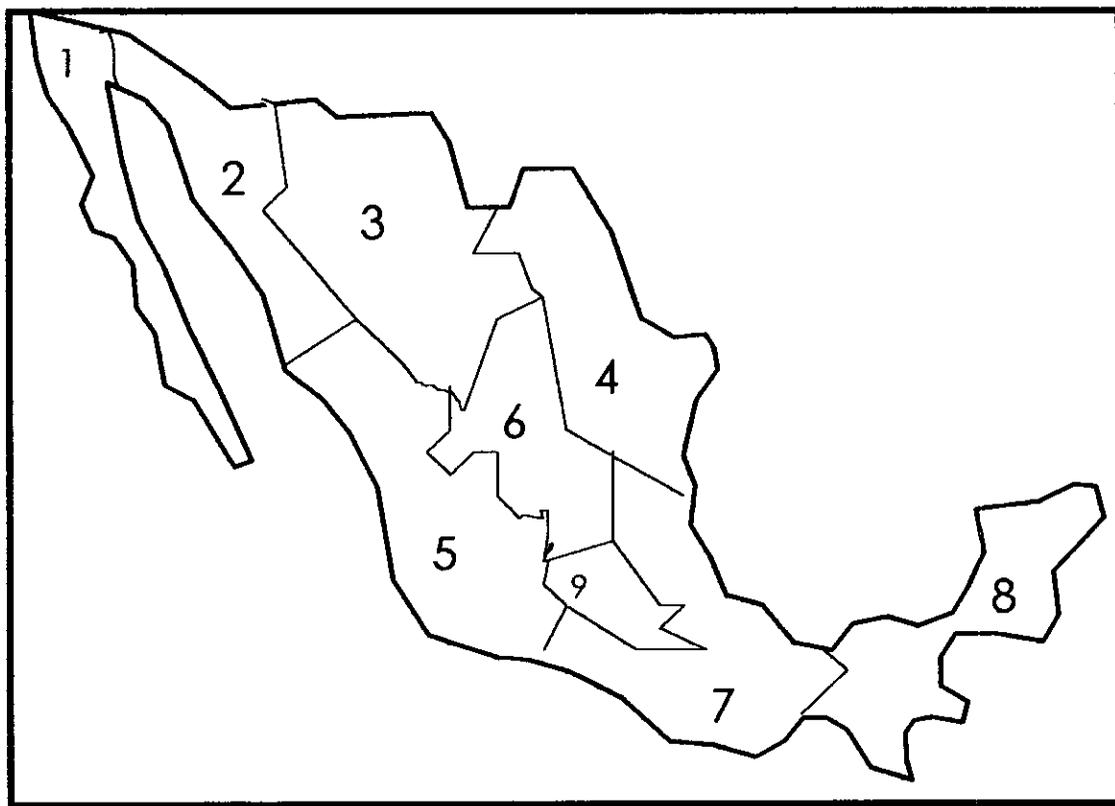
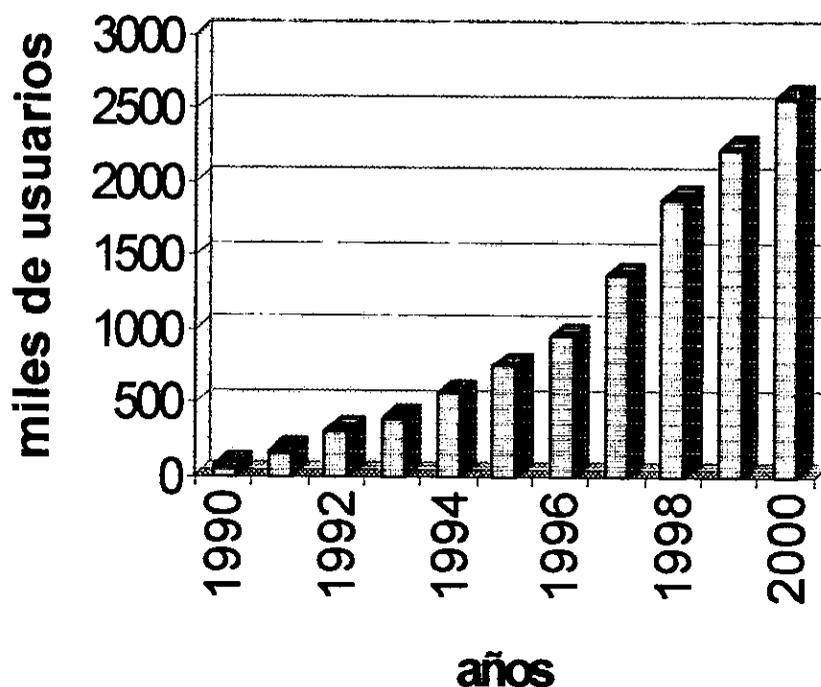


Figura 3 Regiones de cobertura celular licencia "A"

Actualmente el sistema de telefonía celular en México, ha observado un crecimiento importante en este servicio de comunicación. Siendo en las principales ciudades del país el mayor auge; debido a que en estas zonas se lleva a cabo mayor actividad económica (industrial, mercantil, financiera, etc.), y en el resto del territorio un crecimiento moderado.

Desde la apertura de la telecomunicaciones, la telefonía celular ha experimentado un inusitado crecimiento y desarrollo entre los usuarios nacionales, basta con observar la gráfica 1, de donde a partir del año 1996 son predicciones por parte de la Secretaría de Comunicaciones y transportes.

Evolución telefonía celular-usuarios



Gráfica 1 Proyección del mercado celular en México para el año 2000

Los avances de la telefonía celular son un camino viable para proveer de servicio telefónico a las comunidades rurales o zonas urbanas que no cuenten con este servicio. Para esto, existe la posibilidad de crear una conexión local inalámbrica por medio de una célula que daría servicio a varios hogares, lo cual sería muy útil para regiones alejadas y de difícil acceso; como hay muchas comunidades en nuestro país.

El mercado mexicano en esta rama ha estado un poco restringido, principalmente por el poder adquisitivo.

2.4 ANTECEDENTES DE TELEFONÍA CELULAR

La evolución de las comunicaciones inalámbricas empieza con los trabajos de Hertz y su descubrimiento de las ondas de radio en 1880. Las

investigaciones posteriores de Marconi desembocaron en la transmisión hacia un barco en 1897 y la transmisión trasatlántica en 1901.

Fue hasta 1921 cuando se le dio un uso continuo a la radiotransmisión al ser instalado un sistema de radiotelefonía a una frecuencia de 2 MHz en el departamento de policía de Detroit en E.U.

En los 30's se instalaron bases experimentales y hacia mediados de los 40's, sistemas comerciales que operaban en un solo sentido, con necesidad de operadora y búsqueda manual de canal libre. Para mediados de los 60's los sistemas operaban en ambos sentidos, con búsqueda automática y marcación de y hacia la unidad móvil; hacia fines de esa década aparecieron sistemas semejante tales como el MK a una frecuencia de 150 MHz y el MJ a una frecuencia de 450 MHz, ambos diseñados por ATyT. Estos sistemas fueron predecesores y parte de lo que se llamó posteriormente IMTS (Improved Mobile Telephone Service, en español: Servicio Mejorado de Telefonía Móvil), el que se convirtió en estándar de radiotelefonía.

En 1958 la Bell System propuso un sistema de 75 MHz en la banda de 800 MHz y hasta 1971 se mostró las facilidades técnicas por medio de la demostración de como se diseñaría un sistema celular móvil. Pero fue hasta 1974 cuando la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) asignó 40 MHz con solo un concesionario por mercado, colocando estratégicamente bandas de reserva por un total de 20 MHz en la proximidad de la asignación al sistema celular. Se asignó este rango de frecuencias porque los servicios en la banda de 30 a 400 MHz están saturados por la televisión y en el otro extremo a los 10 GHz no se puede aplicar la radiotransmisión debido a severas pérdidas en propagación, atenuación multirayectoria y a interferencia por la lluvia.

En 1978 en Chicago E.U. se empezó a instalar, en su fase experimental el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service) a 900 MHz y con 666 canales. Inicialmente cubrió 5400 km² con 10 células y 136 canales para 2000 usuarios, iniciando su servicio comercial en 1983 con 666 canales para 30,000 usuarios.

El sistema AMPS que se instaló en Chicago E.U. tuvo los siguientes objetivos de prueba:

- 1) Determinar la validez de diseño de hardware y software.
- 2) Determinar si el sistema celular puede operarse y ser mantenido con soporte humano no especializado.

3) Explorar el mercado para este servicio.

Las pruebas realizadas al equipo arrojaron resultados que confirmaron la validez de los dos primeros objetivos, el último se ha comprobado a lo largo del tiempo de servicio, el equipo ha estado funcionando ininterrumpidamente y estudios en 1983 revelaron un grado de satisfacción de los usuarios en un 84%.

Paralelamente al sistema de E.U. en Europa se instaló el sistema NMT (Nordiska Mobile Telefongruppen) a 450 MHz, el cual entró en operación en 1981 cubriendo primero a los países nórdicos y más tarde a varios países europeos.

Un año después, Japón instaló el sistema NTT (Nippon Telephone and Telegraph) en la banda de 900 MHz.

Durante la década de los 80's se instalaron diversos sistemas celulares en los países asiáticos, europeos y americanos; la mayoría de ellos tomando los estándares ya existentes, otros desarrollando el suyo propio.

México ha adoptado el sistema AMPS -su significado en español: Sistema Avanzado de Telefonía Móvil- previendo las posibilidades de un futuro mercado común entre los países de Norteamérica, lo que será en forma algún beneficio ante la unión de los países europeos en un bloque comercial común. Esta decisión es de suma importancia, ya que permitirá en el futuro, que las comunicaciones celulares entre los países de América sea sin problemas de compatibilidad.

2.5 FACTORES DE LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA CELULAR

Para planear un sistema celular es tomar en cuenta dos factores: Las regulaciones y la situación del mercado.

Reglamentaciones: Existen acuerdos internacionales para todas las naciones y regulaciones federales para cada una de ellas; las primeros son manejados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y los segundos por el organismo interno de cada país -La Secretaria de Comunicaciones y Transportes en México-, por lo que es indispensable ajustarse a ellas para evitar algún problema de normatividad.

Situación del Mercado: Se deben considerar tres puntos:

- Predicción de los ingresos: Se debe determinar la población, ingreso promedio, tipo de mercado y zona de mercado de manera que se pueda efectuar una predicción de ingresos.

- Entender a la competencia: Se debe conocer la situación de la competencia, cobertura, rendimiento del sistema y número de abonados.

- Decisión de la cobertura geográfica: ¿Qué área debe ser cubierta finalmente? y ¿Qué tipo de servicio se puede proporcionar en un área limitada?. Estas preguntas deben contestarse oportunamente.

Una vez tomadas en cuenta la situación del mercado y las reglamentaciones, la planeación comprende puntos básicos como son:

- La propagación de las ondas de radio
- La demanda de tráfico
- La configuración de las células
- Los datos geográficos

La propagación de las ondas de radio

En la telefonía celular, debido a su rango de frecuencias (800 a 900 Mhz aproximadamente), se tienen tres propiedades de propagación de las ondas de radio, predominantes que son: por trayectoria directa, por efectos de difracción y la tercera, que es la reflexión; gracias a esta propiedad es posible brindar servicio en zonas con alta densidad de construcciones, en donde es inaccesible el servicio por medio de una trayectoria directa de propagación.

Para obtener un modelo matemático de las pérdidas por la propagación de las ondas de radio se consideran los siguientes factores: pérdidas por trayectoria de línea directa (espacio libre), desvanecimientos por obstrucciones, también conocidas como sombras o pérdidas por difracción y por último, debido a desvanecimientos por efecto de multitrayectoria a causa de reflexiones en obstáculos o en la tierra.

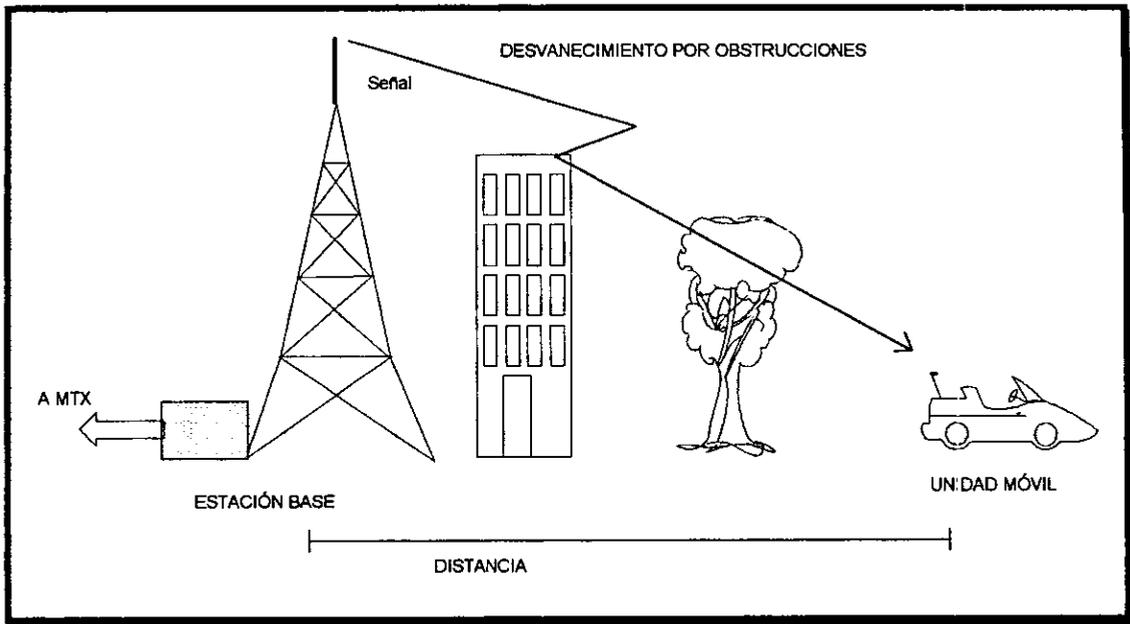


Figura 4 Pérdidas por obstrucciones

Además, en las pérdidas de propagación de las ondas de radio entre la antena transmisora (Tx) y la receptora (Rx) intervienen los siguientes parámetros: distancia entre Tx y Rx, la altura de antena del CSC y la altura de antena de la UM.

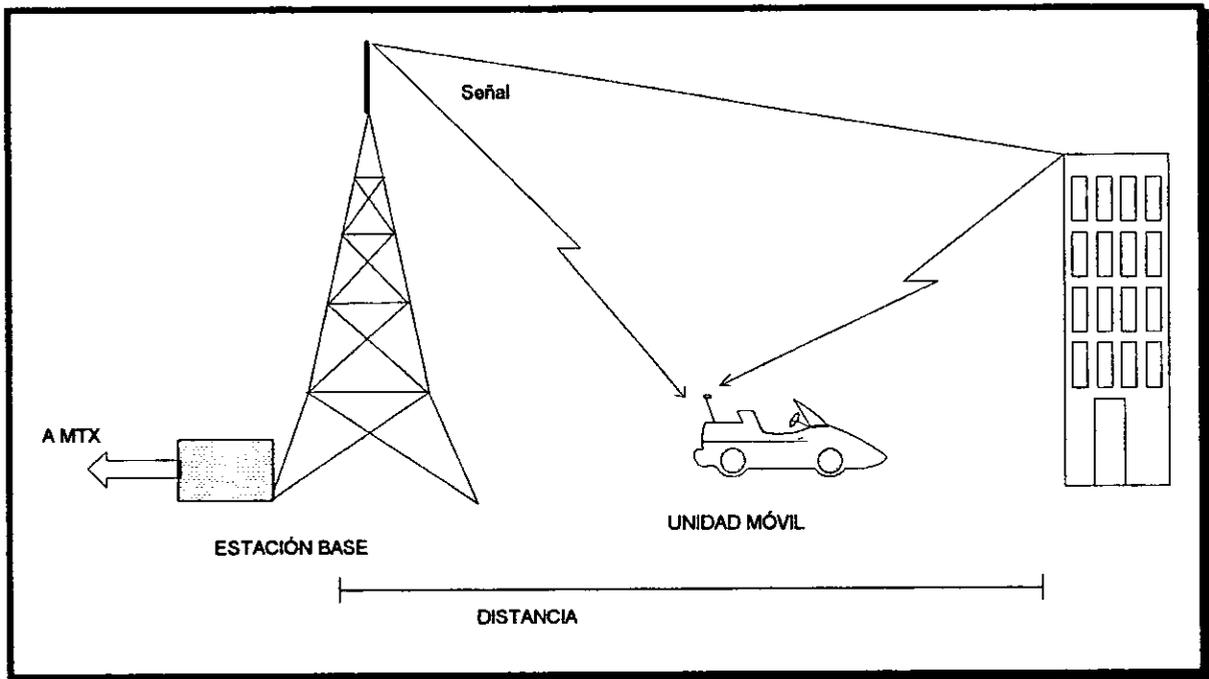


Figura 5 Pérdidas por multitrayectoria

Aunque los datos anteriores sean bien conocidos, ningún modelo teórico proporciona un valor correspondiente a las pérdidas reales.

Una fórmula empírica que acumula todos los efectos y parámetros mencionados, para el cálculo de pérdidas en sistema de telefonía celular, es la que se presenta en las recomendaciones y reportes de la CCIR, en 1982, Volumen V, reporte 567 - 2, la cual es:

$$P_L = 69.55 + 26.16 \log f_{MHz} - 13.82 \log h_1 - a(h_2) + (44.9 - 6.55 \log h_1) \bullet \log d_{km} \dots (2)$$

donde:

- P_L son las pérdidas por propagación en dB
- f_{MHz} es la frecuencia del sistema en megahertz
- h_1 es la altura de la antena (transmisora) del CSC en metros
- h_2 es la altura de la antena (receptora) en la Unidad Móvil en metros
- $a(h_2) = (1.1 \log f_{MHz} - 0.7) \times h_2 - (1.56 \log f_{MHz} - 0.8)$ en dB
- d_{km} distancia entre CSC la UM en kilómetros

Y para la ecuación (2), se considera que el 15 % del área de cobertura del sistema celular está cubierta por edificios (como una zona urbana).

Esta fórmula está basada por experiencias en mediciones de campo, en la que la experiencia dicta que en diferentes terrenos algunos o todos los coeficientes constantes deben ser recalibrados para mantener una buena exactitud en los cálculos; la fórmula puede ser empleada para sus generales de cualquier sistema celular, en la cual difieren las condiciones del terreno a las empleadas para la fórmula, considerando una precisión de ± 10 dB.

Es común en el entorno de las comunicaciones, decir que las pérdidas son inversamente proporcionales a la distancia a la cuarta potencia, esto se deduce del último término de la fórmula $(44.9 - 6.55 \log h_1) \bullet \log d_{km}$, que es el único que está en función de la distancia. Ahora si $h_1 = 30$ metros (que es la altura promedio de las antenas del CSC), resulta en $35.2 \log d_{km}$ y ya que es una expresión para pérdidas en dB, se puede reescribir como:

$$Pérdidas \propto \frac{1}{d_{km}^{3.52}} \cong \frac{1}{d_{km}^4} \dots (3)$$

reduciendo el denominador a aproximadamente d_{km}^4 .

Las unidades empleadas.

El ser humano escucha los cambios de potencia en forma logarítmica. Si se duplica el nivel de energía de un sonido, este incremento produce solo un aumento de 3 dB en el nivel recibido por el oído humano, lo cual es apenas perceptible.

El término **Decibeles** - su representación simbólica es **dB** - se introdujo para definir niveles logarítmicos de potencia.

Los decibeles se utilizan mucho en los sistemas de telecomunicación que emplean las ondas de radio como medio de comunicación.

El dB es la medida de potencia de un sistema comparada con 1 miliwatt. Matemáticamente se define como:

$$Potencia_{dB} = 10 \log \left[\frac{Potencia en W}{0.001} \right] = 10 \log \left[\frac{Potencia en miliwatts}{1} \right] \dots\dots(4)$$

donde: el logaritmo está en base 10.

Por lo que: 1 Watt = $10 \log (1 / 0.001) = 30$ dB y así:

$$1 \text{ W} = 30 \text{ dB}$$

$$1 \text{ mW} = 0 \text{ dB}$$

$$0.008 \text{ mW} = -21 \text{ dB}$$

La demanda de tráfico

El reto es servir al máximo número de usuarios con una calidad de servicio específica. Por lo que deben hacerse tres preguntas:

1ra. ¿ A cuantos usuarios se puede servir en las horas-pico?

2da. ¿ Cuantos suscriptores caben en el sistema?

3ra. ¿ Cuantos canales se necesitan?

Para contestarlas es necesario realizar cálculos con base en el tráfico que presentara el sistema.

El uso que se hace de un sistema telefónico está determinado por dos factores: el ritmo o afluencia de llegadas y la duración o tiempo de ocupación de cada una de ellas. El término "tráfico" tiene en cuenta ambos factores, empleándose actualmente dos unidades de tráfico: el **CCS** (hundred call seconds = cien segundos de llamada) de uso principalmente en los Estados Unidos, y el **Erlang** que se utiliza en Europa y otras partes del mundo, incluido nuestro país.

La unidad erlang, es denominada así en honor del pionero danés de la teoría del teletráfico A. K. Erlang.

Un erlang representa un circuito ocupado por un lapso de una hora, mientras que un CCS representa un circuito ocupado por 100 segundos. La relación existente entre un erlang y un CCS es:

1 erlang = 36 CCS

El tráfico de un suscriptor (abonado o usuario) del sistema está definido por el número de llamadas por hora, y por el tiempo de duración de la llamada o conversación, este parámetro se expresa en segundos.

Se define la **carga de tráfico** de un suscriptor como:

$$A = \frac{n \cdot T}{3600} \dots(5)$$

donde:

T: es el tiempo de conversación o duración de llamada, dado en segundos.

n: es el número de llamadas por hora hechas por el abonado.

A: es la carga expresada en erlangs.

Normalmente, las cantidades T y n son valores medios, ya que en la realidad las llamadas llegan en forma aleatoria y duran un tiempo también aleatorio.

Ejemplo 2.1, Si un usuario en promedio realiza 5 llamadas y la duración de las llamadas en promedio es de 130 segundos, la carga generada se calcula como sigue:

$$A = (5 \times 130) / 3600 = 0.18056 \text{ erlangs } \text{ ó } 6.5 \text{ CCS}$$

La distribución de la carga de tráfico puede variar de acuerdo al tipo de comunicación que se establezca; es decir, el tráfico originado por las llamadas de usuario móviles a la red pública telefónica, las realizadas de la red pública a abonados móviles, y por último las hechas entre suscriptores móviles. En la mayoría de los casos, el tráfico UM a RPT será mayor que el RPT a UM, y el UM a UM será relativamente bajo.

Un ejemplo sería tener:

- 63 % de tráfico de llamadas de UM a RPT.
- 28 % de tráfico de llamadas de RPT a UM.
- 9 % de tráfico de llamadas de UM a UM.

La cantidad de tráfico depende de muchos factores: de la naturaleza (personalidad) de los abonados, de la hora del día, del mes del año, de que sea época de vacaciones u ocurra alguna catástrofe, de la tarifa, etc.

El tráfico varía de muchas formas con el tiempo. Las siguientes causas son las más significativas:

- Variación del arribo de llamadas.
- Variaciones horarias que dependen de la demanda. Los sistemas celulares generalmente tienen horas pico durante la mañana y tarde, con un mínimo durante las horas de comida.
- Los picos celulares ocurren durante las horas en que los usuarios están manejando; esto es, de ida y regreso del trabajo.
- Existe una marcada diferencia entre los días de trabajo (entre semana) y el fin de semana.
- Los picos por temporada durante el año suceden por ejemplo, en navidad, día de las madres, etc.
- Disminuciones de tráfico se dan en algunos días festivos por ejemplo, en el día de la Independencia.

En la figura 6, se muestra el comportamiento de tráfico en los sistemas celulares, en un día cualquiera entre semana.

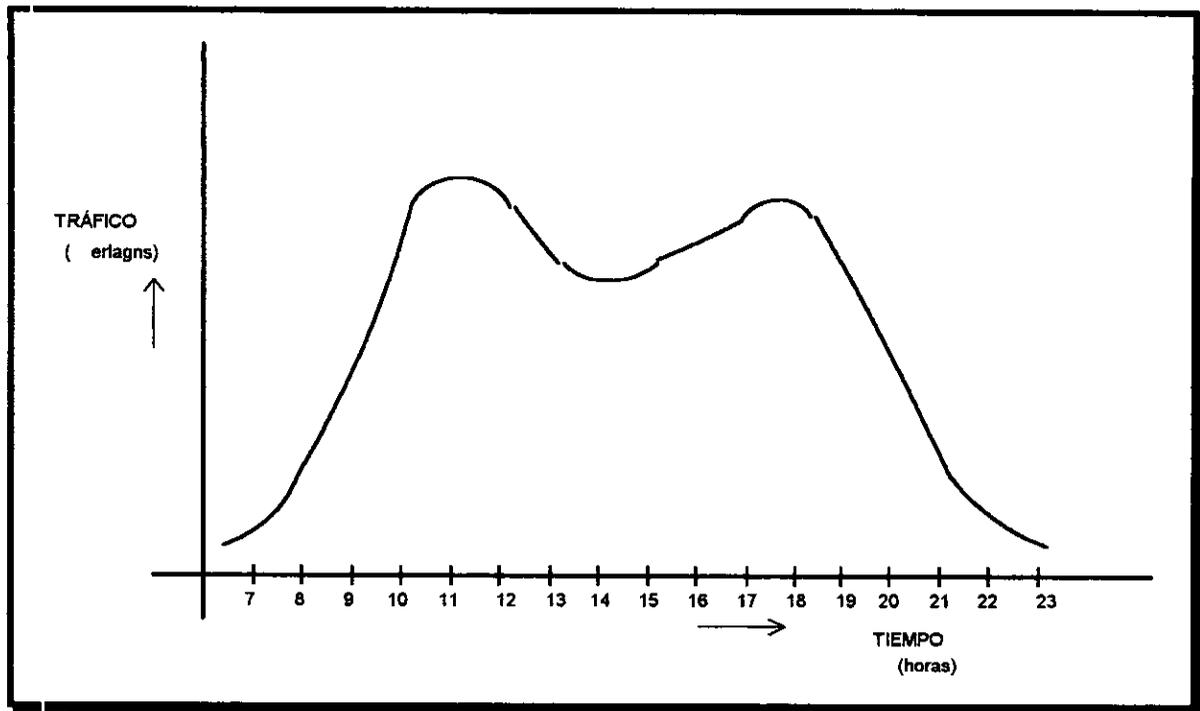


Figura 6 Comportamiento de tráfico en un sistema celular

Para sistemas celulares, la carga más común es aproximadamente de 1 CCS por usuario.

Para calcular la carga total soportada por una célula, realizar lo siguiente: a la carga promedio por suscriptor se multiplica por el número de suscriptores usando la célula.

Una vez que se conoce la carga total para la célula, se usan tablas o curvas de probabilidad para determinar el número de canales de voz requeridos en la célula para un grado de servicio (ver apartado 2.6).

Se pueden emplear tres tipos de tablas para la configuración de sistemas celulares:

- Llamadas bloqueadas-liberadas
- Llamadas bloqueadas-retardadas
- Llamadas bloqueadas-retenidas

La tabla Llamadas bloqueadas-liberadas o también conocida como tablas Erlang B, asumen que el usuario colgará cuando reciba la indicación de que el canal(es) está(n) ocupado(s).

La tabla Llamadas bloqueadas-retardadas o también conocida como tablas Erlang C, asumen que el usuario esperará indefinidamente hasta encontrar un canal libre.

La tabla Llamadas bloqueadas-retenidas o también conocida como tablas de Poisson, se basan en usuarios esperando no más del tiempo promedio de retención (esto es, el tiempo promedio de duración de una llamadas).

Con el total de carga para una célula, el número de canales de voz requeridos para esa célula se puede leer directamente de las tablas Erlang B, Erlang C o Poisson; dependiendo del tipo de tablas elegidas para el diseño del sistema. Normalmente los diseños de sistemas celulares se basan en las tablas Erlang B.

El número máximo de canales por célula N_c está relacionado con el tiempo promedio de las llamadas en la célula.

La distribución geográfica de las unidades móviles y el comportamiento de los usuarios forman el panorama total de las demandas de tráfico. Para una zona donde no hay servicio telefónico celular, el volumen y distribución de la demanda de tráfico debe calcularse con datos como: Distribución de la población, Distribución de tráfico automovilístico y Distribución de propietarios de vehículos caros.

En la red inicial debe planearse su desarrollo para un crecimiento sucesivo ordenado hasta formar un red madura y los problemas de reuso de frecuencia deberán resolverse cuando hayan decenas de miles o más, abonados en la zona urbana. De otra forma la evolución del sistema padecerá de reorganizaciones muy costosas cada vez que se necesiten más canales o CSC's.

A continuación se dan algunos ejemplos, donde se calculan los parámetros antes mencionados.

Ejemplo 2.2 Dentro de una célula se tienen 3000 llamadas por hora y un promedio de duración de la llamada de 1.76 minutos. La probabilidad de bloqueo es de tipo Erlang B de 2%. ¿ Encontrar la carga de tráfico A ofrecida y el número máximo de canales?

Solución. Usando la ecuación 5, tenemos: Primero transformando 1.76 minutos a segundos resultan 105.6 s.

Así, $A = (3000 \times 105.6) / 3600 = 88$ erlangs

Con la probabilidad erlang B de 2% y la carga $A = 88$ erlangs, en tablas se encuentra que el número máximo de canales son $N_c = 100$.

Ejemplo 2.3 Si hay 50 canales en una célula y el promedio de llamadas de 100 s por llamada. ¿ Cuántas llamadas se pueden manejar en esta célula con una probabilidad del bloqueo erlang B de 2 por ciento ?

Solución. Puesto que $N_c = 50$ y la probabilidad erlang B de 2%, la carga de tráfico se encuentra de tablas erlang B, así

$A = 40.3$ erlangs

Y el número de llamadas por hora se calcula de la ecuación 5:

$n = (40.3 \times 3600) / 100 = 1451$ llamadas por hora.

Ejemplo 2.4 Si el número de llamadas por hora es de 1451 y se tiene un sistema celular formado por un claustro de 7 células, y se asume una probabilidad de bloqueo erlang B de 2 por ciento y $T = 100$ s como en el ejemplo anterior, entonces N_c es de 50. El número total de canales requeridos para un claustro de 7 células es:

Total de canales = $50 \times 7 = 350$

Configuración de las células

Un plan nominal de la células es un disposición geométrica (claustros) de la estructura de red de CSC's y de la asignación de los juegos de frecuencias propuestos.

Para una buena planeación de las células deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- Una configuración nominal de células con asignación de frecuencia es un base de partida necesaria para la planeación de la red, especialmente en zonas con gran densidad de tráfico.

- La configuración de células y el plan de frecuencias deben elaborarse no solo para la red inicial sino también para las fases de expansión, donde la última fase debe considerar a las anteriores.
- En zonas rurales con baja densidad de tráfico, donde la cobertura es más importante que la capacidad, la selección de emplazamientos de los CSC's debe hacerse teniendo en cuenta los requerimientos globales de cubrimiento antes de basarse en una configuración nominal de células.
- Para zonas geográficas muy accidentadas la planeación nominal es casi ficticia, por lo que debe recurrirse a un plan basado en las condiciones reales del terreno.

Los datos geográficos

Se necesitan mapas adecuados y otra información sobre la naturaleza del terreno que suministren las bases necesarias para las predicciones de propagación de radio.

Con cobertura de radio, debido a irregularidades del terreno no es práctico cubrir el 100% del área por dos razones:

- a) La potencia de transmisión debería ser alta para cubrir lo suficiente áreas poco iluminadas, lo que aumentaría su costo.
- b) A mayor potencia de transmisión, más dificultades para controlar la interferencia. La relación entre estos parámetros es la razón señal a ruido, expuesta en el apartado 3.2.5.

Por lo tanto, los sistemas usualmente tratan de cubrir el 90% del terreno plano y el 75% de uno sinuoso[35].

2.6 CALIDAD DE SERVICIO

Se requieren tres detalles para que la telefonía celular mantenga la calidad de servicio:

COBERTURA: Se debe servir en un área lo más amplia posible.

GRADO DE SERVICIO REQUERIDO: Para un sistema normal el grado de servicio se indica por la probabilidad de bloqueo de una llamada.

El bloqueo de una llamada ocurre cuando una llamada no puede ser llevada a cabo al intentar iniciarla. Esto sucede normalmente cuando están ocupados todos los canales de comunicación disponibles en una célula o en todo el sistema. Y se dice que el sistema está congestionado.

Esto es, por ejemplo, si se tienen 20 canales en una célula y en consecuencia solo se pueden atender a 20 usuarios simultáneamente, si el usuario número 21 intentara establecer una llamada en ese momento, esta no se podría realizar debido a que todos los canales están ocupados.

Si se esperan condiciones de congestionamiento en un sistema, lo más probable es que estas se presenten durante la hora pico, por lo que las células se dimensionan para que manejen la carga adecuada en esas horas.

El grado de servicio expresa la probabilidad de encontrar congestionamiento durante la hora pico. Valores típicos para la telefonía celular son porcentajes de entre un 2% a 5% de llamadas bloqueadas, indica un grado de servicio aceptable [35].

Un grado de servicio de 2%, significa que, en promedio, durante la hora pico se pierden 2 llamadas de cada 100.

NÚMERO DE LLAMADAS PERDIDAS: Con un número Q de llamadas durante una hora pico, si se pierde una llamada y se completan $Q - 1$, entonces la razón de llamadas perdidas está dada por $1/Q$. Esta razón debe mantenerse baja, pues una razón elevada significa problemas de cobertura o problemas de transferencia relacionados con la disponibilidad de canales.

2.7 ECONOMÍA DEL SISTEMA CELULAR

Un sistema de telefonía celular es un arreglo entre las partes que lo forman, así tenemos:

En primer lugar están las compañías que proveen el servicio (IUSACELL y TELCEL en nuestro país principalmente) la competencia, estas organizaciones reúnen el dinero para construir el sistema, hacen tratos con la SCT y demás

organismos reguladores, construyen el sistema en sí; también lo operan, negocian con distribuidores y clientes, realizan cobros y hacen la mayoría de propaganda. Estas compañías necesitan un gran desembolso (millones de dolares) para que el primer suscriptor firme el contrato.

En segundo lugar están los constructores del los sistemas; estas compañías colocan el equipo, instalan las antenas y realizan las pruebas para asegurarse de que todo está en orden antes de entregar el sistema al proveedor. En este sitio se encuentran compañías como: Motorola, Ericsson, NEC, ATyT entre otras.

En tercer lugar están los fabricantes de los teléfonos celulares y sus accesorios, entre ellos están Motorola, OKI, Toshiba, Mitsubishi, además de los que solamente colocan su etiqueta en los equipos.

En cuarto lugar están los encargados de la distribución o venta de las unidades móviles y sus accesorios; hay de dos tipos: los revendedores y los agentes.

- Los revendedores compran horas de tiempo de operación a los proveedores del servicio y las revenden a los usuarios en pequeños períodos. En esta categoría entrarían las compañías celulares que han obtenido el permiso pero aún no tienen listo su equipo.

- Los agentes de ventas son seleccionados por los operadores del sistema para instalar y dar mantenimiento a las unidades móviles - equipo del usuario -, obtienen una comisión por parte del operador y también ganan con el equipo que el usuario compra.

En quinto lugar están los individuos o empresas que solo instalan y dan servicio al equipo del usuario. Instalan equipos comprados a compañías independientes y también venden su propia línea de equipo de comunicación.

En sexto lugar se encuentran las personas que trabajan con asuntos tales como los programas necesarios para operar las computadoras y el MTX del sistema celular, quienes se encargan del desarrollo tecnológico; como también están los asesores para configurar eficientemente el sistema. Los consultores de ingeniería y los abogados que manejan los asuntos legales que también están en esta categoría.

En séptimo y último lugar están todas las industrias y negocios relacionados que dan soporte a la industria celular. Aquí se encuentran

empresas especializadas en antenas, las compañías que empacan los teléfonos y quienes construyen interfases para conectar computadoras a los teléfonos celulares.

Los beneficios de una inversión en un sistema de telefonía celular son difíciles de determinar. Para las compañías telefónicas se pueden determinar a partir de los impuestos que pagan, pero para las independientes es más difícil pues algunas son consorcios de varias empresas y la mayoría se dedica a otros negocios además del servicio telefónico celular.

2.8 PAPEL DEL INGENIERO EN DISEÑO DE SISTEMAS CELULARES

Con base en las decisiones de mercado los ingenieros realizan las siguientes actividades:

1. Iniciar un servicio móvil celular en un área dada por medio de la creación de un plan que use un mínimo de CSC's para cubrir el área completa.

2. Revisar las áreas que según el estudio de mercado son importantes. El número de canales de voz requeridos para manejar la carga de tráfico en las horas pico.

3. Estudiar los problemas de interferencia, tales como interferencia por canal y por canal adyacente, y los productos por intermodulación generados en las zonas de célula, así como para encontrar soluciones.

4. Estudiar la probabilidad de bloque para las llamadas en zona de célula, y tratar de minimizarla.

5. Planear para absorber nuevos usuarios.

2.9 IMPORTANCIA DEL SECTOR COMUNICACIONES

Las comunicaciones representan un importante elemento de integración social y económica de los países, de ahí que en México como en casi todo el mundo, este subsector es considerado como prioritario y su control está depositado en el gobierno y recientemente en empresas privadas; por lo que en el campo de las telecomunicaciones, el principal consumidor de equipos lo

realizan la compañía de teléfonos de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y las grandes empresas de telecomunicación.

En México, para el sector comunicaciones, el gobierno dedica una atención promotora especial para atraer capital privado, ya que pretende que la mayor parte de este sector crítico y fundamento que la economía sea financiada y operada por empresarios privados. Con esto se profundiza la privatización económica nacional y se cede a la iniciativa privada las áreas que tradicionalmente ha operado el estado con la finalidad de construir la infraestructura que necesita el país, para que se encuentre con posibilidades de poder competir con E.U. y Canadá en el marco del Tratado del Libre Comercio (TLC).

La expansión del capital privado en las telecomunicaciones se observa sobre todo por la venta de Teléfonos de México (TELMEX) en diciembre de 1990.

De aquí la importancia del desarrollo de modelos de simulación en el sector.

2.10 LA SIMULACIÓN EN LAS COMUNICACIONES

El interés y la determinación del hombre por establecer comunicaciones sin medios alámbricos, es muy grande en la actualidad. La computación y la comunicación están surgiendo juntas para satisfacer este cambio que se está dando en la actualidad. Y el rápido desarrollo de medios de transmisión, cada vez mas eficientes, ha hecho que surjan redes de telecomunicaciones con mejores servicios para satisfacción de la necesidad de comunicación del ser humano.

Las computadoras desde sus inicios ayudaron al análisis de sistemas principalmente en dos formas. Al permitir analizar gran cantidad de información, las computadoras han ayudado a estudiar con mayor precisión las variables asociadas a sistemas mas complejos. La computadora es además una herramienta indispensable para la solución de modelos de sistemas y para la realización de estudios de simulación de sistemas.

La simulación provee a la ingeniería de telecomunicaciones de una poderosa herramienta para prototipos de redes durante la fase de diseño y

también durante el desarrollo y fase de operación. Ayuda para la toma de decisiones sobre un sistema actual.

Otro factor importante en la ingeniería de telecomunicaciones es el desarrollo del análisis de sistemas, que permitió desarrollar, analizar y diseñar las diferentes formas de comunicación para que un sistema (económico, social, etc.) pueda operar y funcionar de manera ordenada y eficiente. Ya que todo sistema requiere de una red de comunicación para coordinar su operación.

Los modelos de simulación de mas aplicación en los diferentes medios y servicios de telecomunicaciones son del tipo de eventos discretos, ya que estos describen en mejor forma los medios y servicios de telecomunicación.

Los instrumentos para modelación por programación, para redes de telecomunicación pueden clasificarse en tres:

- 1) Lenguajes de propósito general (FORTRAN, Pascal, C, Ada, etc.).
- 2) Lenguajes de propósito especial para simulación de eventos discretos (GPSS, Simscript, SLAM, CSIM, etc.).
- 3) Simuladores para problemas orientados a telecomunicaciones (NETWORKS II.5, BONEs, etc.).

Diferencias, ventajas y desventajas de los lenguajes de programación.

Las principales diferencias entre los lenguajes de propósito especial y general son [10]:

- a) La organización del tiempo y las actividades.
- b) La designación y la estructuración de las entidades dentro del modelo.
- c) La prueba de actividades y condiciones entre los elementos.
- d) Los tipos de pruebas estadísticas que son posibles sobre los datos.
- e) La facilidad para cambiar la estructura del modelo.

En la tabla 2, se comparan las ventajas y desventajas de los lenguajes de propósito especial y propósito general[10].

Ventajas	Desventajas
<i>Lenguajes de propósito general</i>	
1. Número mínimo de restricciones impuestas al formato de salida 2. A menudo muy bien informado en el lenguaje	1. Tiempo de programación más largo 2. La depuración de los términos del lenguaje de simulación no es una característica
<i>Lenguajes de propósito especial</i>	
1. Requiere menos tiempo de programación 2. Proporciona técnicas de comprobación de errores superiores a las de lenguajes de propósito general 3. Ofrece un medio conciso y directo para expresar los conceptos que surgen en un estudio de simulación 4. Tiene la habilidad de construir y proporcionar las subrutinas del usuario que se requieren como parte de cualquier rutina de la simulación 5. Genera automáticamente ciertos datos que se necesitan en las corridas de la simulación. 6. Facilita la recopilación y el despliegue de los datos producidos. 7. Controla la administración y la asignación del almacenamiento de la computadora, durante la corrida de la simulación.	1. Debe apegarse al formato de salida del lenguaje 2. Flexibilidad reducida en los modelos y tiempo de corrida de computadora incrementado

La utilidad de cada lenguaje no influye por su capacidad para llevar a cabo modelos; sino por el analista acerca de la capacidad para describir rasgos particulares del modelo, características de la ejecución, estilo en los representación de informes de datos, disponibilidad del programa, y preferencia personal.

Para realizar la programación del modelo de simulación en este trabajo, se eligió un lenguaje de propósito general: Pascal, por tener conocimiento de este lenguaje de programación, por la disponibilidad del programa, de referencias, documentación y compatibilidad de software en muchos equipos de computo. Además, por la flexibilidad que se tiene en cuanto al diseño, la implementación y uso del modelo, y la manejabilidad del formato de salida de los informes. Aunque esto represento un mayor esfuerzo y tiempo en la programación.

CAPÍTULO 3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

3.1 CONCEPTUALIZACIÓN

3.1.1 SISTEMA CONVENCIONAL

Esta diseñado generalmente por la selección de uno o mas canales de una asignación específica de frecuencia para usarse en zonas geográficas autónomas, ver figura 1. Por consiguiente, el área que ha de cubrirse se planifica para que sea lo más grande posible. Un usuario que comienza una llamada de una zona debe reiniciar la llamada cuando se traslada a otra zona distinta, ya que cada una de las áreas de servicio son independientes (figura 2); y, pues la comunicación será interrumpida, esto es completamente indeseable en un sistema telefónico sin capacidad de transferencia.

En este tipo de sistemas, el número de usuarios que pueden tenerse activos en un momento dado está limitado al número de canales asignados a una zona con una frecuencia en particular.

Los sistemas MJ y MK mencionados en el apartado 2.4 son de este tipo, contaban con 11 canales y llegaban a cubrir un área de hasta 80,450 m (50 millas), como se ve en la figura 1.

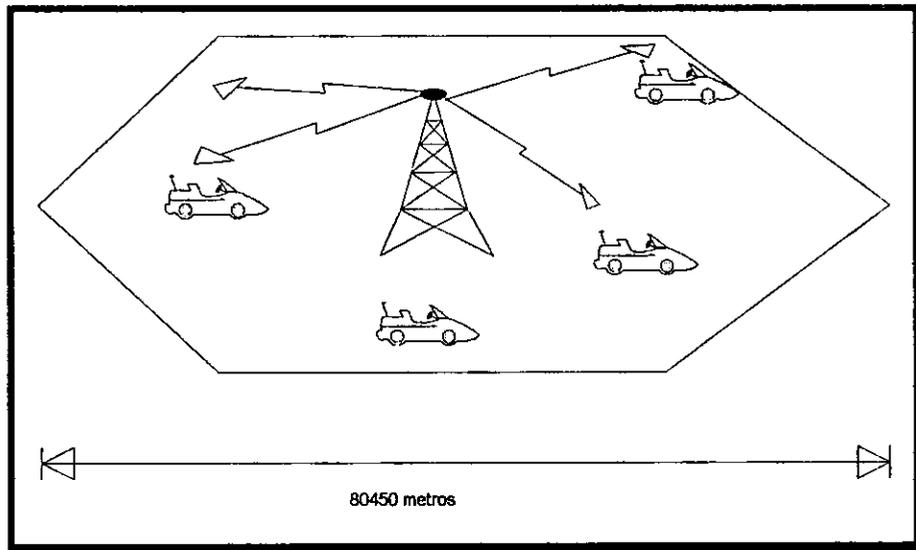


Figura 1 Zona geográfica autónoma

Las zonas que puede cubrir el transmisor son muy amplias; sin embargo, la señal puede causar interferencia perceptible entre 90 y 150 km de la estación transmisora.

Esto implica que otro transmisor que utilice las mismas frecuencias debe estar bastante lejos. Todo lo anterior redundaba en una baja eficiencia en el uso del espectro de frecuencias, debido a que cada canal podía dar a tan sólo un usuario a la vez en la zona de servicio. Por otra parte y, a pesar de lo caro del servicio, el número de clientes que puede atender es muy limitado, por ejemplo en el sistema MJ solamente se pueden atender a once usuarios a la vez, porque el sistema solo cuenta con ese número de canales.

En las ciudades con este servicio, una gran demanda creaba una elevada posibilidad de bloqueo de llamadas.

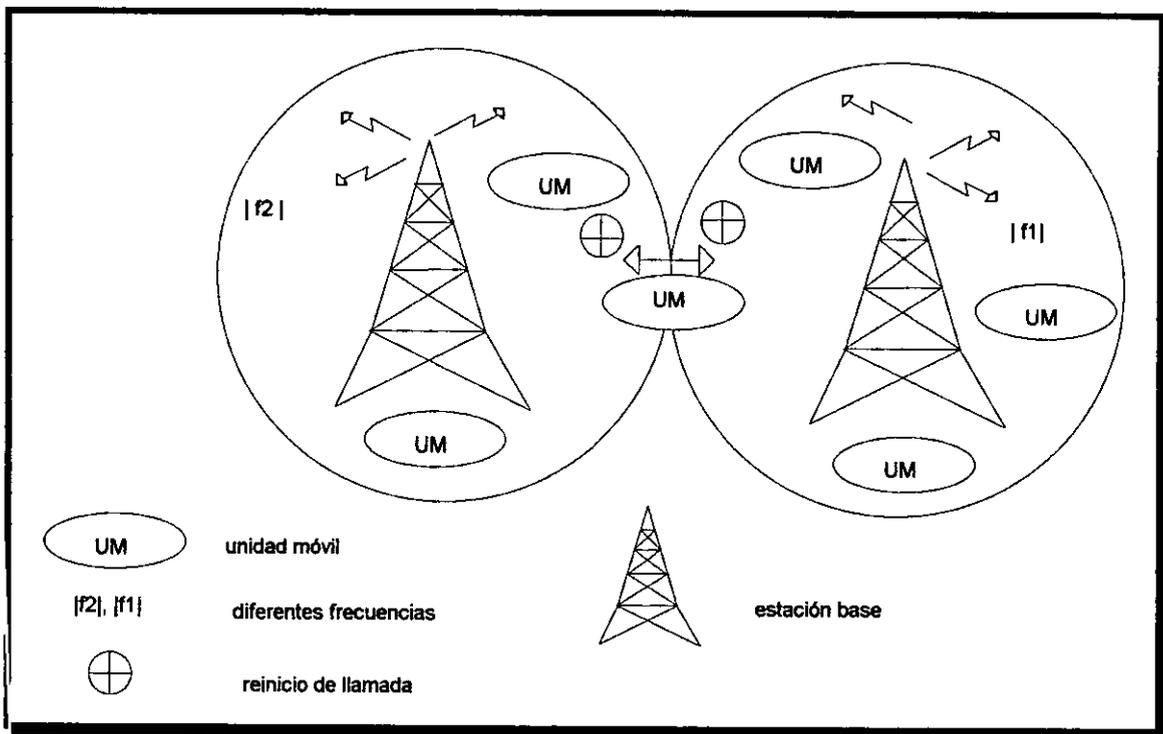


Figura 2 Sistema convencional

Conceptualmente: la telefonía celular es un "fruto" del servicio mejorado de telefonía móvil (IMTS) establecido en 1964 para eliminar la intervención de la operadora en llamadas móviles.

Varias de las muchas razones para el desarrollo de un sistema telefónico celular móvil y su implantación en varias ciudades son las limitaciones operacionales de los sistemas telefónicos móviles convencionales tales como: capacidad limitada de servicio, desempeño pobre de servicio y uso ineficiente del espectro de frecuencia, como se expuso con anterioridad.

La necesidad de operar y crecer sustancialmente con unos cientos de canales permitidos han sido las principales fuerzas que empujan la evolución hacia los sistemas de tecnología celular.

3.1.2 ¿Qué es el concepto de telefonía celular?

¿Porqué se denomina celular a este sistema de comunicación? " El cuerpo humano, como todos los seres vivos, están formados por células, cuya unión forman un todo. Estas células están conectadas a un cerebro que las gobierna. Es esta analogía es la que da el nombre, y fue modelo para la

creación de la “**telefonía celular.**” La infraestructura que forma este sistema está formada por “células”, módulos que contienen los equipos de radiotransmisión y todos los dispositivos necesarios para controlar el funcionamiento. Como el cuerpo humano, estas “células” siguen un patrón definido, y se instalan conforme las distintas zonas geográficas se integren al área de cobertura. Cada una de estas “células”, se conectan a una central celular (“cerebro”), que a su vez tiene salida a la red pública de teléfonos.

Un sistema de radio celular móvil difiere de los sistemas de radiotelefonía convencionales debido a que el área de servicio está dividida en pequeñas zonas denominadas células, cada una aproximadamente con un diámetro que varía de un 2 km a un máximo de 30 km, en la figura 3, se muestran los modelos (formas) de las células.

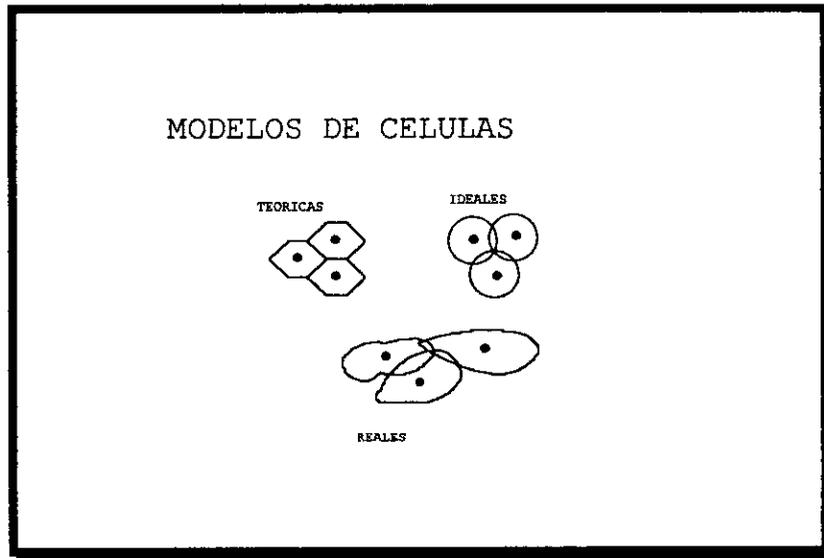


Figura 3 Modelos de células

El área a cubrir se divide en un número de áreas pequeñas (células). Las células están agrupadas en “claustrros” y el número de canales disponibles es distribuido en el grupo de células de manera que esta distribución se repite en toda la cobertura; solamente algunas configuraciones lo permiten, los claustrros típicos se basan en 4,7,12 ó 21 células (figura 4).

El número total de canales por célula (y en consecuencia el tráfico) depende del número de canales disponibles y el tipo de claustrro, a saber:

$$\text{numero de canales por celula} = \frac{\text{numero total de canales}}{\text{claustrro (4,7,12,21)}} \dots\dots\dots(6)$$

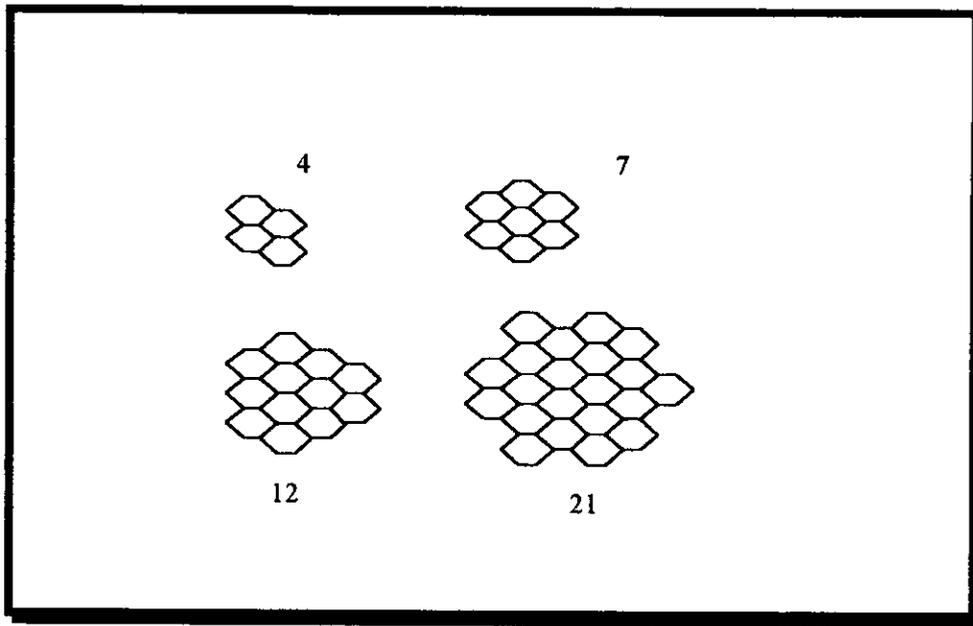


Figura 4 Patrón de repetición en un sistema celular

Cada célula tiene asignado un grupo fijo de frecuencias y opera a nivel suficiente de potencia, para controlar unidades móviles, el nivel bajo, permite el reemplazo de las mismas frecuencias sin interferencia con algunas otras células adyacentes. Esto permite que el total del área que cuenta con el servicio puede servirse con un número fijo de canales.

Un sistema celular típico consta de tres bloques "superiores":

- a) Una Central de Telefonía Móvil (MTX)
- b) Equipo en la zona de célula
- c) Interfases que conectan a la red pública

En la figura 5, se puede observar la estructura general de un sistema de telefonía celular. Las zonas de cobertura representadas por hexágonos, los equipos de radio de la zona de célula reproducidos como torres, las unidades móviles (usuarios) mostradas como vehículos, sus conexiones con la central de telefonía móvil (MTX) y su conexión con la red pública.

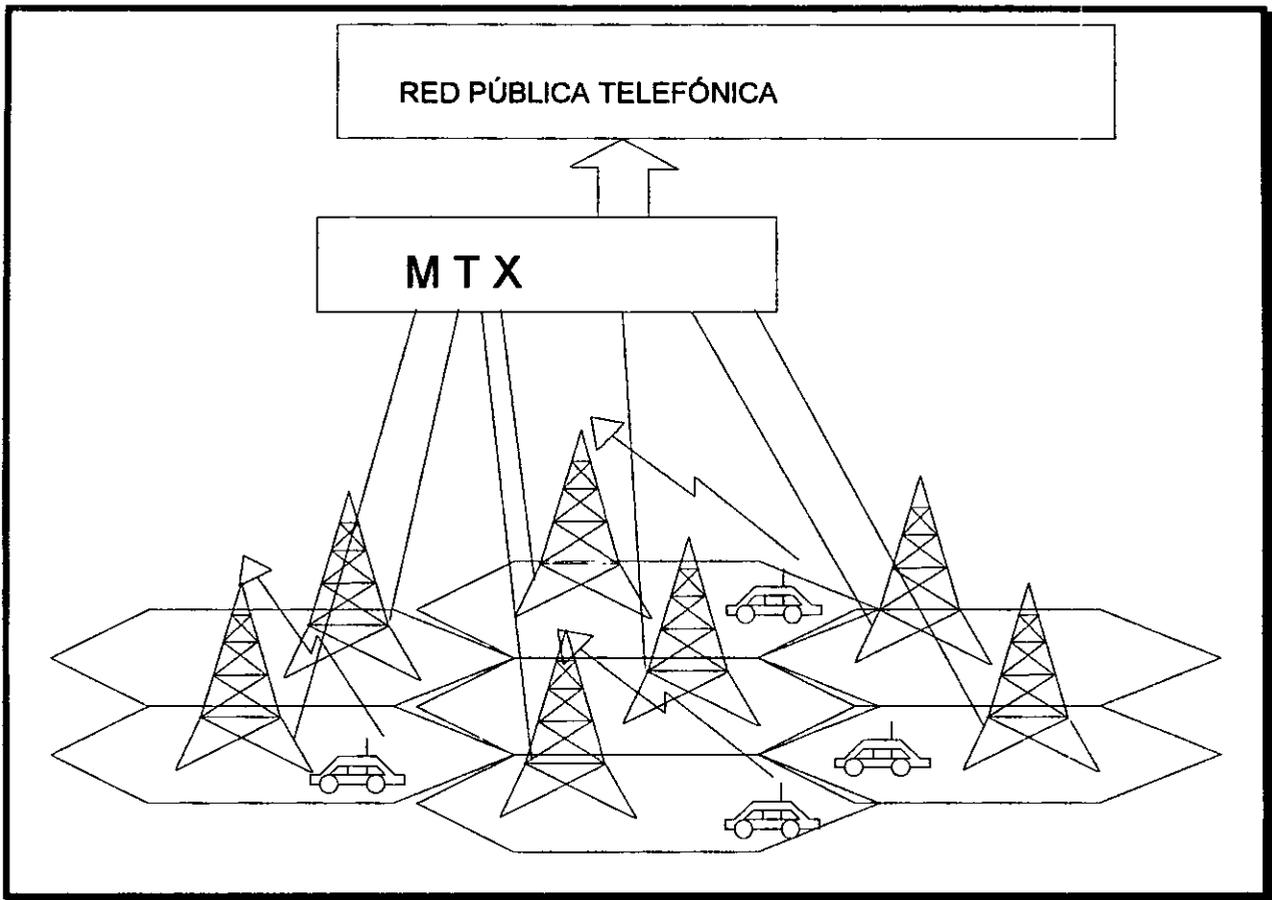


Figura 5 Estructura de un Sistema Celular

3.1.3 Funcionamiento básico de un sistema de telefonía celular

El sistema celular es un moderno medio de telecomunicaciones que satisface las necesidades de comunicación telefónica, permitiendo estar en contacto a toda hora y desde cualquier lugar dentro del área de cobertura. Este sistema viene a revolucionar a la telefonía convencional, ya que deja atrás los cables y los sustituye por frecuencias de radio.

Una zona de cobertura está formada por varias células. Cada célula contiene un Controlador computarizado de Zona de Células (CSC) y equipo de radio para transmisión y recepción, que en conjunto forman una Radio Base o Estación Base (EB). Estas estaciones base proporcionan el enlace de radio a través unidades móviles (UM) -teléfonos- que permiten el establecimiento de la comunicación telefónica.

Los suscriptores móviles se comunican con los suscriptores públicos y móviles a través del CSC que capta la señal de radiofrecuencia con mayor intensidad. A esta célula se le conoce como célula de servicio.

Todas las células están interconectadas a una central telefónica móvil centralizada, a la cual se le denomina: oficina de conmutación telefónica digital (MTX), controladas por un programa de almacenado (SPC) -término genérico empleado para la tarea de conmutación-. El MTX a su vez también se conecta a la Red Pública Telefónica (RPT) -TELMEX, en nuestro país- para poder dar paso a llamadas que entran o salen de la red celular con la red pública, ver figura 5.

El MTX constituye una interfase entre el sistema de telefonía celular y la Red Pública Telefónica. Todas las llamadas que se establecen hacia y desde los suscriptores móviles son administradas y enrutadas por el MTX, el cual a su vez, también provee todas las funciones necesarias para establecer la conmutación telefónica ya sea con los suscriptores de la RPT o con otros celulares. Así mismo, proporciona el servicio de larga distancia nacional o internacional a través de la Red Pública Telefónica local.

Cada EB del sistema está conectada al MTX por medio diferentes medios (fibra óptica, cable coaxial o microondas) para permitir la comunicación de voz, y datos que son necesarios para realizar la conexión telefónica de los suscriptores.

En el MTX se realizan las funciones de supervisión de calidad de la comunicación y la decisión de realizar por ejemplo, una transferencia de llamada. Es aquí también donde se ejecutan las acciones necesarias para poder ofrecer los servicios especiales como la función de "roaming" (visitante).

Las estaciones base son la interfase entre el MTX y el teléfono celular y tienen como función principal mantener la conexión telefónica del suscriptor mientras este se desplaza dentro de la zona de servicio. En la mayoría de los casos la EB más cercana al teléfono es la que proporciona el enlace.

Un enlace de radiocomunicaciones móviles es, por definición, cualquier enlace de comunicación entre dos terminales, de las cuales una o ambas pueden estar en movimiento o detenidas en lugares no del todo especificado.

Básicamente una Estación Base se compone de una torre, antenas, unidades de radio para transmisión y recepción que son los Canales de Voz (CV) y las unidades de control (Controlador computarizado de Zona de

Célula). La unidad de control efectúa entre otras cosas, el intercambio de datos con el MTX y la señalización con el teléfono celular por medio del "Canal de Control" (CC), este es en realidad un canal de radio al cual están sintonizados todos los teléfonos que están siendo atendidos por la Estación Base.

Los Canales de Voz son los que comunican la señal de voz desde la EB hasta el teléfono y viceversa de una llamada en curso, de tal forma que sólo son ocupados hasta que dicha llamada se inicie.

En telefonía celular la calidad de señal se deteriora cuando la distancia entre el teléfono celular y la estación base aumenta. Ahora, supongamos que un suscriptor móvil con una llamada en curso se está desplazando y al mismo tiempo alejándose de la célula que lo atiende. En este caso se hace necesario realizar una transferencia de la llamada.

Cuando los suscriptores se alejan de la célula de servicio, el nivel de señal decae y cuando alcanza el nivel mínimo, el MTX localiza otra célula y le transfiere la llamada en forma automática, sin interrupción de la conversación de los usuarios. A esta operación de transferencia de llamadas se le denomina "Hand-Off". Este proceso continuará efectuándose cada vez que el suscriptor móvil se aleje de nuevo de la célula que va dando servicio.

3.2 PROCESOS DE COMUNICACIÓN

Los procesos de comunicación son fundamentales para comunicar a los usuarios del sistema telefónico celular con los de la red pública telefónica, y viceversa. Dentro de estos procesos tenemos tres tipos: cuando un usuario móvil quiere comunicarse con uno de la red pública telefónica, cuando un abonado de la red pública desea establecer comunicación con un usuario del sistema telefónico celular, y entre usuarios de este sistema. Estos procesos se describen a continuación; así como, el proceso y algoritmo de transferencia de llamadas y desconexión de las mismas.

3.2.1 Cuando la llamada se origina desde la unidad móvil (UM)

Cuando la unidad móvil se enciende, inmediatamente selecciona y monitorea un canal de alicte (control) particular designado en cada zona de célula para la transmisión continua de información digital entre la UM y el CSC. La UM espera por un número, el cual aparece en la pantalla del teléfono

celular; una vez que los dígitos correctos se han introducido, se presiona la tecla "SEND" (enviar), con lo que la unidad móvil hace un intento de acceso al canal de señalización por medio de un mensaje digital enviado a través del canal de aliste "Destino-Fuente" al CSC más cercano.

Dicho mensaje contiene lo siguiente:

- El número de identificación de la unidad.
- El número marcado.
- Una solicitud para canal de voz.

Si este intento tiene éxito, se recibirá un mensaje de originación en el CSC; inmediatamente este último transfiere la requisición de acceso al MTX, el que automáticamente verifica el número de identificación y valida el número al cual se llama.

Una vez completos estos pasos iniciales, el MTX localiza un canal de voz libre en la célula; un mensaje de "preparación de canal" que prepara al canal de radio control para aceptar la llamada, se envía al CSC. La unidad de radio control de canales de voz enciende el transmisor y envía un Tono Supervisor de Audio (SAT) a la unidad móvil. Al mismo tiempo, el CSC envía un mensaje de designación inicial de canal de voz a la unidad móvil a través del canal de señalización. Este mensaje permite a la unidad móvil saber a cual canal sintonizarse; una vez sintonizada, la unidad móvil envía un SAT de regreso a la unidad de radio control de canal de voz. Esto permite a la unidad de radio control saber que la unidad móvil ha encontrado el canal apropiado.

La función del SAT es asegurar que una vez enviado desde el CSC, siendo recibido por la unidad móvil en el canal de "Fuente-Destino", se tenga el canal de voz "Destino-Fuente" y sea enviado de regreso al CSC; todo esto dentro de un margen de 5 s, pues de lo contrario el CSC dará por terminada la llamada.

Una vez detectado el SAT de regreso, la unidad de radio control reporta su presencia al MTX a través del CSC. EL usuario escucha entonces un tono de llamada, el que indica que la llamada ha sido aceptada.

Después de que el MTX recibe el reporte de la presencia del tono, mide un enlace de salida disponible, manda el número solicitado a la central telefónica local y espera una respuesta. Tan pronto como la otra parte contesta, la llamada pasa a la fase de conversación.

El proceso completo toma de 2 a 3 segundos desde que el usuario solicita la llamada hasta que el otro teléfono empieza a sonar.

Si el proceso no tiene éxito (la línea telefónica está ocupada), los dígitos permanecen almacenados en la memoria de la unidad, por lo que si se quiere hacer un nuevo intento, solamente se tendrá que presionar la tecla "END" (Fin) para finalizar la llamada en curso y posteriormente presionar las teclas "RCL" (reclamo de último número llamado), "#" (remarcado automático) y "SEND" (enviar).

En la figura 6, se muestra la Interacción del MTX, el Controlador computarizado de Zona y la unidad móvil para llevar a cabo el procedimiento de conexión de llamada de UM a RPT.

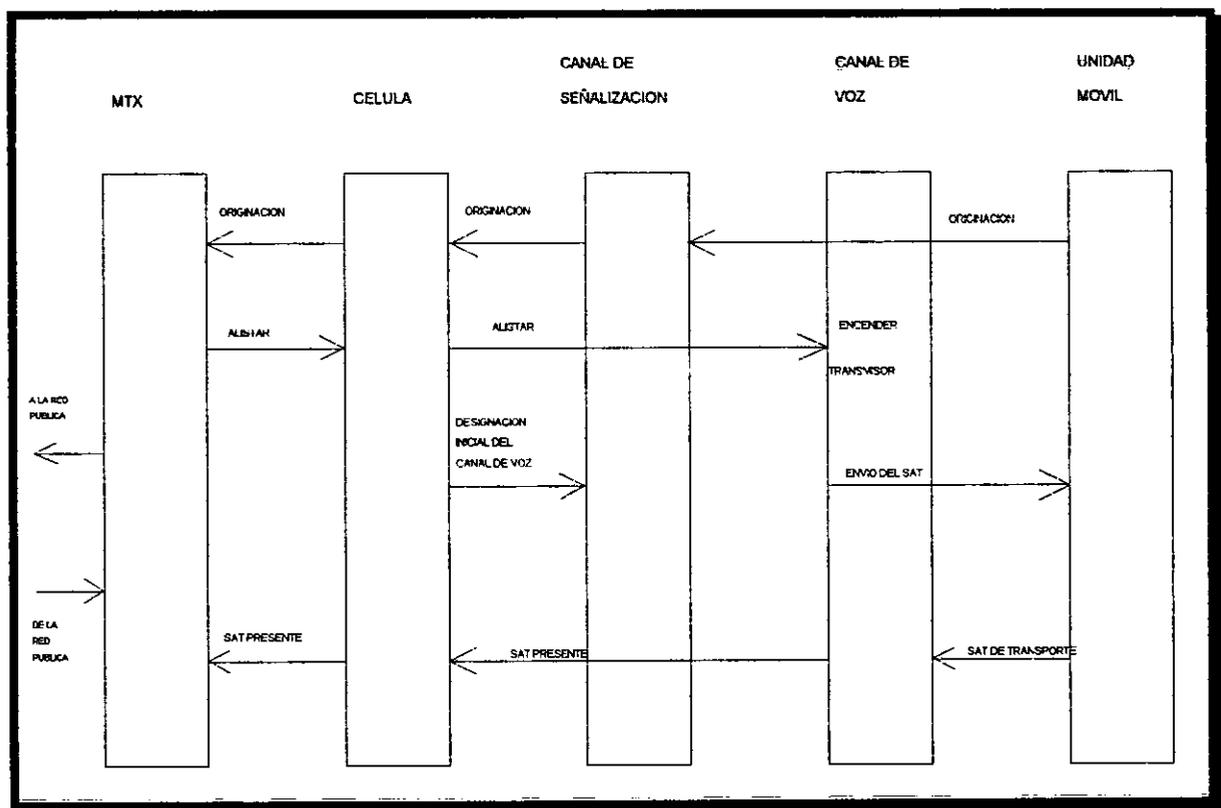


Figura 6 Esquema de conexión de la unidad móvil a la red pública

En la figura 7, se muestra en forma esquemática el proceso de comunicar a un teléfono móvil con uno de la red pública.

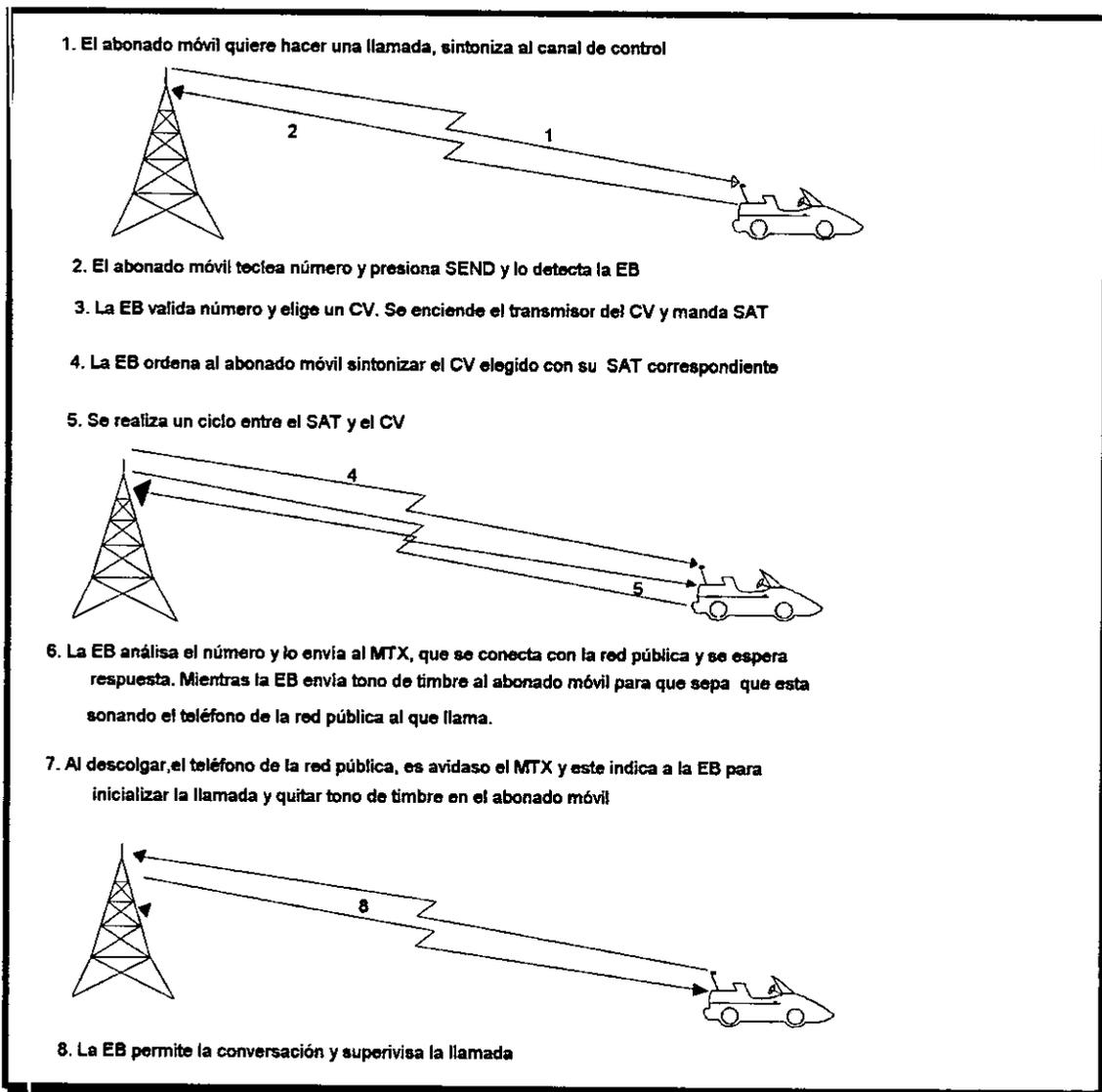


Figura 7 Proceso de comunicación móvil a red pública

3.2.2 Cuando la llamada se origina en la red telefónica pública local

Cuando un usuario de la red pública intenta comunicarse con un suscriptor móvil, introduce el número telefónico celular apropiado un código de 10 dígitos. La central telefónica local envía el número a través de un enlace al MTX, quien lo convierte en el número de identificación de la UM y ordena localizarla por medio de envío de llamadas de "localización" a través del canal de aliste "Fuente-Destino" a todos los controladores de zona en el área de servicio móvil del suscriptor. Cada controlador envía a su vez la llamada de localización con el número de identificación por un canal de señalización.

Cada unidad móvil en el área recibe la llamada y compara el número de identificación con el suyo propio, si concuerda hace un intento de acceso y tomando el control del canal de aliste "Destino-Fuente", genera un mensaje de "respuesta de localización" conteniendo el número de identificación hacia el CSC.

Si el intento de acceso tiene éxito el mensaje llega al MTX desde el CSC a través de un enlace de datos; el MTX asigna un canal libre de voz a la UM en el CSC que reporta la "respuesta de localización". Un mensaje de "preparación" se envía al CSC, usando el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Posteriormente el CSC envía un mensaje de "alerta" a la unidad móvil por el canal de voz con lo que la unidad móvil enciende un tono de señalización y empieza a sonar. Tan pronto como el usuario contesta el tono de señalización se apaga.

El canal de voz manda un mensaje de "contestación" al MTX por medio del controlador de zona y la llamada entre en la fase de conversación.

En la figura 8, se muestra la interacción del MTX, el Controlador computarizado de Zona y la unidad móvil para llevar a cabo el procedimiento de conexión de llamada RPT a UM.

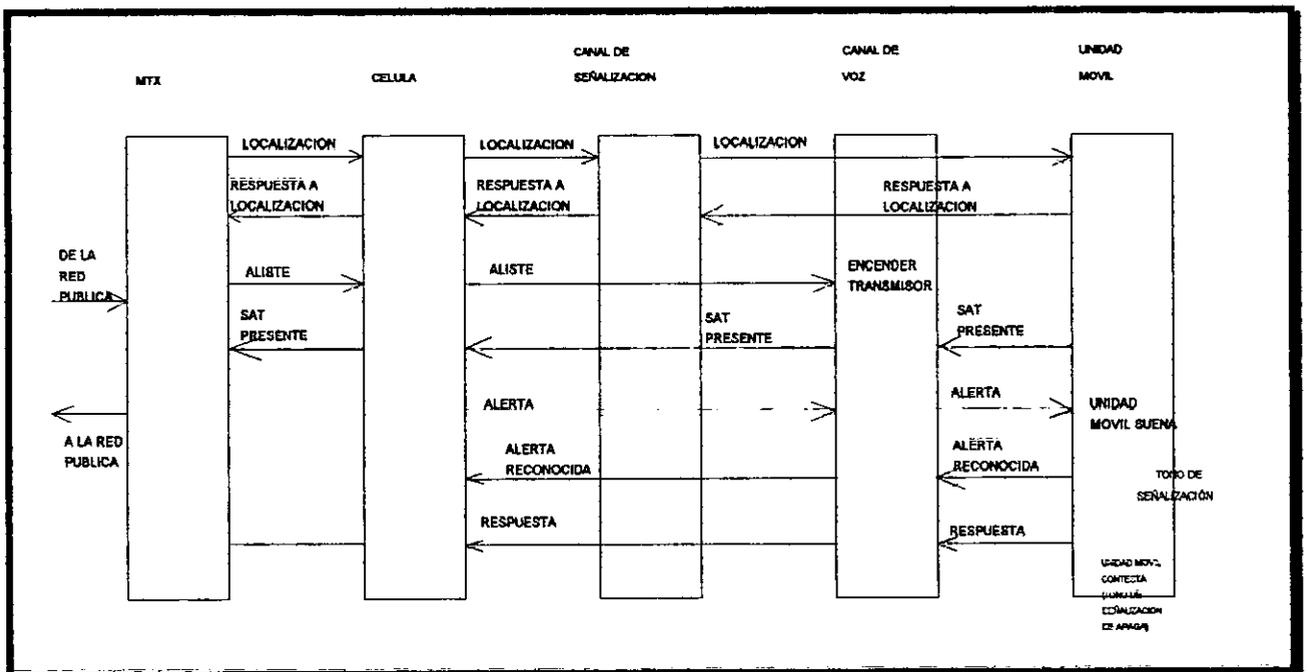


Figura 8 Esquema de comunicación de la red pública a la unidad móvil

En la figura 9, se muestra en forma esquemática el proceso de comunicar a la red pública con un teléfono móvil.

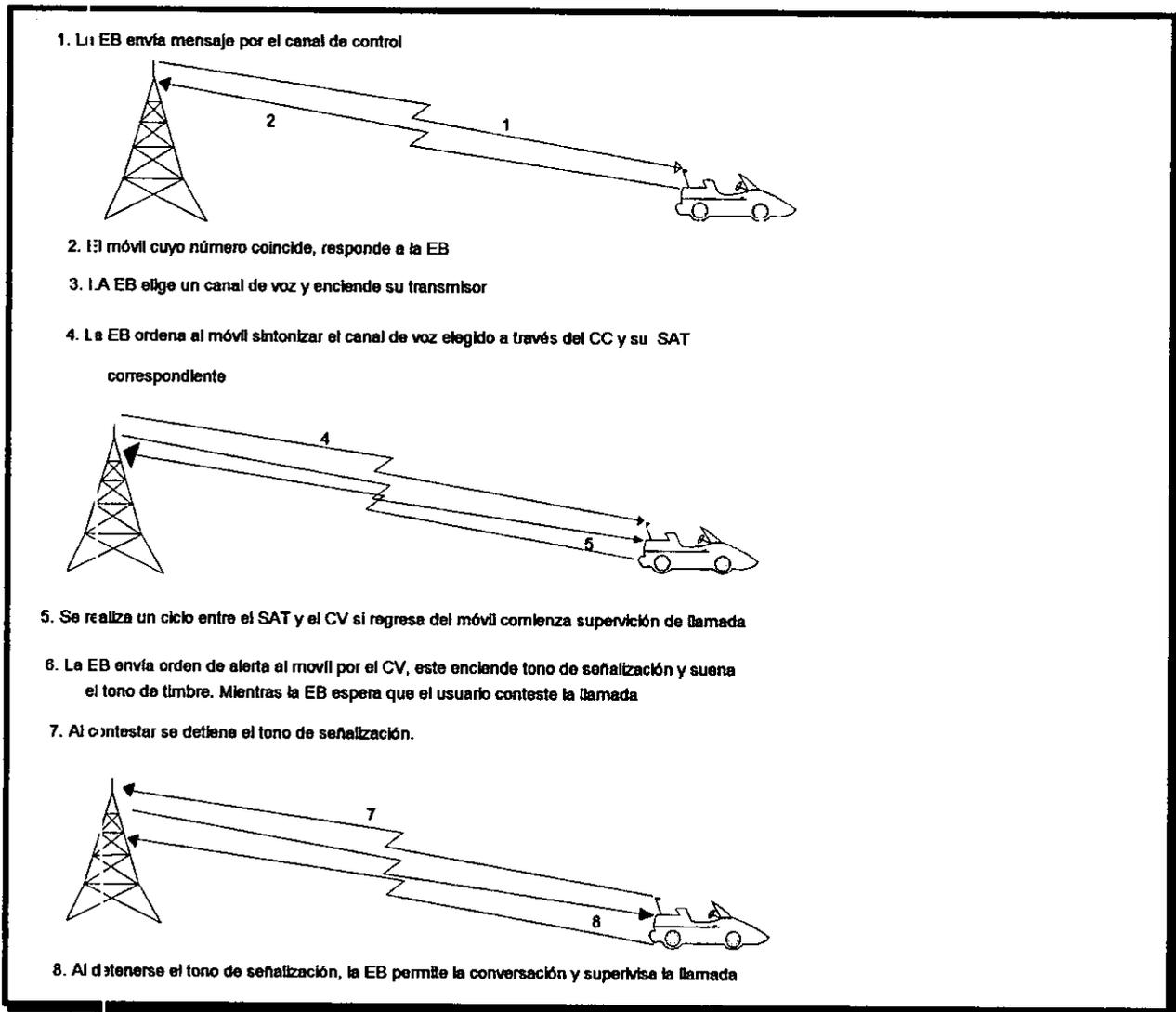


Figura 9 Proceso de comunicación de la red pública a un móvil

3.2.3 Comunicación entre unidades celulares

Cuando unidad móvil llama a otra igual se combinan las secuencias anteriores. La red pública no se utiliza, en lugar de eso, el solicitante de llamada y el receptor son manejados únicamente por el MTX.

En la figura 10, se muestra en forma esquemática este procedimiento.

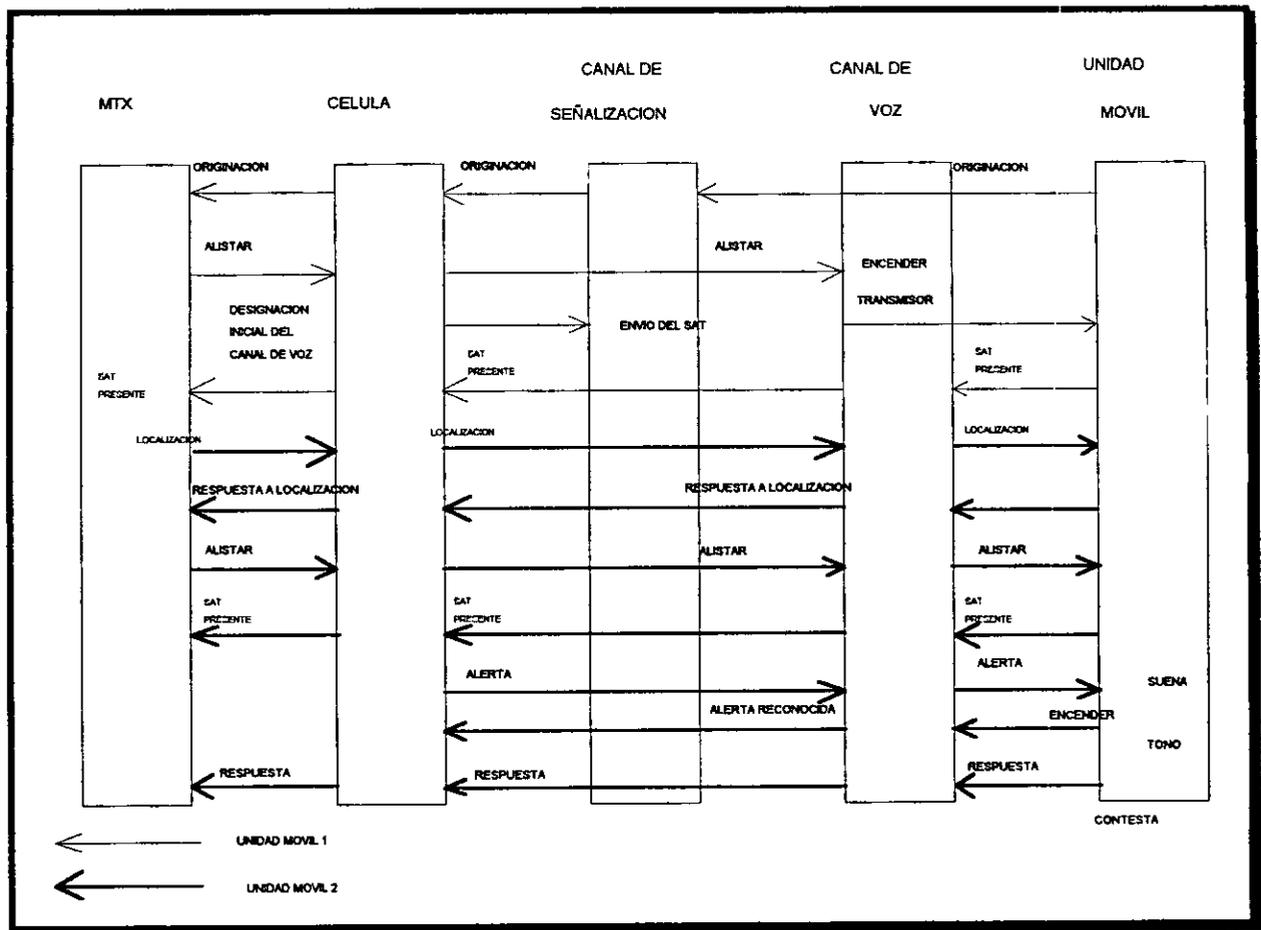


Figura 10 Esquema de comunicación de unidad móvil a unidad móvil

Cuando la petición de llamada enviada por un móvil "A", es transmitida vía un canal de señalización hasta el CSC, el cual envía la petición de un canal de voz al MTX. El MTX "analiza" al que llama y revisa a que zona pertenece (célula) y lo etiqueta como ocupado para evitar conflictos con otras llamadas que pudieran pedir hablar con el móvil "A". Mientras localiza al usuario al que se esta llamando (móvil "B"), luego se verifica si el móvil "B" está libre, de estarlo se le llama por medio de un canal de señalización, cuando responde se le asigna un canal de voz y el MTX le indica al móvil "B" que se sintonice a este canal, una vez que el canal de voz es ocupado; el MTX enlaza los dos canales de voz e inicia la conversación.

Mientras dure la conversación el MTX la supervisa, evaluando el nivel de señal y, de ser necesario, realizar una transferencia de llamada. Al mismo tiempo, el MTX monitorea los posibles cortes de señal o fin de llamada ya sea del móvil "A" o "B" para terminar la conexión.

3.2.4 Desconexión de una llamada

Si el suscriptor móvil cuelga primero (por medio de la tecla "END"), la unidad móvil genera un tono de señalización por 1.8 segundos y lo envía al CSC. Cuando se detecta este tono, la unidad de radio control de canal de voz apagando su transmisor y generando un mensaje de "liberación reconocida" al CSC. Este último transfiere el mensaje al MTX, quien envía señales de desconexión a la red pública, desconecta el enlace de terminación y el enlace de zona de célula.

Si la contraparte (línea telefónica común) cuelga primero, el MTX recibe la señal de desconexión de la red pública, desocupa la unidad móvil enviándole un mensaje de "liberación" a través del CSC. La unidad móvil reconoce a esta señal enviando un tono de 1.8 segundos. Tan pronto como la unidad de radio control de canal de voz detecta al tono, apaga el transmisor y genera un mensaje de "liberación reconocida" al CSC. A esta altura el canal está desocupado.

En la figura 11, se muestra en forma esquemática este procedimiento.

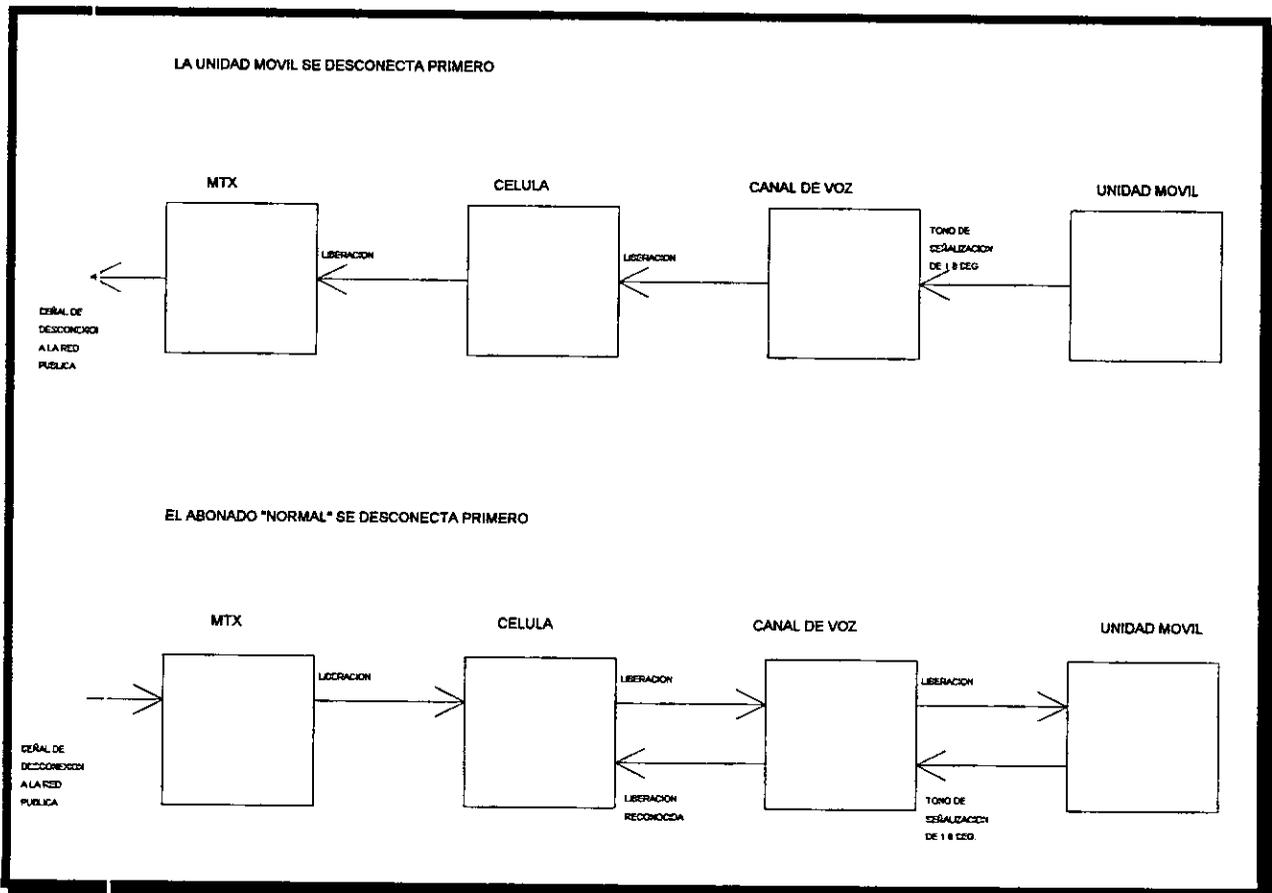


Figura 11 Esquema de desconexión

3.2.5 Capacidad de transferencia de llamada

La transferencia de llamada, conocida como "Hand-Off", es una característica de los sistemas celulares que le permite transferir el control de una llamada de una célula a otra cuando el nivel de intensidad ha disminuido a un nivel límite; este proceso es controlado por el MTX basándose en un algoritmo de transferencia de llamada.

Una vez establecida la llamada, el canal de aliste no se emplea más durante el proceso de comunicación, por lo tanto, la transferencia de llamada siempre se realiza sobre el canal de voz.

El Hand-off se inicia cuando la señal, al ser monitoreada en su potencia (nivel de señal), disminuye por debajo de cierto nivel, al juzgarse que el nivel de señal está por debajo del límite, el CSC de la célula donde está ubicada la unidad móvil, solicita al MTX el intento de transferencia.

El MTX busca en su base de datos a las células o células vecinas al sitio que solicita el Hand-off. Y una vez encontrada la célula a donde transferir la llamada, se inicia la búsqueda de un canal libre de voz. Una vez encontrado el canal libre se le indica a la unidad móvil que se sintonice a él. Una vez que la unidad móvil toma el nuevo canal de voz, el MTX libera el anterior canal de voz y la conversación continúa.

En la figura 12, se muestra en forma esquemática el proceso de transferencia de llamada.

Las transferencias son necesarias específicamente en dos situaciones en que la célula recibe señales débiles de la unidad móvil:

- En los límites de la célula en los que el nivel de señal decae se torna necesaria una transferencia en un medio limitado por ruido.

- Cuando la unidad móvil encuentra las zonas de sombra con un nivel bajo de iluminación de señal dentro del área de la célula.

Existen dos tipos de transferencia de llamada:

1. El que se basa en la intensidad de la señal.
2. El que se basa en la razón de señal a interferencia (C/I).

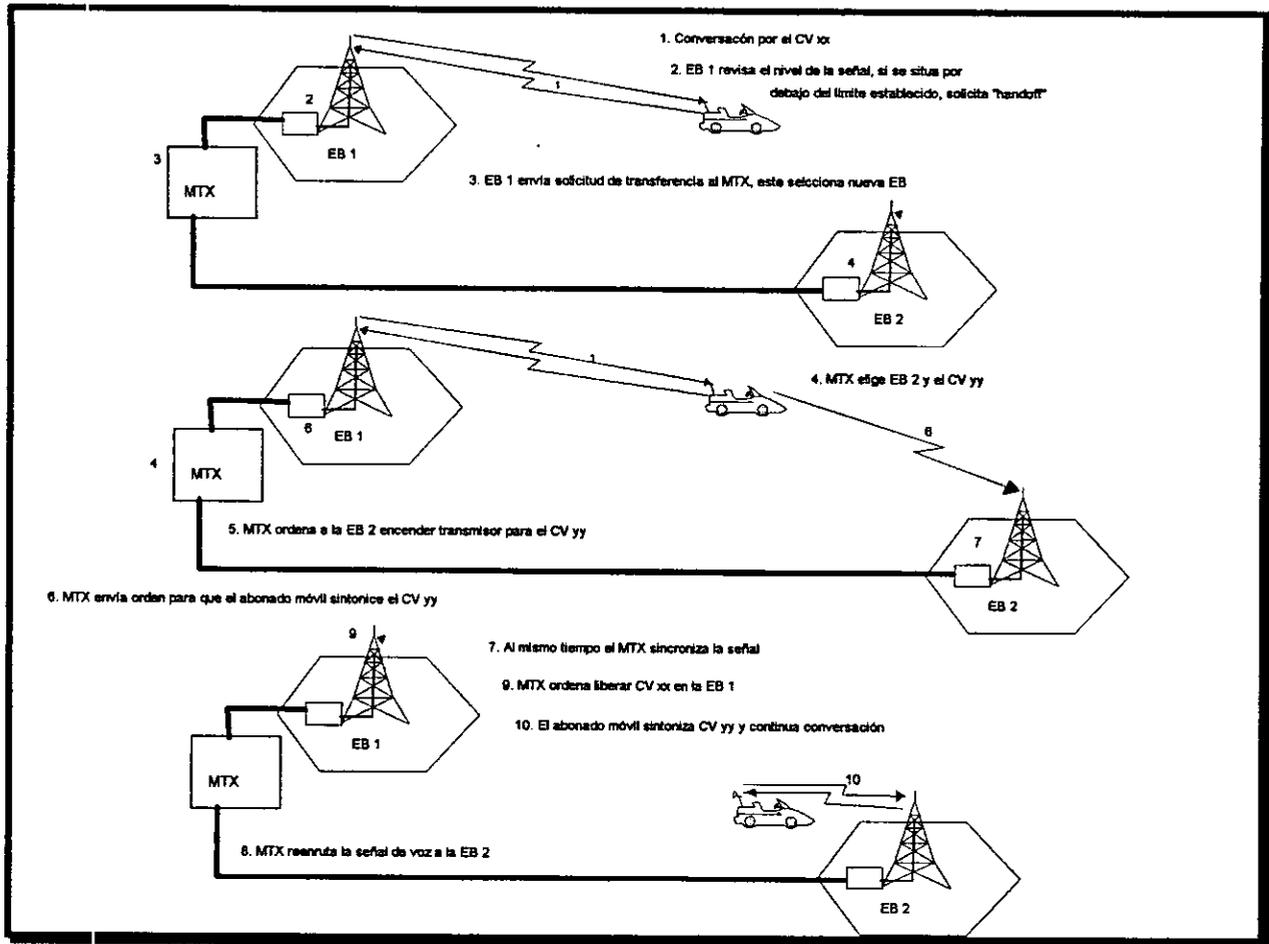


Figura 12 Proceso de Hand-off

En el primer caso el nivel de intensidad de la señal dicta el momento en que se lleva a cabo el proceso. Si la intensidad captada es de -100 dB se inicia el proceso de transferencia.

En el segundo caso la razón C/I debe mantenerse en el orden de los 18 dB para mantener una calidad aceptable de voz, en caso contrario, se produce la transferencia.

La ocurrencia de transferencia de llamada depende también de factores independientes tales como la duración en tiempo de la llamada y el área de la célula de servicio.

Debido a que las llamadas móviles son eventos aleatorios en espacio y tiempo, es necesario establecer los medios para colocar las llamadas de los

suscriptores en movimiento así como también de alguna forma asegurar la continuidad de las llamadas en progreso.

En respuesta a esto se desarrollaron varios algoritmos; estos permiten al MTX -usando un número limitado de frecuencias de transmisión- el manejar un gran número de llamadas simultáneamente. También asegurar que los suscriptores recibirán un servicio de alta calidad e ininterrumpido a medida que se desplazan a diferentes puntos dentro del sistema.

Los algoritmos mencionados son:

- + El algoritmo de transferencia de llamada.
- + El algoritmo de balanceo de carga.

3.2.6 Algoritmos de transferencia de llamadas de una célula a otra.

Algoritmo de transferencia de llamada

El algoritmo de transferencia de llamada se emplea para identificar candidatos potenciales para transferencia y para localizar células a las cuales transferir. El algoritmo efectúa dos funciones específicas :

- Calcular cuáles células podrían aceptar la llamada a transferir.
- Configurar en un rango de mejor a peor a las células candidatas para aceptar la llamada.

Antes de que la transferencia se lleve a cabo, el MTX debe determinar el número de canales de voz libres en cada célula y, de esa información, determinar el estado de la célula, la cual puede encontrarse en cualquiera de los siguientes casos:

Estado normal. Donde originaciones de llamadas, terminaciones, y todas las transferencias son posibles.

Estado de reintento dirigido. Donde solo se permiten transferencias hacia dentro o hacia afuera de la célula y las solicitudes de inicio de llamada son desviados hacia células adyacentes.

Estado de transferencia dirigida. Donde solo se aceptan transferencias debidas a una débil intensidad de señal. Para encontrar espacio para estas transferencias, la célula intenta transferir llamadas en progreso a las células adyacentes.

Estado de no disponibilidad. Donde el equipo de zona de célula está funcionando incorrectamente o todos los canales están ocupados.

Para determinar cual célula recibirá la llamada transferida, el MTX calcula el estado de todas las células adyacentes. El controlador de zona de célula envía un mensaje de transferencia a las células que se encuentran en estado normal o de reintento dirigido, o a las células en estado de transferencia dirigida si la razón para la transferencia es una intensidad débil de señal. La primera selección para la transferencia son las células en estado normal, seguidas por aquellas en estado de reintento dirigido y finalmente por aquellas en transferencia dirigida.

En preparación para la transferencia, el MTX continuamente monitorea la intensidad de señal de cada unidad móvil por medio de las unidades de radio control en cada zona de células. Si la intensidad de señal cae bajo un nivel predeterminado, se envía un reporte al controlador de zona, el cual coloca a la llamada en la lista de candidatas a transferencia y avisa al MTX. El MTX entonces ordena a esa célula y las adyacentes el medir la intensidad de señal en ese canal específicamente. De los reportes que llegan al MTX se decidirá que célula es la mas viable para dar servicio a esa llamada.

La decisión de transferencia una llamada no solamente se basa en la intensidad de señal, si no también en la disponibilidad de canales en las células adyacentes, el nivel de potencia de la unidad móvil y de la célula.

Cuando se va a transferir una llamada, la nueva célula recibe un mensaje de alistado del MTX y la antigua uno de transferencia; el controlador en la célula antigua envía un mensaje de inicio de transferencia a la unidad móvil se sintoniza al nuevo canal. Una vez reconocido el mensaje por esta última, el controlador envía una señal al MTX para conmutar del canal antiguo al nuevo; la unidad móvil sintoniza al nuevo canal especificado en el mensaje de transferencia. El proceso se completa cuando el MTX transfiere la llamada a un canal de voz al nuevo CSC; al mismo tiempo, este último interrumpe la señal de voz por 50 ms. Durante la interrupción, una serie de datos en el canal de voz indica a la unidad móvil el cambio al nuevo canal. La función completa de transferencia toma aproximadamente 200 ms., lo que no afecta la continuidad de la llamada ni la calidad de la señal de voz.

Algoritmo de balanceo de carga

Tradicionalmente, los ingenieros en tráfico han usado modelos de manejo de tráfico tales como el denominado llamadas bloqueadas-liberadas, para reducir el bloqueo de canales de voz, y técnicas de análisis en fila de espera para minimizar retardos en el canal de señalización. En telefonía celular se ha reducido el nivel de ocurrencia de bloqueo de llamadas en el MTX por medio de la implementación de un algoritmo de balanceo de carga, el cual reduce el riesgo de que las llamadas sean desconectadas al ser transferidas.

El balanceo de carga se lleva a cabo cuando la llamada entra en una célula en estado de reintento dirigido o de transferencia dirigida.

En el estado de reintento dirigido, una solicitud de llamada es redireccionada de la célula en la cual la unidad móvil está localizada hacia la célula más cercana. Por medio del inicio de la llamada en otra célula, queda espacio disponible en la célula original para aceptar transferencias.

En el estado de transferencia dirigida, una llamada en progreso es transferida de una célula a otra adyacente. De esta forma, se dejan canales desocupados para atender peticiones urgentes de transferencia de unidades móviles con niveles de intensidad de señal inferiores a niveles predeterminados (transferencia verídica).

En forma en que el volumen de tráfico en una célula se incrementa, ésta se moverá del estado normal a de reintento dirigido y de este al de transferencia dirigida. En un nivel determinado, la célula no está más en el estado normal, y por lo tanto es incapaz de originar, terminar y aceptar todas las llamadas transferidas. En este punto, la célula entra en el estado de reintento dirigido, donde todas las peticiones de inicio de llamada son relegadas a las células cercanas; este proceso deja canales libres en la célula para atender transferencias.

Cuando se incrementa el número de canales ocupados, la célula atraviesa el umbral y entra en el estado de transferencia dirigida, donde las llamadas en progreso son automáticamente transferidas a las células cercanas; esto nuevamente deja canales libres para aceptar peticiones genuinas de transferencia de llamada.

Ésta condición -donde los canales de RF están reservados para transferencia dirigida- asemeja una situación en la red telefónica pública donde las rutas de primera elección están respaldadas por rutas alternativas.

En esta red, las llamadas bloqueadas en las primeras rutas pueden usualmente completarse por enlaces secundarios. Como resultado, mientras el bloqueo de llamadas a través de la primera trayectoria puede ocurrir ocasionalmente, un bloqueo del sistema raramente ocurre debido a que las posibilidades para completar la llamada son grandes.

Una situación similar existe en un sistema telefónico celular: en la forma en que el número de los canales -o canales de transferencia dirigida- se incrementa, la probabilidad de que una llamada transferida tenga que esperar se reduce.

3.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Con respecto a la Central Telefónica Móvil (MTX) existen varias configuraciones de los sistemas celulares en su arquitectura:

La primera configuración es de tipo centralizado, donde el MTX controla al sistema completo desde una zona central; en esta conformación el MTX realiza todo el trabajo: técnico, administrativo y como interfase a la red pública; esto se muestra en la figura 13.

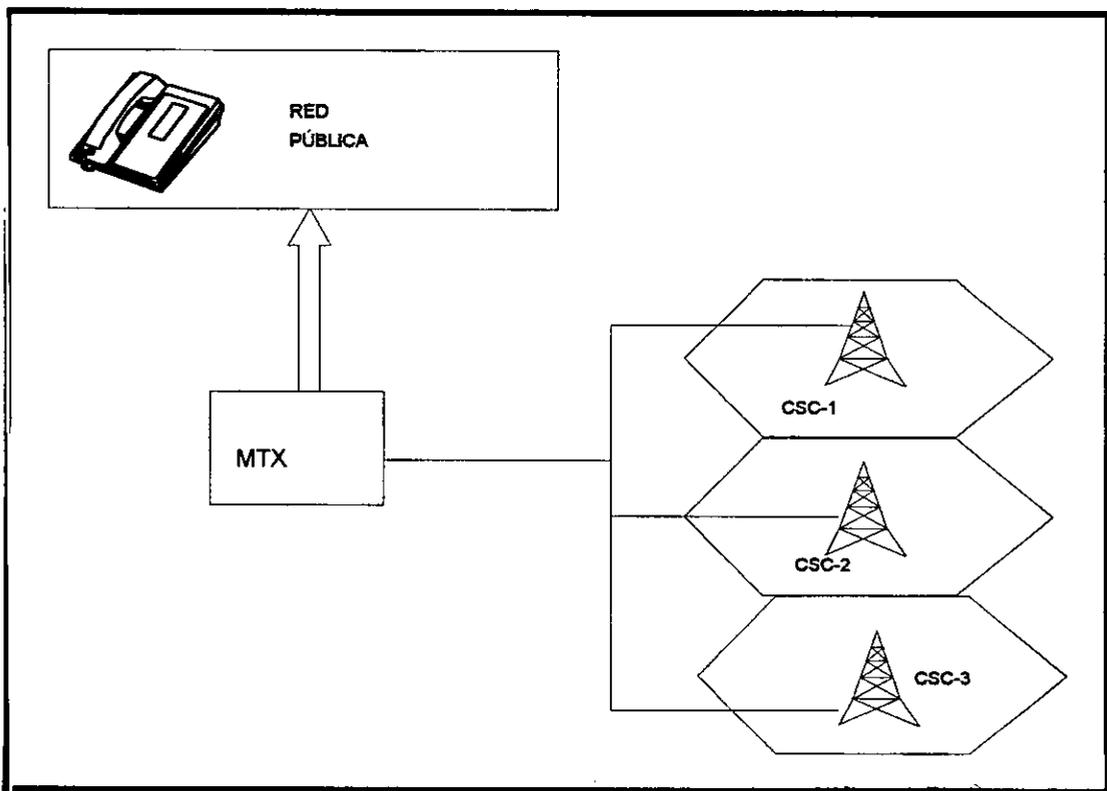


Figura 13 Sistema celular centralizado

El segundo tipo es descentralizado, en el cual hay una computadora central (MTX, "maestro") que realiza operaciones en tiempo no-real, por ejemplo cobranzas. Las operaciones técnicas como las comunicaciones y transferencias son llevadas a cabo por MTX's más pequeños (auxiliares), en la figura 14 exhibe esta configuración.

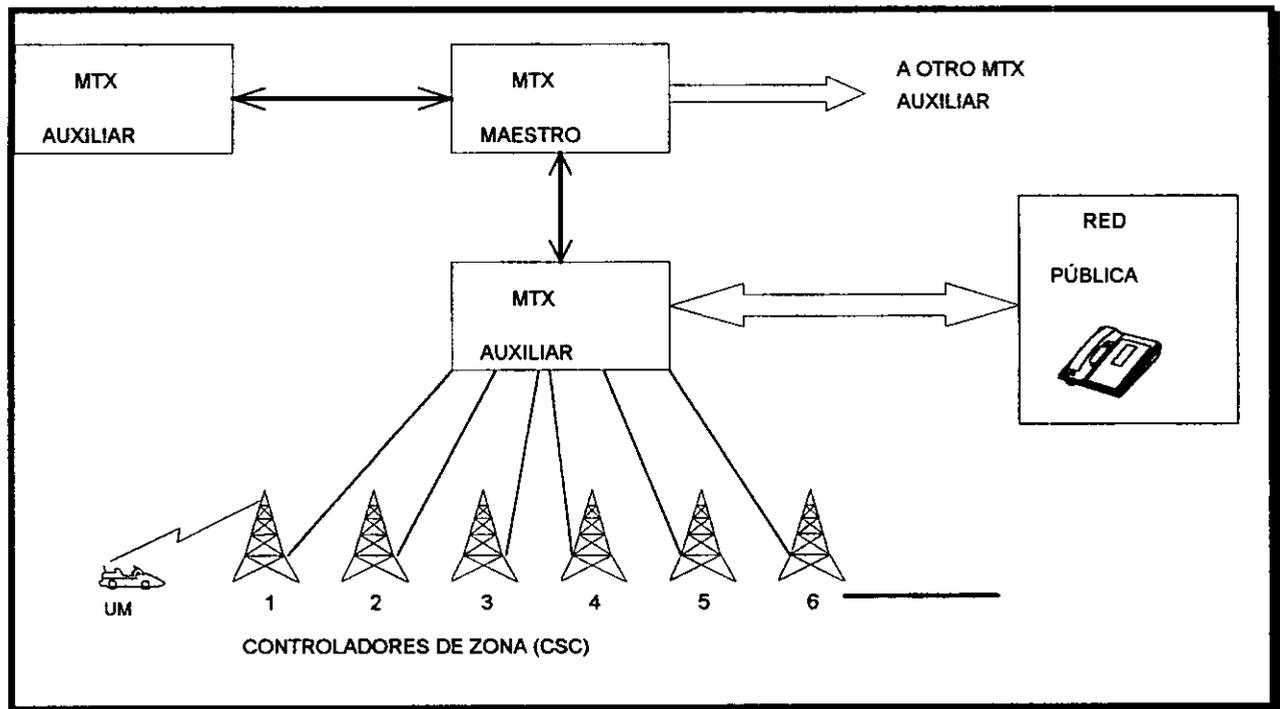


Figura 14 Sistema celular descentralizado

El tercer y último tipo es una combinación de los dos primeros. Éste arreglo está hecho de forma que un conmutador pudiera ser el control central de una comunidad pequeña y también pudiera ser conectado como un CSC remoto para un sistema grande cercano. La figura 15 presenta lo dicho.

Como ya se menciona en el apartado 3.1.2, un sistema celular típico consta de tres bloques "superiores":

- a) Una Central de Telefonía Móvil (MTX)
- b) Equipo en la zona de célula
- c) Interfases que conectan a la red pública

Los cuales se explicarán a continuación con mayor detalle.

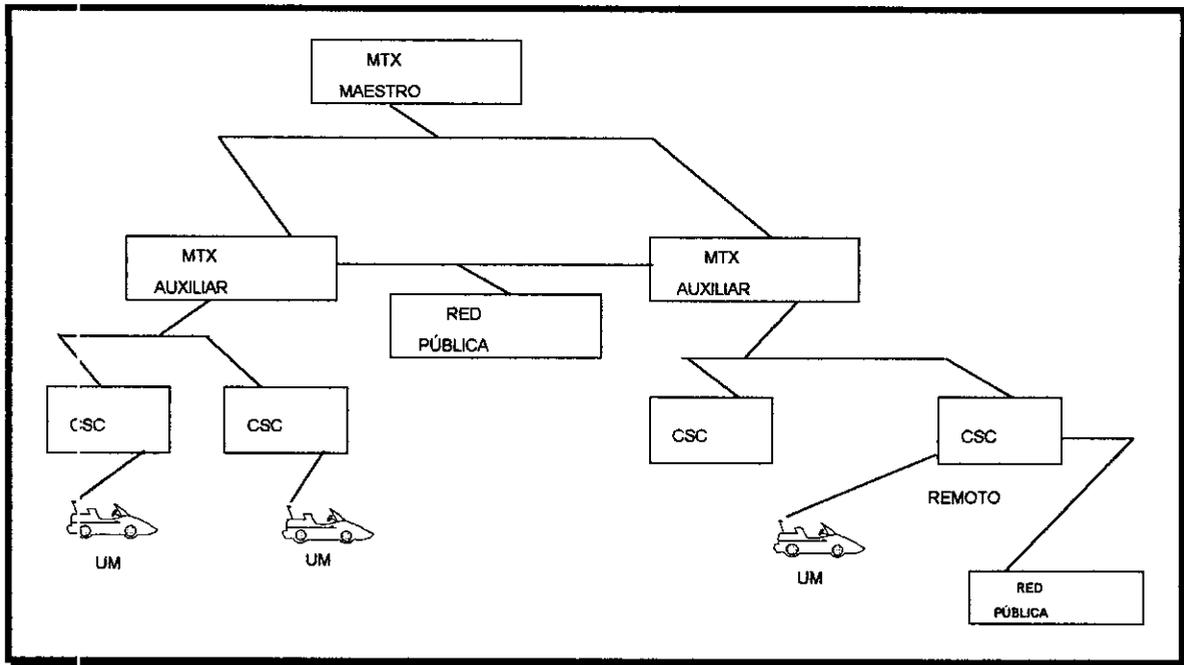


Figura 15 Combinación de sistemas celulares

CENTRAL DE TELEFONÍA MÓVIL (MTX)

Este equipo consiste de cuatro subsistemas mayores:

1ro. El control central. El control central controla todo el sistema y es responsable para el buen funcionamiento del mismo consiste de la Unidad Central de Proceso (CPU), los módulos de memoria para almacenamientos de programas, los módulos de memoria para almacenamientos de datos y un Controlador Central de Mensaje (CMC).

Se tiene un duplicado exacto de todos estos componentes para soportar alguna falla, este trabaja en un modo completamente sincrónico con el lado activo en todo momento.

2do. La red de conmutación. Este subsistema realiza las funciones de conmutación. Las conexiones de voz se hacen a través de los módulos de red duplicados entre los módulos periféricos.

3ro. Los controladores de entrada/salida. Estos proveen una interfase entre los dispositivos de entrada/salida varios y el control central. Así mismo los

controladores también proveen una interfase especial para manejar mensajes de señalización entre el MTX y el CSC.

4to. Módulos periféricos. Estos módulos proveen la interfase entre la red de conmutación y entronques analógicos, circuitos de servicio y facilidades de portadora digital. Cada módulo controla el flujo de mensajes entre sí mismo y el control central, llevando a cabo tareas en tiempo real tales como supervisión de llamadas, transmisión/recepción de dígitos y conversión analógica-digital.

EQUIPO EN LA ZONA DE CÉLULA

El equipo en la zona de célula es para comunicarse con el MTX por medio de enlaces especiales de datos, para manejar las unidades de radiocontrol para establecimiento de llamadas y para coordinar - bajo supervisión del MTX - todas las actividades dentro del área de la célula. **Este** equipo consiste en:

1ro. Un Controlador de zona de célula (CSC). El CSC es un dispositivo redundante del tipo doble repisa que opera en modo de espera-activo. Si la unidad activa falla, la unidad en estado de espera tomará su lugar sin pérdida de llamadas. Cada repisa del CSC consiste en un procesador de señalización de alto nivel, un controlador HDLC (Control de alto nivel para enlaces de datos) y un procesador maestro.

- Procesador de señalización. Consiste en un microprocesador y la memoria asociada, es responsable de tareas intensivas en tiempo real y de bajo nivel en el CSC. Sus funciones primarias son: Transmitir y recibir señales desde el MTX, las unidades de radiocontrol y el CSC. Generar mensajes vitales del sistema. Cargar el software del MTX al procesador de señalización así como al procesador maestro.

El procesador de señalización se comunica con el MTX por medio del controlador HDLC.

- Controlador HDLC. Es un dispositivo inteligente basado en un microprocesador que transmite y recibe mensajes del MTX a través de un enlace de datos y traduce estos mensajes en una forma aceptada del CSC. El controlador lleva a cabo la sincronización y control de enlace, detección de errores y recuperación. Como parte de su función de mantenimiento, el controlador HDLC monitorea las actividades del CSC.

- Procesador maestro ("corazón del CSC"). Realiza y coordina todas las actividades de alto nivel en el CSC. Estas se pueden dividir en cuatro áreas: Procesamiento de llamadas, mantenimiento y diagnóstico, medición operacional y funciones de administración.

2do. Una Unidad de radio control. Se pueden clasificar en tres tipos generales de acuerdo a su funcionalidad. Estos son: canal de control, canal de voz y receptor de localización.

- Canal de control. También conocido como canal de señalización o aliste (setup-channel), el canal de control maneja la localización y las funciones de acceso así como también los procedimientos de aliste para unidades móviles dentro de los límites de su célula. También mantiene un flujo constante de datos sobre la frecuencia asignada a la cual las unidades móviles están sintonizadas.

- Canal de voz. Este canal se emplea para transmitir la conversación del suscriptor móvil. Interconecta señales de audio en RF al MTX por medio de un enlace de voz y procesa el Tono Supervisor de Audio (SAT) y el tono de señalización incluido en la banda durante las llamadas activas. También procesa el Indicador de Intensidad de Señal Recibida (RSSI) de las unidades móviles y determina candidatos posibles para el proceso de "Hand-off" .

- Receptor de localización. También conocido como receptor de rastreo, es empleado para medir el RSSI de los suscriptores móviles que son candidatos para transferencia de llamada.

3ro. El Transmisor del CSC. Contiene un generador de frecuencia que, bajo instrucciones de la unidad de control sintoniza la frecuencia del canal deseado en la sección de transmisión de la banda celular.

4to. El Receptor del CSC. Aquí la señal de entrada es dirigida al receptor correcto por el multiacoplador, y es bloqueada de los demás canales por la acción del mismo.

5to. Las Antenas del CSC. Las antenas tienen una cubierta que la aísla de los efectos del clima, pero no afecta la radiación ni la recepción de la misma. La antena puede ser de dos tipos: Ganancia unitaria o con Ganancia mayor a 1 (indica que concentra más la emisión de las ondas de radio en cierta región o área).

INTERFASES QUE CONECTAN A LA RED PÚBLICA

El MTX es conectado a la red pública por medio de una interfase de enlace ó interferencia de entronque.

La interfase mas común es llamada "Mercado Directo de Entrada / Mercado Directo de Salida" (Direct Inward Dialing /Direct Outwart Dialing, DID/DOD -sus siglas en inglés-). Esta es la interfase de enlace a la oficina extremo final.

La oficina extremo final es la encargada de encaminar las llamadas por línea física que llegan a los suscriptores móviles y las que salen de parte de los mismos. El número de suscriptores en un área de mercado en particular determinará el tipo de equipo necesario para cubrir sus necesidades.

Unidad Móvil (UM)

Esta es probablemente la única parte de un sistema radiotelefónico móvil celular con la que tiene contacto el usuario. Dicha interfase es un equipo transceptor que se sintoniza a las frecuencias de transmisión y recepción dentro de la banda reservada a la telefonía celular y además responde a las señales de control que son enviadas por el MTX vía el CSC.

Cabe mencionar que el termino "unidad móvil" abarca tanto a los radiotelefonos móviles como a los portátiles.

Las unidades móviles pueden dividirse en los siguientes tipos:

1ro Portátiles o de mano. Son de poco peso y tamaño, utilizan baterías que pueden durar hasta un par de horas de conversación continua. Pueden convertirse en teléfonos móviles adaptandose al encendedor de los automóviles; con equipo opcional es posible tener conversación a manos libres; tienen la posibilidad de conectarles una antena exterior para mejorar la calidad de la llamada en zonas con débil cobertura; también se les puede adaptar un amplificador para aumentar la potencia de transmisión hasta 3 Watts [W] y existen adaptadores para equipos de FAX y computadoras portátiles.

2do. Transportables. Son del tamaño de un maletín, se pueden llevar sobre los hombros; poseen una batería externa de mayor capacidad para permitir un tiempo superior de conversación.

3ro. Móviles. Son los instalados permanentemente dentro de un vehículo; se alimentan con la batería del automóvil y manejan potencias de hasta 3 W.

4to. Fijos. Su uso es exclusivamente residencial por lo que es necesario conectarlos a la línea común de voltaje para que puedan operar. Por lo general se utilizan en áreas donde no existe la red de telefonía pública pero tienen cobertura celular. Se usan como teléfonos públicos en áreas rurales, en trenes, barcos, etc.

En la figura 16, se muestran los diferentes tipos de unidades móviles.

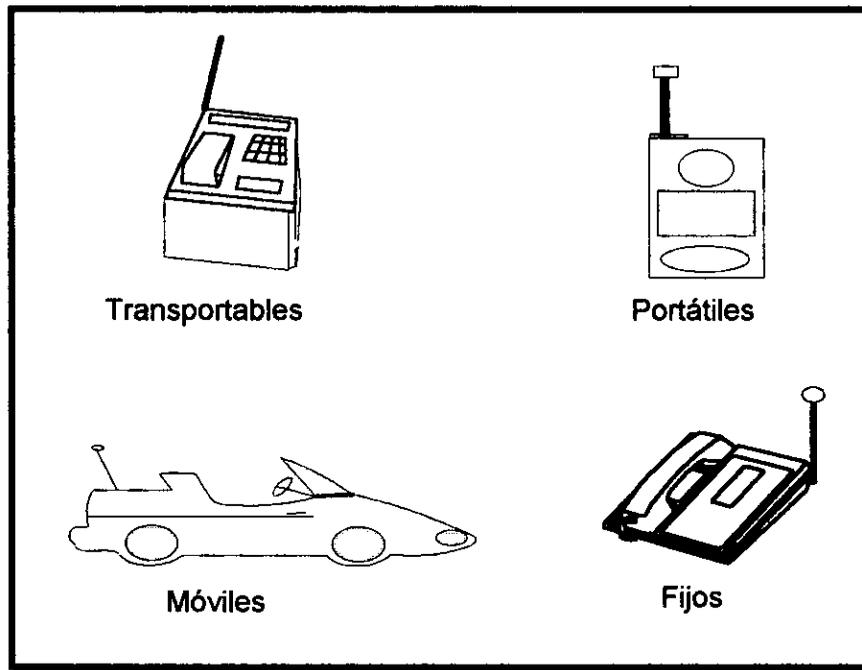


Figura 16 Tipos de unidades móviles

Antes de poder utilizar el servicio celular por primera vez, una unidad móvil (o teléfono celular) debe ser programado con la siguiente información:

- a) El número de identificación del teléfono celular.
- b) El número de serie que ya viene dado de fábrica y por ello no puede alterarse.
- c) El tipo de sistema A o B, en el que va a operar.
- d) La potencia máxima de transmisión.

e) La localización de los canales de control del sistema indicado.

f) La categoría del teléfono celular.

Las unidades móviles están conformadas de las siguientes secciones:

Unidad lógica. Esta unidad realiza cuatro funciones: Recepción y generación de datos; control completo de la unidad y la generación de tonos del tipo DTMF; la señal de aviso cuando llega una llamada; y la cuarta función es el control de las tres anteriores.

Módulo de número de serie. Contiene en memoria el número telefónico propio y el número de identificación.

Unidad de recepción. Esta diseñada para recibir cualquiera de los canales asignados en la banda de comunicación.

Sintetizador de frecuencia. Aquí se genera una señal a modular y subsecuentemente a transmitir en la frecuencia correcta para el canal asignado; también se encuentra aquí el modulador en FM y el oscilador.

Amplificador de potencia. Esta sección toma la señal completamente procesada y la amplifica lo necesario para comunicarse con el CSC, la intensidad esta controlada por la unidad lógica, quien en turno a recibido instrucciones del CSC.

Unidad duplexora. Esta unidad permite conectar tanto el receptor como el transmisor a la antena; esta es la última sección antes de la antena.

Unidad de control de alimentación. Esta sección contiene el interruptor remoto de encendido /apagado y los circuitos de protección contra sobre voltaje.

Conector múltiple. Las instrucciones en forma de voz y datos llegan al transceptor por un conector múltiple, el cual está conectado de forma en que pueda usarse como conexión a equipo de mantenimiento, diagnóstico y ajuste.

Antena de la unidad móvil. La cual radia la señal a transmitir y permite la recepción en cualquier canal de la banda de comunicación.

En la figura 17, se muestra un diagrama a bloques de las partes que forman una unidad móvil.

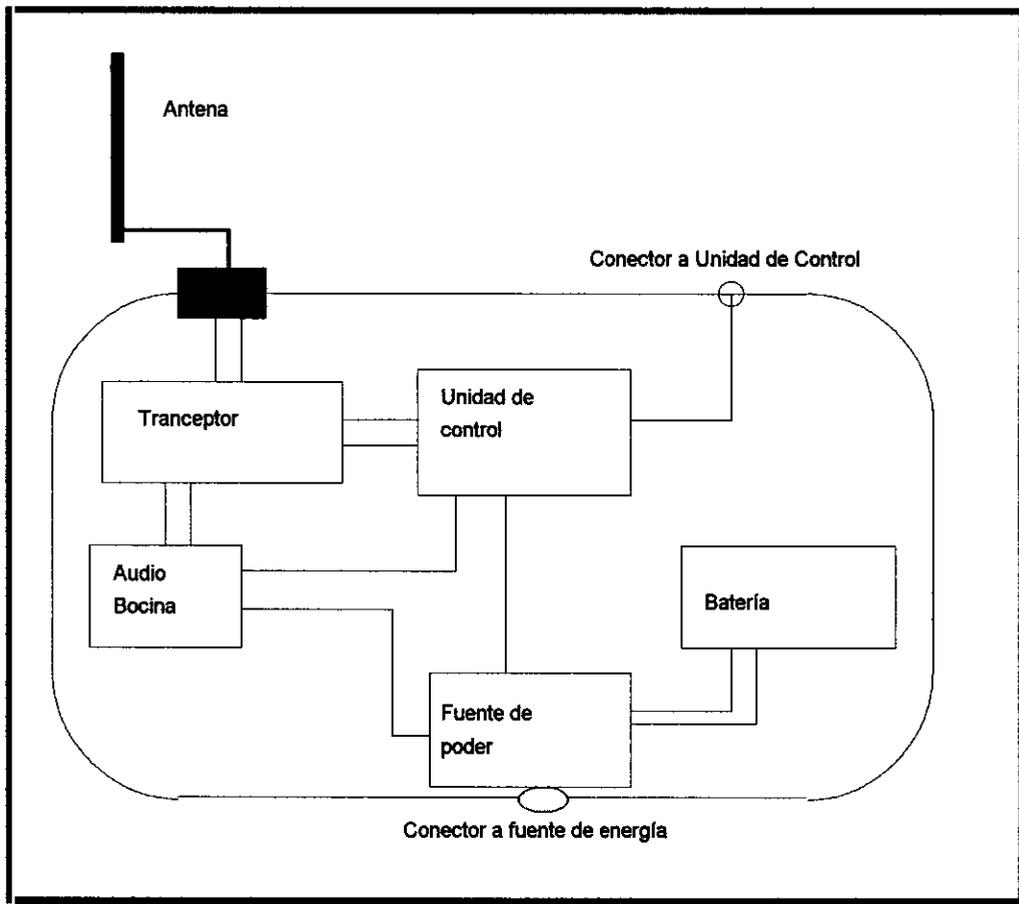


Figura 17 Partes de una Unidad Móvil

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL SIMULADOR

Con base en lo expuesto en el capítulo 1, 2 y este capítulo se desarrolló un modelo de simulación para representar a un sistema de telefonía celular "pequeño"; es decir, un servicio de telefonía celular para regiones que requieren cobertura en un radio de 30 km; con las siguientes particularidades:

- Un claustro de 7 células ideales; cada célula tiene hasta 90 canales de voz y 3 canales de señalización. El área que cubre cada célula es de 10 km de diámetro.
- El número de abonados en el sistema es variable.
- Está basado en un sistema centralizado (MTX controla todas las funciones).

- Se asume un intervalo de velocidad entre 0 km/hr y 80 km/hr, para las unidades móviles.

- El tiempo total de simulación es variable hasta 18 horas, el cual se puede fraccionar hasta en 8 intervalos diferentes de tiempo, en donde se modifica la condición del sistema (estado de los teléfonos, número de llamadas por minuto, etc.) debido a que estas cambian conforme al transcurso del día.

Por ejemplo, para 10 horas de simulación con 5 intervalos de tiempo distintos, podría representar la simulación del sistema de las 7:00 a.m. a las 5:00 p.m. con los siguientes horarios(intervalos):

1er intervalo de las 7:00 A.M. a las 8:30 A.M.

2do intervalo de las 8:31 A.M. a las 10:30 A.M.

3er intervalo de las 10:31 A.M. a las 1:00 P.M.

4to intervalo de la 1:01 P.M. a las 3:30 P.M.

5to intervalo de las 3:31 P.M. a las 5:00 P.M.

La división del tiempo de simulación en varios intervalos, es para representar de una mejor forma, el uso de teléfonos celulares en distintos horarios de un día (de labores, de descanso, etc.).

El simulador se alimenta con parámetros que se aproximan a las características conocidas del área de servicio en particular. En menos tiempo que el requerido para una prueba de campo el simulador comprueba el desempeño y rendimiento del sistema.

Algunos parámetros de alimentación del simulador son: tiempo de conversación, mezcla de tráfico, tiempo promedio de arribo de llamadas.

Las transferencias de llamadas están basadas en el nivel de señal detectado de las mismas.

Se uso una política de llamadas bloqueadas-liberadas (Erlang B) en el modelo simulación.

El cálculo de perdidas en el nivel de la señal se realiza con base en la ecuación 2, expuesta en el apartado 2.5.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES Y EVENTOS DEL MODELO:

1) UNIDAD DE TIEMPO EMPLEADA EN LA SIMULACIÓN ES: SEGUNDOS.

2) ENTIDADES QUE CONFORMAN EL SISTEMA:

- Llamada : comunicación telefónica
- Célula : área de servicio
- Unidad móvil : teléfono celular
- Red pública : sistema de telefonía convencional
- MTX : base de datos que contiene a todos los abonados del sistema y la información del sistema celular

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

3) ATRIBUTOS DE LAS ENTIDADES:

Llamada:

- tipo de llamada: Puede ser de tres tipos:
 - 1.- de la red pública a la unidad móvil.
 - 2.- de la unidad móvil a la red pública.
 - 3.- de la unidad móvil a unidad móvil.
- tiempo de duración : indica el tiempo que va a durar la llamada
- tiempo de terminación: indica el tiempo que va a finalizar la llamada
- tiempo de transferencia: indica el tiempo que va a ser transferida la llamada, si esta lo requiere
- tiempo de llegada: indica el tiempo que va a iniciar la llamada
- tipo de usuario:
 - 1.- personas que hablan durante muy poco tiempo
 - 2.- personas que hablan durante poco tiempo
 - 3.- personas que hablan durante mucho tiempo
 - 4.- personas que hablan durante demasiado tiempo
- número telefónico: indica a que teléfono celular está asociada la llamada
- velocidad: indica la rapidez de movimiento de la llamada
- intensidad de señal: potencia con que está transmitiendo

Célula:

- canales de voz: es por donde se realiza la conversación
- canales de señalización: por donde se conecta la llamada
- tamaño: indica la extensión del área de servicio que cubre la célula

- identificación: identifica el número de célula
- estado: la célula puede estar en los siguientes estados durante el día.
 - 1.- normal
 - 2.- de reintento dirigido.
 - 3.- de transferencia dirigida.
 - 4.- no disponible

Red pública:

- abonado: proporciona el estado de este, puede ser:
 - 1.- libre.
 - 2.- ocupado.
- liberación de abonado: advierte quién finaliza la llama, tiene las siguientes opciones:
 - 1.- cuelga abonado
 - 2.- indica que colgó la unidad móvil

UNIDAD MÓVIL:

- ubicación: proporciona el lugar donde se encuentra dentro del sistema
- número telefónico: es el número asociado al teléfono celular
- estado: indica se encuentra el teléfono celular, este puede ser:
 - 1.- libre
 - 2.- ocupado
 - 3.- apagado
- número de llamadas: aquí se almacena la cantidad de llamadas realizadas
- tiempo de uso: se guarda el total de tiempo que estuvo en utilización el teléfono

MTX: coordina todo el funcionamiento y contiene toda la información acerca de las células y los teléfonos que se encuentran dentro del sistema

4) ENTIDADES DINÁMICAS: Solamente tenemos dos en el modelo y son:

- Unidad móvil
- Llamadas

5) EVENTOS: Se tienen definidos tres eventos en el sistema, estos son:

- 1.- Cuando se genera una llamada
- 2.- Cuando termina una llama
- 3.- Cuando se transfiere una llamada

3.5.1 DIAGRAMAS DEL PROCESO DE COMUNICACIÓN

A continuación se presentan los diagramas de flujo genéricos de como se realizan los diferentes procesos para establecer una comunicación entre las unidades móviles y la red pública; así como, el de transferencia de llamada. Dichos diagramas están basados con lo escrito con anterioridad en este capítulo y son la base de los algoritmos de programación del programa de simulación.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA LLAMADA DEL TIPO: RED PÚBLICA - UNIDAD MÓVIL, figura 18.

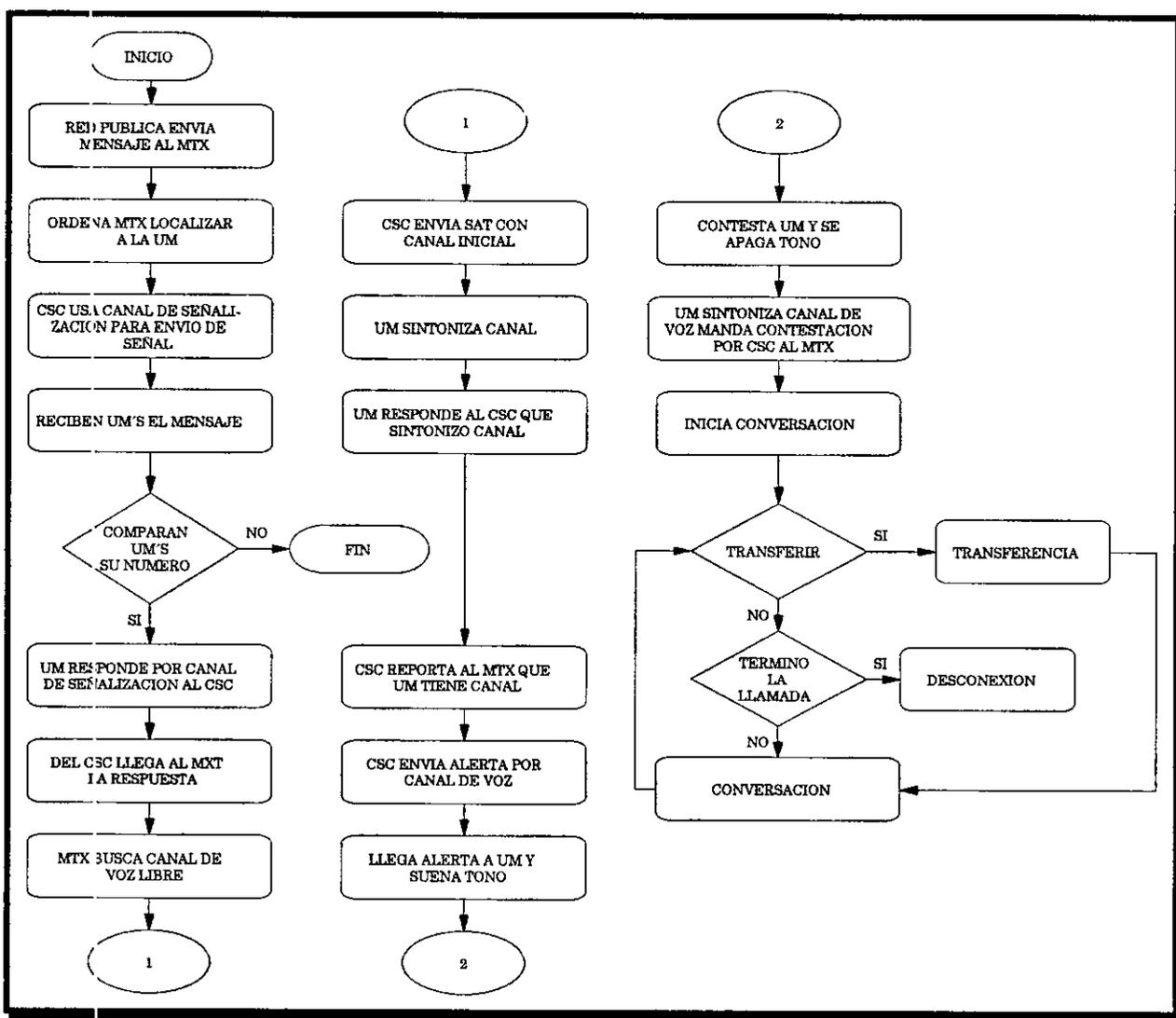


Figura 18 RED PÚBLICA - UM

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA LLAMADA DEL TIPO: UNIDAD MÓVIL. - RED PÚBLICA, figura 19.

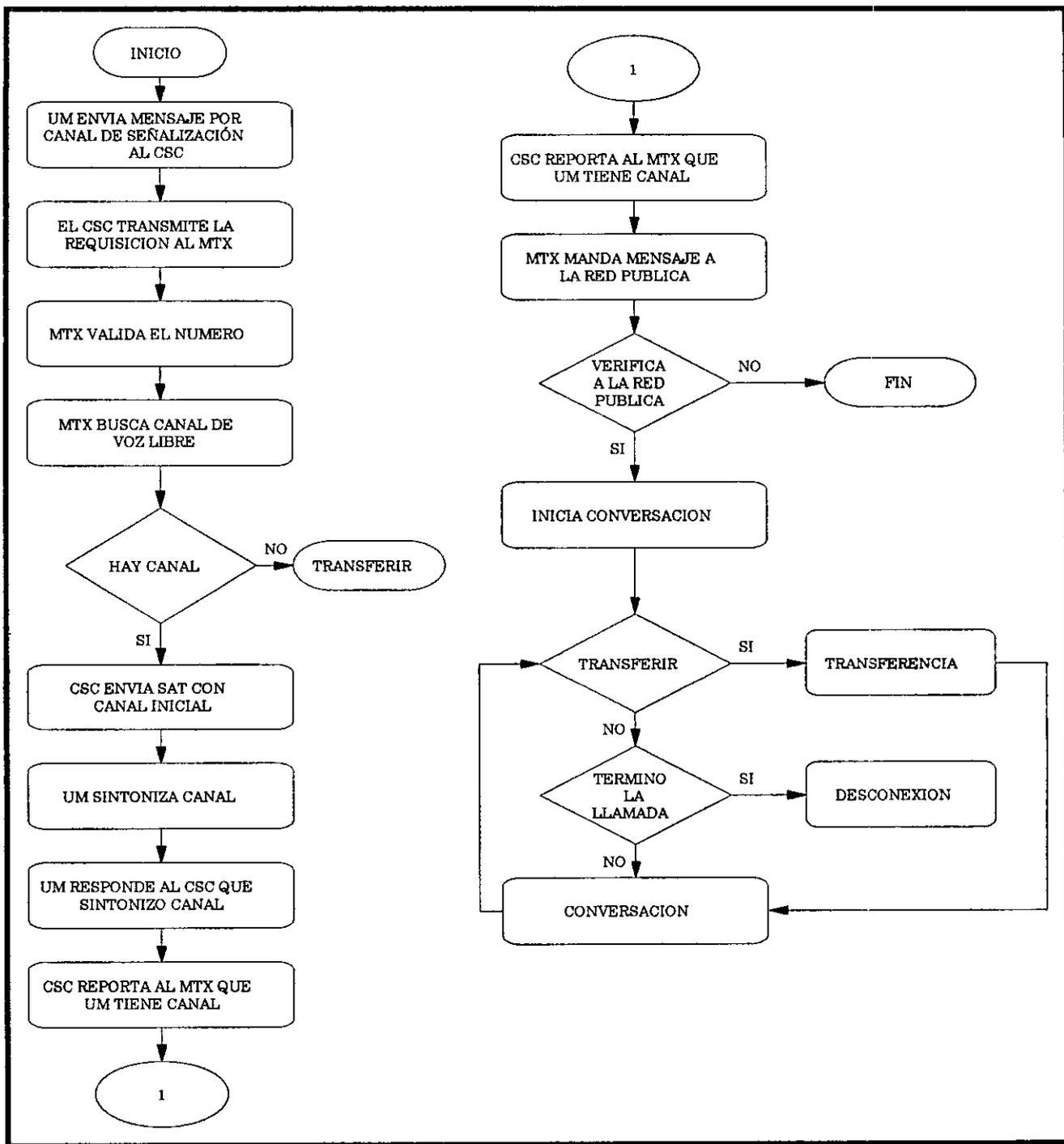


Figura 19 UM - RED PÚBLICA

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA LLAMADA DEL TIPO: UNIDAD MÓVIL. - UNIDAD MÓVIL, figura 20.

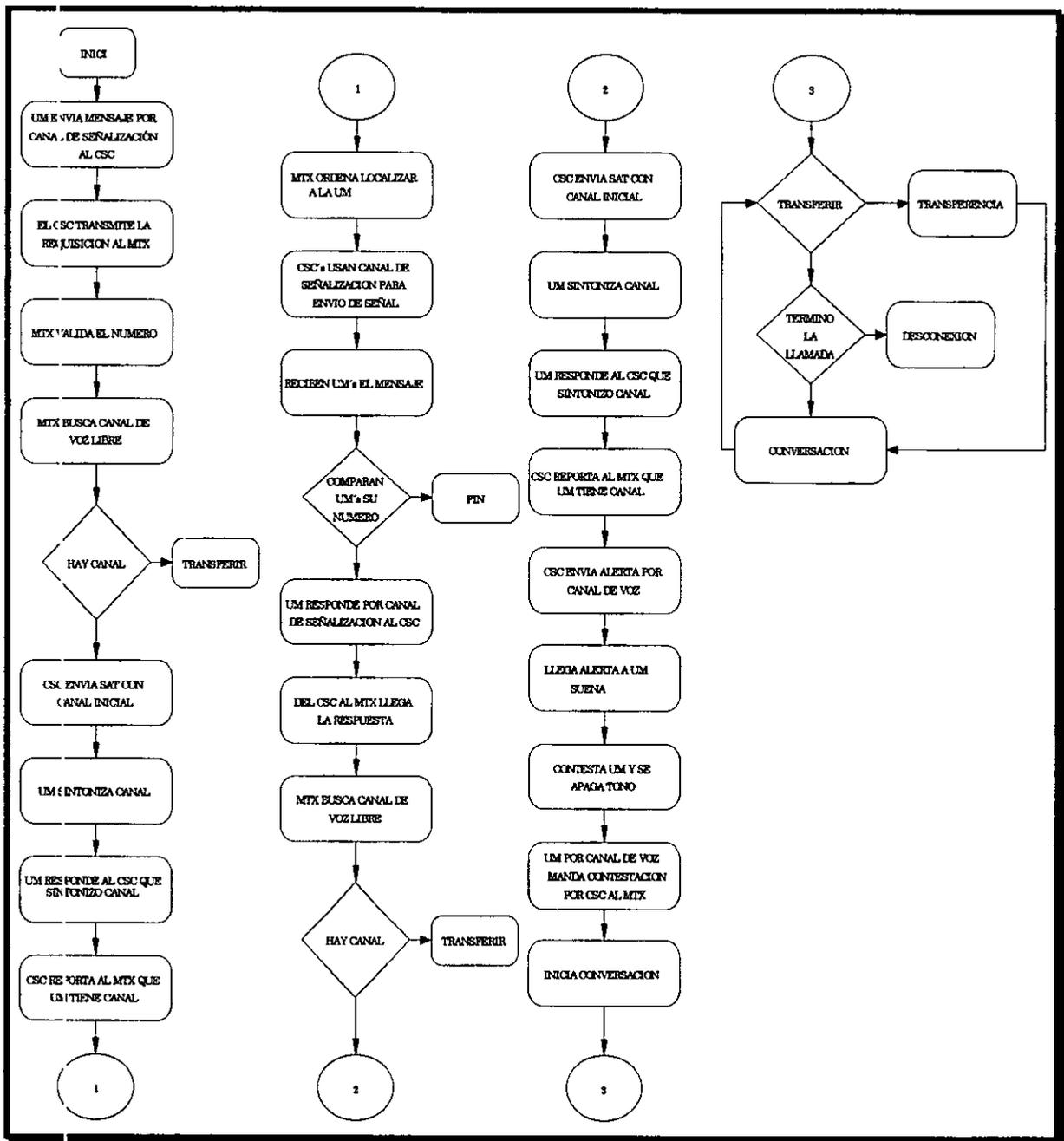


Figura 20 Unidad Móvil - Unidad Móvil

DIAGRAMA DE FLUJO DE TRANSFERENCIA DE LLAMADA, figura 21.

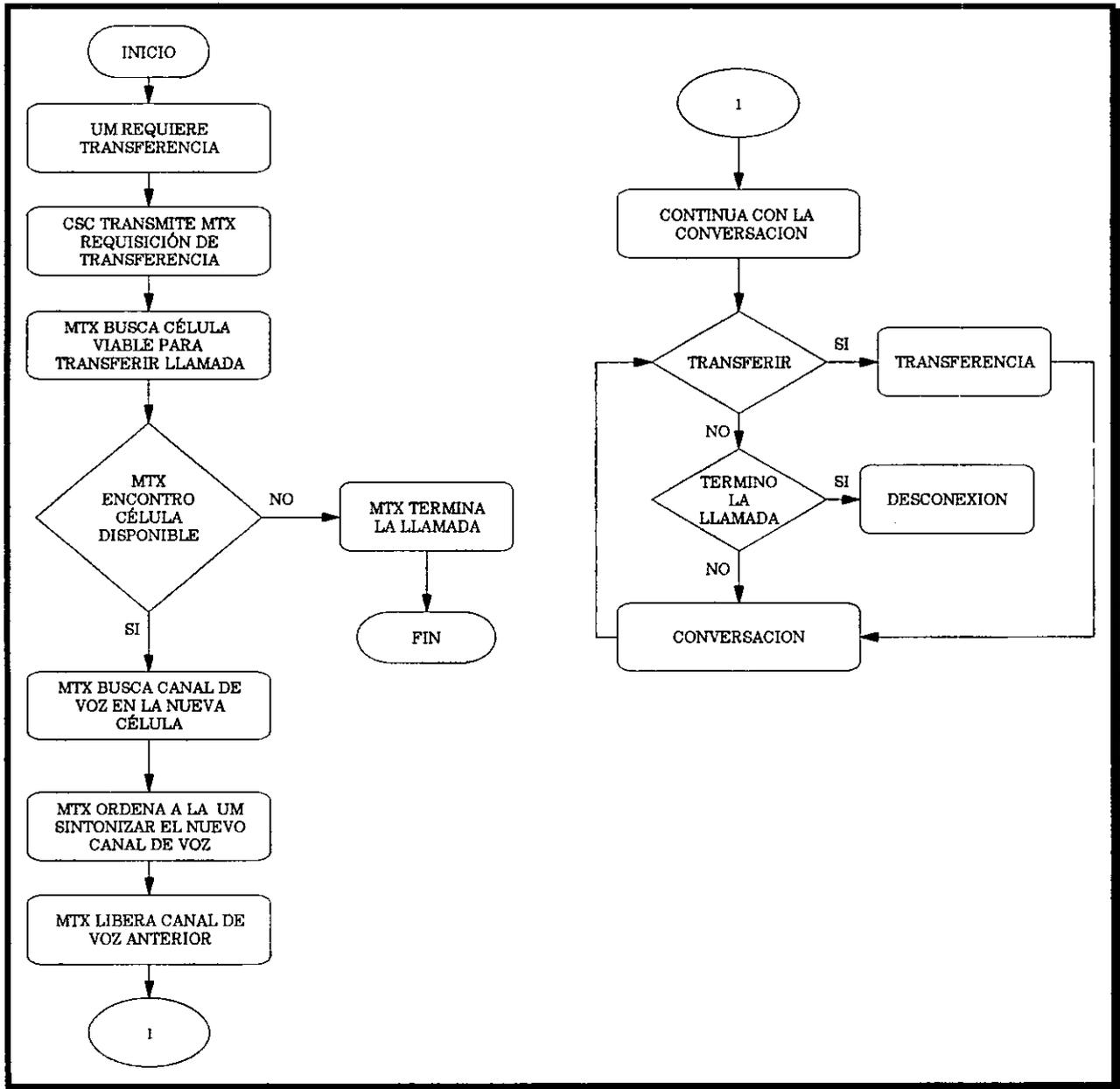


Figura 21 Transferencia de llamada (Hand-off)

3.6 MANUAL DEL USUARIO

El programa inicia con una pantalla de presentación. Posteriormente, se tiene una pantalla con cuatro menús principales y sus correspondientes submenú; como se puede ver en la siguiente figura 22.

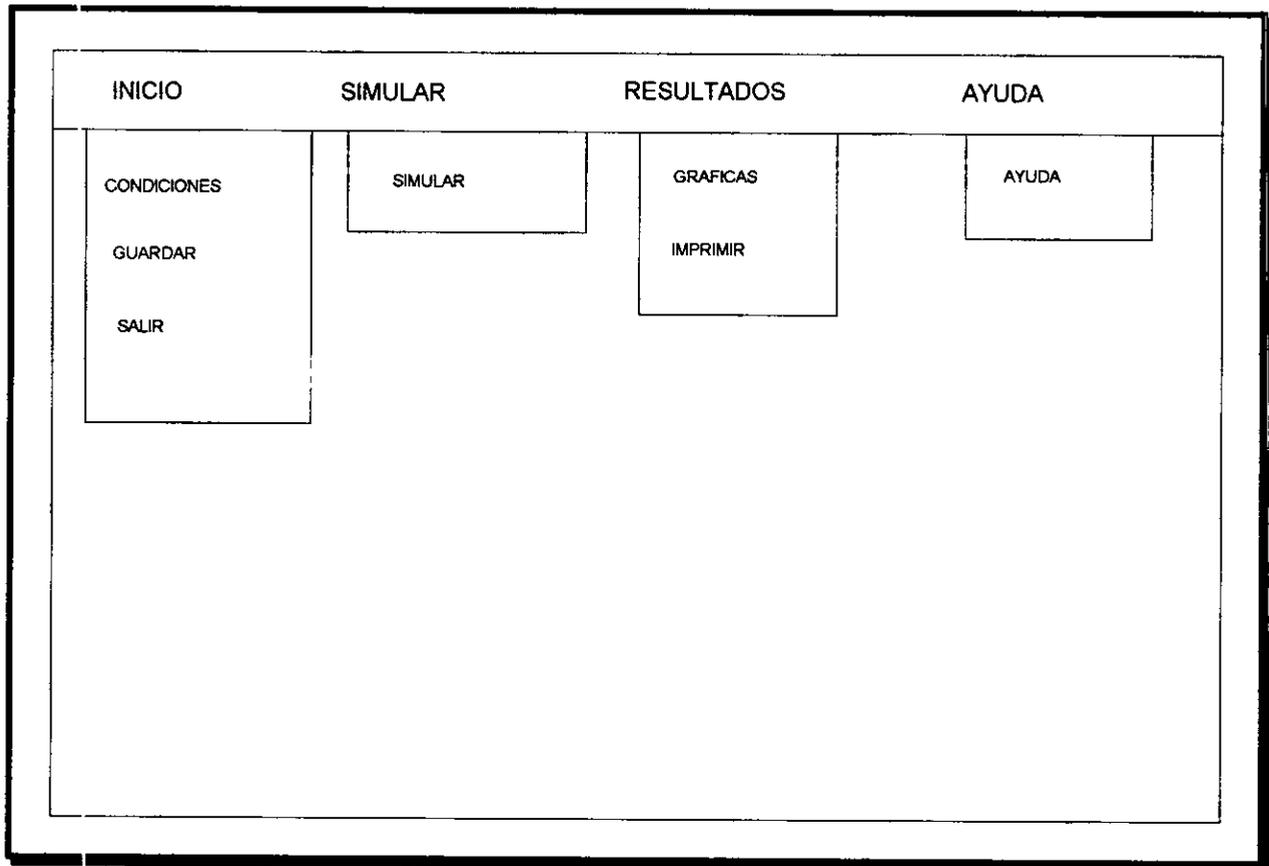


Figura 22 Pantalla principal

Menú "INICIO"

Dentro de este menú, se tienen tres opciones:

1ra. **Condiciones**; la cual, abre una ventana donde se proporcionan todos los parámetros de inicio requeridos por el simulador. Como se observa en la figura 23.

Los valores que se introducen al simulador, deben ser números reales si en la pregunta del parámetro aparece la siguiente indicación (*hr:min*); por

ejemplo, el número 1.35 significa 1 hora y 35 minutos. Si aparece otra indicación los valores deberán ser todos enteros.

INICIO	SIMULAR	RESULTADOS	AYUDA
Tiempo de simulación (hr:min) 79.30			
Cuantos intervalos de tiempo 75			
Duración (hr:min) del intervalo 1 71.30			
Duración (hr:min) del intervalo 2 72			
Duración (hr:min) del intervalo 3 70.30			
Duración (hr:min) del intervalo 4 70.20			

Figura 23 Ventana de entrada de datos

Los parámetros que se proporcionan al simulador son:

1ro. El tiempo de duración de la simulación, el cual esta limitado a 18 horas como máximo.

2do. Los intervalos en que se dividirá el tiempo de simulación; el tiempo de simulación como máximo se puede dividir en 8 intervalos y mínimo 2.

3ro. La duración de cada intervalo de simulación.

4to. El tiempo medio entre llegadas de las llamadas, para cada intervalo.

5to. Los porcentajes de llamadas de los diferentes tipos de llamadas. Siendo el tipo 1, cuando un usuario de la red pública desea comunicarse con un teléfono celular, son las de mayor porcentaje en la realidad. El tipo 2 es cuando un teléfono celular quiere establecer una comunicación con teléfono de la del red pública. Y el tipo 3, la comunicación entre teléfonos celulares.

6ro. Los tiempos de duración de los cuatro distintos tipos de llamadas. Así tenemos:

- tipo 1. Personas que hablan durante muy poco tiempo, es decir no más de tres minutos, el menor valor que se puede introducir es un minuto.
- tipo 2.- personas que hablan durante poco tiempo, son aquellos que usan el teléfono para una conversación, por ejemplo: de 2 a 4 minutos o de 3 a 7.
- tipo 3.- personas que hablan durante mucho tiempo, quienes mantienen una plática por el teléfono de unos 9, 12 ó 16 minutos.
- tipo 4.- personas que hablan durante demasiado tiempo, aquellas que tienen charlas por más de 15 minutos.

Todos estos valores introducidos se toman como la máxima duración de la llamada y como media la mitad del valor dado.

7mo. Número de canales de control (señalización) que tendrá el sistema; esta cantidad es la misma para cada célula.

8vo. Número de canales de voz que tendrá el sistema; esta cantidad es la misma para cada célula.

9no. Número de teléfonos celulares en el sistema.

2da. **Guardar**; esta opción permite almacenar en archivos de datos toda la información generada por la simulación.

Los archivos creados son los siguientes:

- ITECEL1 a ITECEL7. Donde se almacenan los parámetros del estado inicial de todos los teléfonos celulares del sistema. Estos parámetros son: el número de llamadas, tiempo de uso, número telefónico y estado (libre u ocupado).

- FTECEL1 a FTECEL7. Donde se almacena el estado final de todos los teléfonos celulares del sistema.

- EST_CEL. Contiene las estadísticas de cada célula. Llamadas hechas y su tipo, transferencias realizadas, etc..

- EST_LLA. Contiene estadísticas sobre las llamadas realizadas en cada célula.

- EST_CI y EST_CI_G. Contienen los parámetros iniciales requeridos para llevar a cabo la simulación.

Todos los archivos generados tienen la extensión ".DAT".

3ra. **Salir**, con esta opción abandonamos el simulador y retornamos al sistema operativo de la computadora.

Menú "**SIMULAR**"

Se tiene una sola opción; que lleva el mismo nombre, la cual inicia la simulación del sistema de telefonía celular y pone una pantalla, como muestra la figura 24, donde se observa el desarrollo de la simulación. El despliegue de información que podemos ver es: el tiempo de simulación (reloj), la lista de eventos futuros, un listado de los números telefónicos (correspondientes a unidades móviles) que se encuentran en ese momento usando un canal de voz por célula, y un despliegue donde se muestra el número de canales de voz y señalización ocupados, la cantidad de transferencias hechas y llamadas realizadas en cada célula.

Menú "**RESULTADOS**", se tienen dos opciones:

1ra. *Gráficas*; la cual, presenta los resultados finales de la simulación por medio de una serie de gráficas de barras en tercera dimensión, que aparecen en forma secuencial, presionando la tecla "enter". Y al término de las gráficas se despliega una pantalla con estadísticas resultantes de la simulación. Como lo muestra la figura 25. En dicha pantalla, se pueden observar los parámetros introducidos a la simulación, los resultados por cada célula, las llamadas de mayor y menor duración, los números telefónicos con más llamadas, los teléfonos más ocupados, y algunas generalidades.

El significado de las abreviaturas que muestra la pantalla de resultados, se dan a continuación:

- Lla_t1, Lla_t2 y Lla_t3 : cantidad de llamadas tipo 1, 2 y 3 respectivamente.

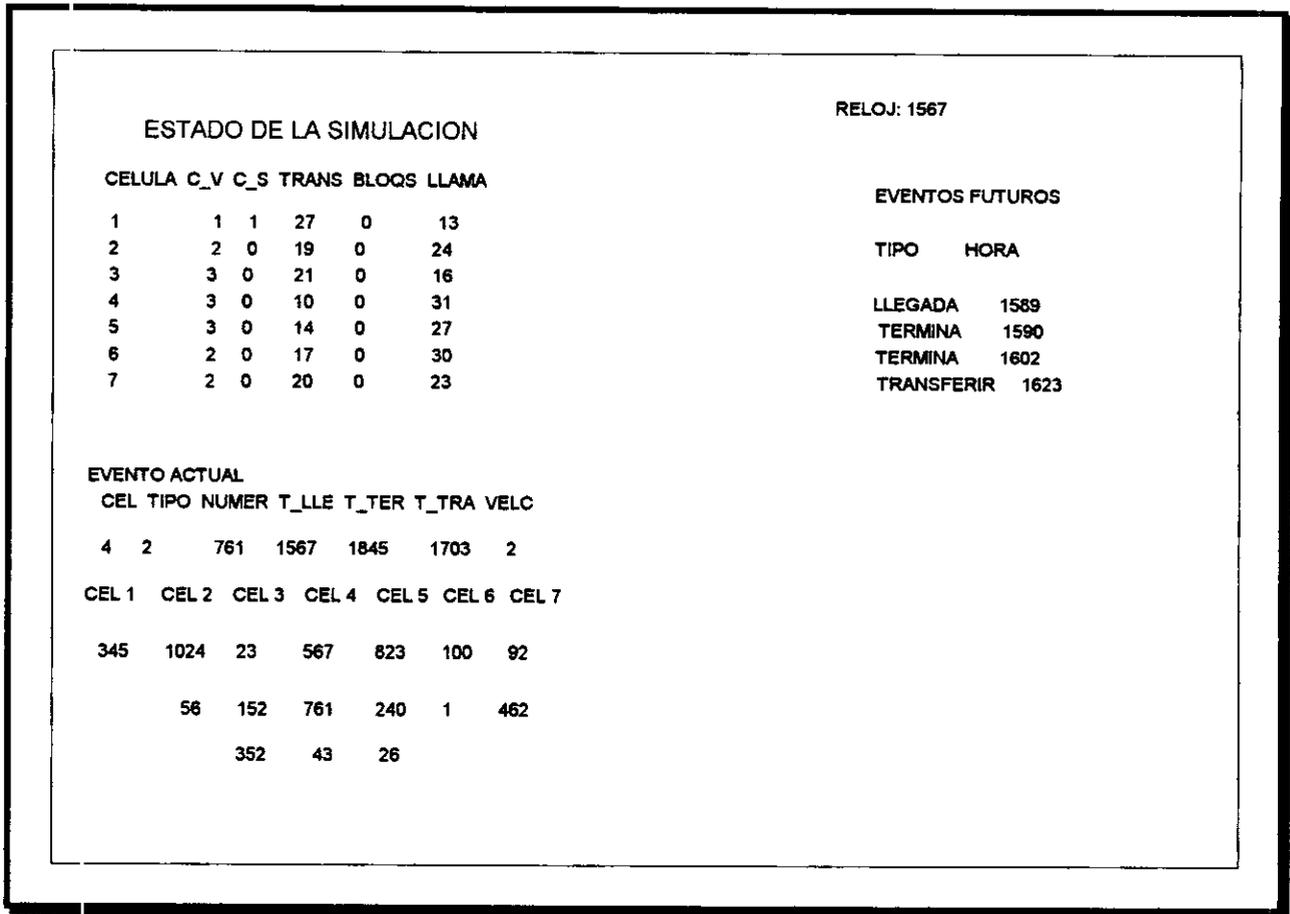


Figura 24 Desarrollo de la simulación

- TRAS: número de transferencias realizadas.
- BLO: número de llamadas bloqueadas.
- C_V y C_S: indica la cantidad de canales de voz y señalización que se tienen al final de la simulación.
- T_P_ : proporciona el tiempo medio de duración de las llamadas.
- TPLL 1 a TPLU4: muestra la duración promedio de las llamadas por tipo de usuario.
- TELEF: es el número asociado a un teléfono celular.
- LMa_D: muestra el tiempo de duración en segundos la llamada mas " larga " .

RESULTADOS DE LA SIMULACION												
CEL	LLA_11	LLA_12	LLA_13	TRAS	BLO	C_V	C_S	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
CELULA	LMa_D	TELEF	LMe_D	TELEF	CONDICIONES INICIALES							
1					T_M_LLE(s)							
2					LLAMA_t(%)							
3					DUR_LLAMA(min)							
4					T_SMu(Hr:min)							
5					INTERVALOS y							
6					DURA (Hr:min)							
7												
CELULA	TELEF	No_LI	TELEF	T_OCUP	GENERALIDADES							
1					No. C_VOZ							
2					No. C_SEN							
3					No. Telefonos							
4												
5												
6												
7					No. TOL_LLA							

Figura 25 Pantalla de resultados finales

- LMe_D: muestra el tiempo de duración en segundos la llamada mas " corta " .
- No_LI : da la cantidad de llamadas hechas por un solo teléfono celular.
- T_OCUP: es el tiempo de ocupación de un teléfono celular.

2da. **Imprimir**, permite imprimir los resultados obtenidos de la simulación. Los mismos valores que se ven en la pantalla de resultados son los que se imprimen.

Menú "**AYUDA**"

Dentro de este menú se tiene una sola opción: ayuda. La cual despliega una ventana con información a cerca del manejo del programa, que

pretende dar al usuario una fuente de consulta básica para el mejor aprovechamiento y comprensión del simulador. En la figura 26, muestra como se observa la ventana de ayuda dentro del programa.

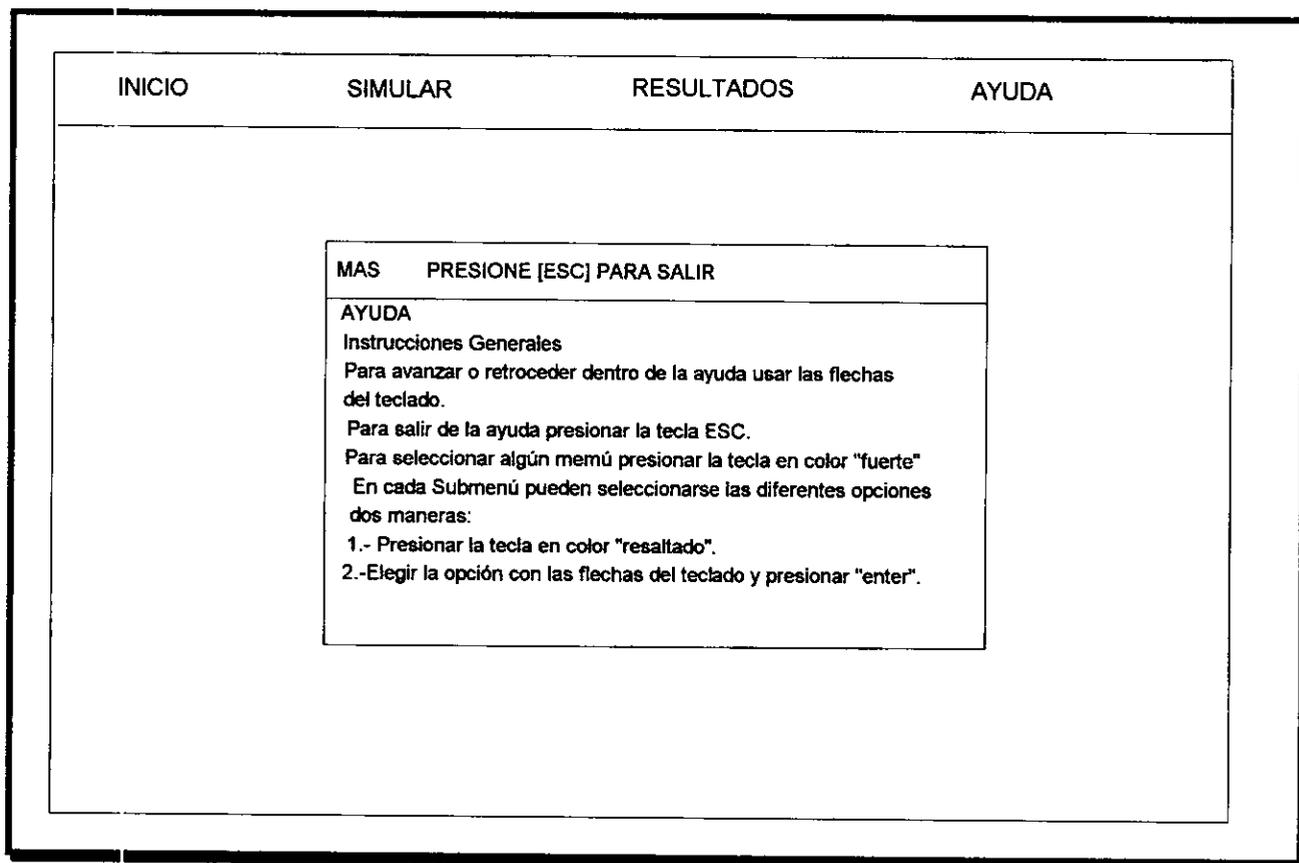


Figura 26 Pantalla de ayuda

CONCLUSIONES

Para determinar las conclusiones de este trabajo se realizará un análisis de los resultados entregados por el programa de simulación; así como, de la validación del modelo de simulación.

A continuación se presentan varias pruebas realizadas al modelo de simulación:

PRUEBA 1. Las condiciones iniciales en esta prueba son constantes durante todo el proceso de simulación, esto para corroborar que los datos de salida no fueran distintos de los esperados, con base en los datos de entrada y cálculos analíticos.

Condiciones iniciales:

- tiempo de simulación : 9hrs.
- intervalos de tiempo : 3
- duración de cada intervalo : 3hrs.
- tiempo medio entre llegadas para cada intervalo : 14s
- porcentaje de llamadas tipo 1,2,3 : 59,29,12
- duración de llamadas por tipo de usuario : 4min.
- teléfonos en el sistema : 250
- número de canales de voz : 20
- número de canales de control : 2

Con estos datos de entrada se realizaron 3 ejecuciones del programa de simulación, obteniendo los siguientes resultados:

1ra. EJECUCIÓN:

CEL	Lla_11	Lla_12	Lla_13	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa_D
1	36	33	24	39	0	113	113	89	132	122	263
2	98	49	35	61	0	123	128	126	115	120	250
3	140	67	42	87	0	119	115	122	122	118	240
4	164	71	70	95	0	119	117	127	110	120	263
5	459	211	180	237	0	117	116	120	117	114	297
6	376	172	161	212	0	122	124	124	118	122	286
7	43	12	12	36	0	113	108	108	111	126	229

2da. EJECUCIÓN

CEL	Ua_t1	Ua_t2	Ua_t3	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa_D
1	39	22	15	19	0	115	120	118	119	108	221
2	74	44	47	46	0	121	129	122	115	120	281
3	128	76	55	74	0	120	118	123	118	121	299
4	178	88	79	95	0	117	120	114	117	116	283
5	465	202	191	204	0	120	122	123	119	118	258
6	385	202	165	176	0	123	131	118	122	120	272
7	51	27	22	29	0	118	127	116	111	119	286

3ra. EJECUCIÓN

CEL	Ua_t1	Ua_t2	Ua_t3	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa_D
1	49	26	17	31	0	112	118	98	111	122	218
2	118	67	36	58	0	116	125	114	111	114	261
3	141	60	49	68	0	121	122	122	119	120	275
4	205	85	65	82	0	121	124	121	117	120	265
5	420	166	149	194	0	120	121	118	121	120	263
6	421	190	122	168	0	121	123	121	119	120	299
7	47	19	19	34	0	108	112	105	105	106	293

Para $N_c = 20$ y suponiendo una $P_b = 2\%$, de tablas obtenemos que la carga $A = 13.2$ erlangs que soportará cada célula.

Observando las ejecuciones tenemos, para:

1ra. La mayor carga presente está en la célula 5 con 3.09 erlangs.

2da. La mayor carga presente está en la célula 5 con 3.15 erlangs.

3ra. La mayor carga presente está en la célula 5 con 2.65 erlangs.

Estos resultados son validos, debido a que el sistema con los datos de entrada tiene mayor capacidad. Por otra parte, no debe haber llamadas bloqueadas, como se pude probar en los resultados obtenidos.

Con los datos de entrada se espera que el tiempo promedio de duración de las llamas sea de 120 s, de las ejecuciones resultaron los siguientes valores promedio de duración: 118, 119 y 117 para la 1ra., 2da., y 3ra. respectivamente, los cuales se pueden considerar muy aceptables. La duración máxima que puede tener una llamada es de 300 s, según los datos de inicio, de las ejecuciones se obtiene que ninguna llamada excedio este límite.

Para el tiempo de simulación dado se esperan tener más de 2314 llamadas, resultando: 2455, 2555 y 2471 para la 1ra., 2da., y 3ra. respectivamente, los cuales son validos.

PRUEBA 2. Las condiciones iniciales en esta prueba fueron para probar que si se exceden los parámetros en las condiciones de entrada, los resultados no fueran disparados (absurdos).

Condiciones iniciales:

- tiempo de simulación : 1 hr.
- intervalos de tiempo : 2
- duración de cada intervalo : 23min. y 37 min.
- tiempo medio entre llegadas para cada intervalo : 10 y 4s
- porcentaje de llamadas tipo 1,2 y 3 : 40, 35 y 25
- duración de llamadas por tipo de usuario 1 al 4 : 6, 10, 14 y 20min.
- teléfonos en el sistema : 150
- número de canales de voz : 5
- número de canales de control : 2

Resultados de la ejecución :

EJECUCIÓN

CEL	Ll _a _t1	Ll _a _t2	Ll _a _t3	TRAS	BLO	T P L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LM _a _D
1	9	5	6	22	1	345	170	346	350	622	901
2	14	13	8	34	9	398	157	299	395	546	993
3	18	12	9	36	9	385	200	279	402	609	981
4	19	7	23	39	7	309	158	239	381	630	967
5	18	17	10	36	27	388	173	289	416	562	1074
6	19	10	19	43	18	419	217	318	388	628	834
7	10	7	12	39	4	346	177	335	291	563	967

Para $N_c = 5$ y suponiendo una $P_b = 2\%$, de tablas obtenemos una carga de 1.66 erlangs que soportará cada célula.

Calculando la carga, para la:

- Célula 1 A = 1.91 erlangs
- Célula 2 A = 3.86 erlangs
- Célula 3 A = 4.17 erlangs
- Célula 4 A = 4.2 erlangs
- Célula 5 A = 4.85 erlangs
- Célula 6 A = 5.58 erlangs
- Célula 7 A = 2.78 erlangs

Estos valores son validos, debido a que el sistema con los datos de entrada tiene baja capacidad. Por otra parte, debe haber llamadas bloqueadas; la carga de tráfico en todas las células y el porcentaje de

llamadas bloqueadas se excede, como se puede probar en los resultados obtenidos.

Con los datos de entrada se espera que el tiempo promedio de duración de las llamadas por tipo de usuarios sean de: 180 s, 300 s, 420 s, y 600 s, de la ejecución resultaron los siguientes valores promedio de duración: 178 s, 300 s, 374 s, y 594 s para usuarios tipo 1 al 4 respectivamente, los cuales se pueden considerar válidos. La duración máxima que puede tener una llamada es de 1200 s, según los datos de inicio, de la ejecución se obtiene que ninguna llamada excedió este límite, la llamada con mayor duración - 1074 -, se efectuó en la célula 6.

PRUEBA 3. Las condiciones iniciales en esta prueba son variables y pretende mostrar un sistema que está excedido en su capacidad de carga de tráfico; como se mejora, a través de la simulación.

Condiciones iniciales:

- tiempo de simulación : 5hrs.
- intervalos de tiempo : 4
- duración de cada intervalo (hr:min) : 1:00, 2:45, 0:50 y 0:25
- tiempo medio entre llegadas para cada intervalo : 23, 10, 9 y 15s
- porcentaje de llamadas tipo 1,2 y 3 : 40, 30 y 25
- duración de llamadas por tipo de usuario 1 al 4 : 2, 6, 10 y 19 min.
- teléfonos en el sistema : 250
- número de canales de voz : 20
- número de canales de control : 2

Resultados de la ejecución :

EJECUCIÓN

CEL	Ll _a 1	Ll _a 2	Ll _a 3	TRAS	BLO	T P L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa D
1	16	10	13	28	0	225	60	139	234	512	1066
2	31	25	34	48	0	253	61	176	280	577	936
3	47	28	47	53	0	288	65	171	301	544	972
4	35	23	53	57	0	266	66	199	280	557	872
5	107	60	96	102	0	297	64	176	303	609	991
6	80	61	113	88	0	262	58	176	284	596	1133
7	13	7	14	27	0	211	63	180	244	652	921

Para $N_c = 20$ y suponiendo una $P_b = 2\%$, de tablas obtenemos que la carga $A = 13.2$ erlangs que soportará cada célula.

Calculando la carga, para la:

Célula 1 A = 0.48 erlangs

Célula 2 A = 1.26 erlangs

Célula 3 A = 1.95 erlangs

Célula 4 A = 1.64 erlangs

Célula 5 A = 4.33 erlangs

Célula 6 A = 3.69 erlangs

Célula 7 A = 0.39 erlangs

Observando los resultados podemos decir que este sistema está excedido en su capacidad de diseño; en la célula 6 que tiene la mayor carga no llega a la tercera parte de su capacidad que tiene esta y las demás células; por lo tanto, buscando en tablas con la misma probabilidad de bloqueo y la carga mayor presentada, se encuentra el nuevo número de canales de voz para el sistema y se tenga un mejor aprovechamiento del sistema.

Así, en tablas con 4.33 erlangs y 2 % de llamadas bloqueadas encontramos : $N_c = 10$.

Realizando una ejecución del programa con $N_c = 10$ y los demás valores de inicio iguales, se obtuvieron los siguientes resultados:

EJECUCIÓN

CEL	Ua_f1	Ua_f2	Ua_f3	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa D
1	5	11	17	26	0	244	52	175	229	629	974
2	22	25	25	38	0	275	57	188	264	668	882
3	45	23	22	48	0	252	57	168	279	521	837
4	43	26	50	55	0	228	60	177	260	548	980
5	115	64	122	120	3	280	64	185	310	560	1078
6	113	65	102	117	0	251	65	168	301	541	946
7	16	12	13	33	0	249	62	168	243	691	849

Calculando la carga, para la:

Célula 1 A = 0.43 erlangs

Célula 2 A = 1.1 erlangs

Célula 3 A = 1.26 erlangs

Célula 4 A = 1.5 erlangs

Célula 5 A = 4.68 erlangs

Célula 6 A = 3.9 erlangs

Célula 7 A = 0.56 erlangs

Observando estos resultados, se encuentra que la célula 5 excede la capacidad de carga calculada y tiene tres llamadas bloqueadas, aunque no

representan el 1 % de probabilidad de llamadas bloqueadas ésta situación no debe presentarse en el sistema. Debido a esta causa se decidió realizar otra ejecución del programa con $N_c = 12$, implicando con este valor una carga de 6.61 erlangs y las demás condiciones iniciales sin cambio. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

EJECUCIÓN

CEL	Lla_t1	Lla_t2	Lla_t3	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa_D
1	8	3	12	22	0	228	58	107	291	662	718
2	19	13	28	42	0	264	54	170	322	544	755
3	44	29	40	72	0	283	58	194	273	593	913
4	60	40	80	63	0	276	55	184	313	536	994
5	95	62	110	103	0	299	57	184	327	582	960
6	77	51	99	90	0	279	55	183	290	565	941
7	11	6	10	30	0	178	67	189	218	551	652

Calculando la carga, para la:

Célula 1 A = 0.29 erlangs

Célula 2 A = 0.88 erlangs

Célula 3 A = 1.77 erlangs

Célula 4 A = 2.76 erlangs

Célula 5 A = 4.43 erlangs

Célula 6 A = 3.51 erlangs

Célula 7 A = 0.26 erlangs

Se ve que ninguna célula excedió la carga (6.61 erlangs) y tampoco hay llamadas bloqueadas. Por lo tanto, con estos datos finales el sistema estudiado no tendrá problemas de bloqueo de llamadas, y aprovecha mejor la cantidad de canales de voz.

Los valores promedio de duración de llamadas son casi iguales en las tres ejecuciones del programa, por lo que se mantiene una consistencia en los resultados obtenidos.

PRUEBA 4. Las condiciones de inicio en esta prueba son variables y muestra un sistema con características reales en un día de descanso.

Condiciones iniciales:

- tiempo de simulación : 18 hrs.
- intervalos de tiempo : 8
- duración de cada intervalo (hr:min) : 1:45, 3:30, 1:30, 2:00, 2:30, 1:50, 1:40, y 3:15.

- tiempo medio entre llegadas para cada intervalo : 27, 19, 8, 12, 7, 15, 30, y 36 s
- porcentaje de llamadas tipo 1,2 y 3 : 60, 27 y 13
- duración de llamadas por tipo de usuario 1 al 4 : 1, 4, 9 y 18 min.
- teléfonos en el sistema : 1000
- número de canales de voz : 56
- número de canales de control : 3

EJECUCIÓN

CEL	Ll_a_t1	Ll_a_t2	Ll_a_t3	TRAS	BLO	T_P_L	TPLU1	TPLU2	TPLU3	TPLU4	LMa_D
1	70	32	24	101	0	154	29	107	232	538	862
2	170	71	64	110	0	220	32	122	265	527	1025
3	217	82	63	129	0	235	38	111	258	541	1054
4	188	86	88	138	0	242	31	130	271	546	1060
5	347	180	177	211	0	269	32	128	289	528	1004
6	330	151	158	210	0	253	31	120	282	539	1054
7	82	34	38	99	0	153	28	115	212	432	922

Para $N_c = 56$ y suponiendo una $P_b = 2\%$, de tablas obtenemos que la carga $A = 45.9$ erlangs que soportará cada célula.

Calculando la carga, para la:

- Célula 1 $A = 0.29$ erlangs
- Célula 2 $A = 1.03$ erlangs
- Célula 3 $A = 1.31$ erlangs
- Célula 4 $A = 1.35$ erlangs
- Célula 5 $A = 2.29$ erlangs
- Célula 6 $A = 2.49$ erlangs
- Célula 7 $A = 0.36$ erlangs

Observando los resultados, claramente se nota que el sistema está sobrado con respecto a su carga de tráfico, esto implica que no debe haber llamadas bloqueadas.

La duración máxima que puede tener una llamada es de 1080 s, según los datos de inicio, de las ejecuciones se obtiene que ninguna llamada excedió este límite.

Los valores esperados de duración promedio de las llamadas con respecto al tipo de usuario son consistentes. Con los datos de entrada se espera que el tiempo promedio de duración de las llamadas sean de 30 s, 120 s, 270 s, y 540 s; la ejecución proporciona los siguientes valores promedio de

duración: 30 s, 119 s, 258 s, y 521 para los usuarios del tipo 1 al 4. respectivamente, los cuales se pueden considerar validos.

En todas las pruebas realizadas, el grado de servicio tomaco en cuenta para calcular y buscar la carga de tráfico es del 2 %, debido a que este valor indica un buen servicio para los usuario de sistemas de telefonía celular.

Con base en los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas se puede concluir que el modelo de simulación desarrollado es valido y representa a un sistema de telefonía celular. Así mismo, el objetivo planteado al inicio de este trabajo y la inquietud de aplicar la Investigación de Operaciones al área de las Telecomunicaciones - en particular una herramienta como la simulación digital - están logrados.

El programa de simulación permite observar, algunas de las características, tales como: el comportamiento del tráfico, la velocidad de unidades móviles, etc., de un sistema de telefonía celular. El programa es amigable para el usuario y de fácil manejo.

El modelo manipula al sistema de muchas formas; mantener constantes las condiciones de inicio, cambiar el comportamiento de las llamadas, ect.. Obtiene resultados que permiten ayudar para el mejoramiento del sistema en estudio y prever situaciones.

Este trabajo de tesis, también puede ser empleado como texto de apoyo para un curso, donde se estudie el tema de sistemas celulares de telecomunicación.

El modelo de simulación aunque se realizo es para resolver dificultades especificas, su filosofía de construcción permite crecer en sus procesos y funciones de software, de tal forma que sus partes puedan ser empleadas para la resolución de otros problemas totalmente diferentes, al estudiado en este trabajo. De igual modo, las rutinas programadas pueden considerarse como una ampliación del lenguaje de programación.

Este modelo puede extenderse para estudios de tráfico de comunicaciones; como puede sucede en la red de telefonía pública, ya sea la comunicación por cable o fibra óptica; también para analizar las perdidas en enlaces por medio de microondas en la transmisión de datos o voz.

GLOSARIO DE
TERMINOS Y
ABREVIATURAS

GLOSARIO

Abonado(s) ➤ Usuario de un sistema telefónico.

Ancho de banda ➤ Gama de frecuencias, por ejemplo la voz humana.

Antena(s) ➤ Dispositivo para la captación o emisión de radiaciones electromagnéticas.

Atributo ➤ Denota una propiedad de las entidades.

Célula(s) ➤ Área de servicio en un sistema de telefonía celular.

Clau:stros ➤ Grupo de células agrupadas de manera distribuida dentro de un sistema de telefonía celular.

Cobertura ➤ Zona donde se presta algún tipo de servicio de telecomunicaciones.

Comunicación ➤ Es el proceso por el que el individuo transmite estímulos para influir en los demás.

Conmutador ➤ En telefonía celular, es la conexión a través de un interruptor, entre la RPT y la EB.

Decibel ➤ Unidad de medida para expresar la intensidad de un sonido.

Dinámico ➤ Algo que cambia con el tiempo.

Entidad ➤ Es un elemento que conforma a un sistema en estudio.

Erlang ➤ Unidad de medida de tráfico telefónico; representa un circuito ocupado por un lapso de una hora.

Espacio libre ➤ Es el medio ambiente que nos rodea.

Espectro de frecuencias ➤ Representación y ordenación de las ondas electromagnéticas.

Estático ➤ Algo que no sufre cambio que permanece en un mismo estado.

Estocástico ➤ Algo que es aleatorio.

Evento ➤ Es un suceso que puede o no, producir cambios en un sistema.

Frecuencia ➤ Número de ciclos completos que tiene una onda.

Ganancia de una Antena ➤ Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en un cierto punto y la densidad de potencia radiada en el mismo punto por una antena de referencia. Normalmente la antena de referencia es una antena que radia la misma cantidad de energía en todas las direcciones.

Hand-Off ➤ Es el proceso de transferir el control de una llamada de una célula "A" a una célula "B", sin afectar la calidad de la señal.

Hertz ➤ Unidad de medida para la frecuencia. Un hertz es un ciclo por segundo.

Método ➤ Procedimiento para alcanzar un determinado objetivo o fin.

Microondas ➤ Son ondas electromagnéticas que tienen una frecuencia que va desde los 1×10^9 hasta los 1×10^{12} Hz, de muchas aplicaciones en las telecomunicaciones.

Modelo ➤ Es la representación de una idea, objeto o sistema.

Ondas electromagnéticas ➤ Es una perturbación vibratoria producida por la variación simultánea de los campos eléctrico y magnético.

Optimización ➤ Método para determinar los valores de las variables que hacen el rendimiento de un proceso o un sistema se máximo o mínimo.

Rociming ➤ Posibilidad de usar un teléfono celular en otro sistema distinto al que se encuentra suscrito dicho teléfono.

Simulación ➤ Es una técnica experimental para resolver problemas que permite tener un modo efectivo de probar, manejar y evaluar un sistema propuesto sin tener acción directa sobre el.

Telefonía celular ➤ Es un servicio de comunicación.

Tráfico ➤ Llamadas en progreso.

Zonas geográficas autónomas ➤ Es una área de terreno que dispone de un algún servicio de telecomunicación.

ABREVIATURAS

CC	Canal de Control
CCS	Cien Segundos de Llamada
CMC	Controlador Central de Mensaje
CPU	Unidad Central de Proceso
CSC	Controlador Computarizado de Zona
CV	Canal de Voz
dB	Decibel
EB	Estación Base
GHz	giga hertz = 1×10^9 hertz
HDLC	Control de Alto Nivel para Enlace de Datos
Hz	Hertz
IdO	Investigación de Operaciones
Mhz	mega hertz = 1×10^6 hertz
MTX	Central Telefónica Móvil
RF	Radio Frecuencia
RPT	Red Pública Telefónica
RSSI	Indicador de Intensidad de Señal Recibida
Rx	Receptor
s	segundo
SAT	Tono Supervisor de Audio
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Tx	Transmisor
UM	Unidad Móvil
W	Watt

ANEXOS

A1.. LISTADO DE PROGRAMA

A2.. TABLAS ERLANG B

A1. LISTADO DE PROGRAMA

UNIT GTIPO;

INTERFACE

{DEFINICION DE LAS CONSTANTES UTILIZADAS EN LA SIMULACION}

const

canales_de_senalizacion1 = 5; {numero maximo de canales de control por celula}

canales_por_celula1 = 90; {numero de canales de voz maximo de las celulas}

num_de_celulas = 7; {numero de celulas del sistema}

{EN EL SIGUIENTE BLOQUE DE TIPOS SE DEFINEN LAS ENTIDADES QUE SE USAN EN LA SIMULACION}

type

lista_telefonos = ^tel; {contiene la lista de telefonos del sistema celular}

tel = record

ubicacion: byte;

num_telefonico : word;

estado : byte;

num_de_llamadas : byte;

tiempo_de_uso : word;

next : lista_telefonos;

end;

V_tel = array [1..num_de_celulas] of lista_telefonos; {este vector contiene la lista }
{ telefonos en cada celula}

Evento = ^evento_fu; {esta variable es para crear la cola de eventos futuros}

evento_fu = record

tiempo : word;

tipo : byte;

num:word;

next : evento;

end;

llamada = ^llamada;

Llamada = record

tipo : byte; { proporciona el tipo de llamada que se generan en el sistema, asi tenemos: }

{ 1 = llamada de Celular a la red publica }

{ 2 = llamada de la red publica a Celular }

{ 3 = llamada de la unidad movil a unidad movil }

usuario : byte; {proporciona el tipo de usuario}

t_duracion : word; { indica el tiempo que va a durar la llamada }

intensidad : word; { indicador para la transferencia de llamada es el nivel de seaal}

t_llagada : word; {tiempo en se genera la llamada}

t_terminacion : word; {tiempo en que termina la llamada}

num_tel_aso:word;{confiene en numero del telefono que esta haciendo la llamada}

velocidad:byte;

t_transferir:word;

next : llama;

end;

V_llamada = array [1..num_de_celulas] of llama;

```

Celula = record
    tamaño : byte; { indica la extensión del área de servicio que cubre la célula }
    identificación : byte; { identifica el número de célula }
    estado : byte; { proporciona el estado de la célula para posibles transferencias de llamadas,
    estos son: }
        { 1 = estado normal }
        { 2 = " de reintento dirigido }
        { 3 = " " transferencia dirigida }
        { 4 = " no disponible }
    canal_de_voz : array [1.. canales_por_celula] of byte; { indica el número de canales de voz que
    tiene la célula }
    canal_de_senalizacion : array [1.. canales_de_senalizacion] of byte;
        {indica el número de canales de señalización de la célula }
end;

V_celulas = array [1..num_de_celulas] of Celula;

Red_publica = record
    telefono : boolean; { indica el estado del abonado de la red pública }
        { true = indica que está libre }
        { false = " " " ocupado}
    liberacion : boolean; { indica quien se desconecta }
        { true = cuelga abonado }
        { false = cuelga la unidad móvil }
end;

Celula_estadisticas = record { esta variable permite almacenar información de las células}
    llamadas_atendidas : word;
    llamadas_tipo:array[1..3] of word;
    dura_ll_tipo_u:array[1..4] of longint;
    llamadas_u_tipo:array[1..4] of word;
    tiempo_ocupada : longint;
    num_transferencias: word;
    num_bloqueos:word;
    canal_voz:byte;
    canal_sena:byte;
end;

V_celula_estadisticas = array [1..num_de_celulas] of celula_estadisticas;

Llama_estadisticas = record
    llama_max:word;
    llama_min:word;
    tel_min:word;
    tel_max:word;
end;

V_llama_estadisticas = array [1..num_de_celulas] of Llama_estadisticas;

Tel_estadisticas = record
    tel_mas_llama : word;
    n_llama : byte;
    tel_mas_ocupa : word;
    t_ocupa : word;
end;

V_Tel_estadisticas = array [1..num_de_celulas] of Tel_estadisticas;

```

Condiciones_iniciales = record {esta variable permite almacenar los
parametros de inicio}

```
intervalos:byte;
duracion_intervalo: array [1..8] of word;
t_medio_entre_llegadas : array [1..8] of byte;
porcentaje_llamadas : array [1..3] of byte;
dura_llama_tipo_usu : array [1..4] of byte;
enc;
```

```
Carga_celulas = record
  Carga_c : array [1..72] of word;
end;
```

```
V_carga_celulas = array [1..num_de_celulas] of carga_celulas;
```

```
Duracion_intervalos = array [1..8] of word;
P_intervalos = array [1..8] of byte;
```

```
{archivo de telefonos}
arch_celulares = file of lista_telefonos;
E_arch_celulares = array [1..num_de_celulas] of arch_celulares;
```

```
{archivo de celulas}
arch_celula_estadisticas = file of celula_estadisticas;
E_arch_celula_estadisticas = array [1..num_de_celulas] of arch_celula_estadisticas;
```

```
{archivo de condiciones iniciales}
arch_Condiciones_iniciales = file of Condiciones_iniciales;
arch_C_i_Generales = file of word;
```

```
{archivo de llamadas}
arch_llama_estadisticas = file of llama_estadisticas;
E_arch_llama_estadisticas = array [1..num_de_celulas] of arch_llama_estadisticas;
```

```
{archivo de telefonos estadisticas maximas}
arch_Tel_estadisticas = file of Tel_estadisticas;
```

{LAS SIGUIENTES VARIABLES SE USAN EN LOS DIFERENTES PROCESOS DE LA SIMULACION}
VAR

```
cabeza, cola : V_tel; {apuntadores}
tele1,tele2,tele3 : lista_telefonos; {lista de telefonos}
retj_evento,
nuevo_evento,
siguiente_evento,
cola_evento,
cabeza_evento : evento;
cabeza_llama_evento,
cola_llama_evento: V_llamada;
llamada31, llamada32 : llama;
C_i : condiciones_iniciales;
R_pub : red_publica;
t_reloj, {reloj de la simulacion}
num_tel : word;
cel_num_tel,
is:byte;
aux_num:string;
```

```

num_leido,
cod:integer;
nr:real;
t_l:char;
d_i:Duracion_intervalos;
p1:P_intervalos;
sis_celular : V_celulas; {contiene los parametros de las celulas del sistema}
Carga_e: V_carga_celulas;
llamadas_t1,llamadas_t2,llamadas_t3 : word;
esta_llama: V_Llama_estadisticas;
esta_celula : V_Celula_estadisticas;
esta_tel: V_Tel_estadisticas;
A_celulares: E_arch_celulares;
A_celulas_estadisticas :arch_celula_estadisticas;
A_Condiciones_iniciales:arch_Condiciones_iniciales;
A_C_i_Generales :arch_C_i_Generales;
A_llamadas_estadisticas: arch_llama_estadisticas;
A_Tel_estadisticas: arch_Tel_estadisticas;
t_simulacion,
canales_de_senalizacion,
canales_por_celula,
num_de_telefonos: word;

```

IMPLEMENTATION

END.

UNIT GCOMIENZ;

INTERFACE

uses crt,graph,printer,dos,GTIPO,GPRESENT;

```

function estado: byte; {crea el estado inicial de los telefonos celulares}
procedure inicia_MTX;{crea el estado de inicio del sistema}
procedure incertar(i:byte;telel:lista_telefonos);{incerta un telefono en una celula}
procedure poner_celulares;{coloca un telefono en una celula}
procedure gene_edo_ini_celulas;{inicializa las celulas}
procedure lee_real(var x:real;x1,y2:integer;nt:string);{lee un numero real}
procedure lee_numero(var x:integer;x1,y2:integer;nt:string);{lee un numero entero}
procedure lee_letra(var l:string;x1,y2:integer;nt:string);{lee una cadena de caracteres}
procedure intervalos;{guarda duracion de intervalos}
procedure g_con_iniciales;{lee las condiciones iniciales de simulacion}
procedure cam_con_iniciales;{modifica las condiciones de inicio}
procedure ini_eventos;{inicializa las colas de eventos futuros}
procedure ini_estadisticas;{inicializa el vector de estadisticas de cada celula}
procedure crea_C_l;{crea y guarda archivos de condiciones iniciales}
procedure crea_archivos1; {abre archivos de todos los telefonos por celula}
procedure escribe_arch1;{graba la condicion de inicio de todos los telefonos por celula}
procedure crea_archivos2;{graba archivos de estadisticas de la simulacion}
procedure crea_archivos3;{graba estado final de todos los telefonos por celula}
procedure resul_tel;{calcula estadisticas de telefonos}
procedure imprime_telefonos;{imprime edo. de telefonos al inicio de la simulacion}
procedure imprime_telefonos2;{imprime edo. de telefonos al final de la simulacion}
procedure imprime_datos;{imprime resultados de la simulacion}
procedure prenta_resul;{presenta los resultados finales de la simulacion}

```

IMPLEMENTATION

```

{----- ESTDO -----}
function estdo: byte;
var edo: real;
begin
  edo:= random;
  if edo < 0.03 then estdo:= 0 else
    if edo < 0.98 then estdo:= 1 else
      estdo:=2;
end;

{----- MTX -----}
procedure inicia_MTX;
var i:integer;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      new(cabeza[i]);
      new cola[i];
      cabeza[i]^next := nil;
      cabeza[i]^num_telefonico := 0;
      cola[i]^next := cabeza[i];
      cola[i]^num_telefonico := 65535;
      new(cabeza_llama_evento[i]);
      new(cola_llama_evento[i]);
      cabeza_llama_evento[i]^next := nil;
      cabeza_llama_evento[i]^t_llegada:=65535{t_simulacion};
      cabeza_llama_evento[i]^t_terminacion:=65535;
      cabeza_llama_evento[i]^t_transferir:=65535;
      cabeza_llama_evento[i]^t_duracion:=65535;
      cabeza_llama_evento[i]^usuario:=0;
      cabeza_llama_evento[i]^intensidad:=0;
      cabeza_llama_evento[i]^num_tel_aso:=0;
      cabeza_llama_evento[i]^velocidad:=0;
      cola_llama_evento[i]^next := cabeza_llama_evento[i];
      cola_llama_evento[i]^t_llegada:=0;
      cola_llama_evento[i]^t_terminacion:=0;
      cola_llama_evento[i]^t_transferir:=0;
      cola_llama_evento[i]^t_duracion:=0;
      cola_llama_evento[i]^usuario:=0;
      cola_llama_evento[i]^intensidad:=0;
      cola_llama_evento[i]^num_tel_aso:=0;
      cola_llama_evento[i]^velocidad:=0;
    end;
  end;

{----- incertar -----}
procedure incertar(i:byte;tele1:lista_telefonos);
begin
  tele1^next := cola[i]^next;
  cola[i]^next := tele1;
end;

{----- poner_celulares -----}
procedure poner_celulares;
var i: byte; j: integer;

```

```

begin
  randomize;
  for j:= 1 to num_de_telefonos do
    begin
      i:= random(7) +1;
      new(tele1);
      tele1^.ubicacion:=i;
      tele1^.num_telefonico:=j;
      tele1^.estado := estdo;
      tele1^.num_de_llamadas := 0;
      tele1^.tiempo_de_uso := 0;
      incertar(i,tele1);
    end;
  end;

{----- gene_edo_ini_celulas -----}
procedure gene_edo_ini_celulas;
  var   i,j,k : byte;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      with sis_celular[i] do
        begin
          tamano := 10;
          identificacion := i;
          estado := 1;
          for j:= 1 to canales_por_celula do
            canal_de_voz [j] := 0;
          for k:= 1 to canales_de_senalizacion do
            canal_de_senalizacion [k] := 0;
          end;{fin del WITH}
        end;
      end;
    end;
  end;

{----- lee_real -----}
procedure lee_real(var x:real;x1,y2:integer;nt:string);
  var   i : integer;
  comando : char;
begin
  aux_num:= "";
  repeat
    OutTextXY(x1,y2,nt);
    Moveto(TextWidth(nt+aux_num),y2);
    comando:=readkey;
    OutTextXY(TextWidth(nt+aux_num),y2,comando);
    if (ord(comando) in [48..57]) or (ord(comando) = 46) then
      begin
        aux_num:=aux_num+comando;
        OutTextXY(x1,y2,nt);
        Moveto(TextWidth(nt+aux_num),y2);
      end
    else
      begin
        if ord(comando)<>13 then
          begin
            Moveto(TextWidth(nt+aux_num)-TextWidth(aux_num),y2);
            sonido;
          end
        end;
      end;
    end;
  end;

```

```

    OutText(' ');
    delay(300);
    outtextxy(23,110,'ERROR... Solo Numeros Reales');
    outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'presione una tecla para continuar');
    sonido;
    comando:=readkey;
    outtextxy(23,110,'          ');
    outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'          ');
    setbkcolor(lightgreen);
    clearviewport;
    Setcolor(lightblue)
  end;
end;
until {(ord(comando)=13) and (aux_num <> "")};
val(aux_num,x,i);
end;

```

```

{----- lee_numero -----}
procedure lee_numero(var x:integer;x1,y2:integer;nt:string);
var i : integer;
comando : char;
begin
  aux_num:= "";
  repeat
    OutTextXY(x1,y2,nt);
    Moveto(TextWidth(nt+aux_num),y2);
    comando:=readkey;
    OutTextXY(TextWidth(nt+aux_num),y2,comando);
    if ord(comando) in [48..57] then
      begin
        aux_num:=aux_num+comando;
        OutTextXY(x1,y2,nt);
        Moveto(TextWidth(nt+aux_num),y2);
      end
    else
      begin
        if ord(comando)<>13 then
          begin
            SetColor(magenta);
            Moveto(TextWidth(nt+aux_num)-TextWidth(aux_num),y2);
            sonido;
            OutText(' ');
            delay(300);
            outtextxy(23,110,'ERROR... Solo Numeros ENTEROS');
            outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'presione una tecla para continuar');
            sonido;
            comando:=readkey;
            outtextxy(23,110,'          ');
            outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'          ');
            setbkcolor(lightgreen);
            clearviewport;
            Setcolor(lightblue);
          end;
        end;
      until {(ord(comando)=13) and (aux_num <> "")};
      val(aux_num,x,i);
    end;
  end;
end;

```

```

{----- LEE_LETRA -----}
procedure lee_letra(var l:string;x1,y2:integer;nt:string);
var i : integer;
    comando : char;
begin
    aux_num:=0;
    repeat
        OutTextXY(x1,y2,nt);
        Movefo(TextWidth(nt+aux_num),y2);
        comando:=readkey;
        OutTextXY(TextWidth(nt+aux_num),y2,comando);
        if ((ord(comando) in [65..90]) or (ord(comando) in [97..122])) then
            begin
                aux_num:=aux_num+comando;
                OutTextXY(x1,y2,nt);
                Movefo(TextWidth(nt+aux_num),y2);
            end
        else
            begin
                if ord(comando)<>13 then
                    begin
                        setbkcolor(brown);
                        clearviewport;
                        SetColor(White);
                        Movefo(TextWidth(nt+aux_num)-TextWidth(aux_num),y2);
                        sonido;
                        OutText(' ');
                        delay(300);
                        outtextxy(3,10,'ERROR... Solo LETRAS');
                        outtextxy(3,10+TextHeight('A'),'presione una tecla para continuar');
                        sonido;
                        comando:=readkey;
                        outtextxy(3,10,'          ');
                        outtextxy(3,10+TextHeight('A'),'          ');
                        setbkcolor(brown);
                        clearviewport;
                        Setcolor(darkgray);
                    end;
                end;
                until ((ord(comando)=13) and (aux_num <> ""));
                l:=aux_num;
            end;
end;

```

```

{----- ERROR -----}
procedure error(a,b:integer);
var comando:char;
er:string;
begin
    str(a,er);
    SetColor(magenta);
    if b =1 then
        begin
            outtextxy(23,110,'ERROR.. El valor m ximo permitido es: '+er);
            outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'presione una tecla para continuar');
        end
    else
        begin

```

```

    outtextxy(23,110,'ERROR.. El valor m;nimo permitido es: '+er);
    outtextxy(23,110+TextHeight('A'),'presione una tecla para continuar');
end;
sonido;
comando:=readkey;
outtextxy(23,110,' ');
outtextxy(23,110+TextHeight('A'),' ');
setbkcolor(lightgreen);
clearviewport;
Setcolor(lightblue);
end;

```

```
{----- INTERVALOS -----}
```

```

procedure intervalos;
var i,j:byte; k:word;
begin
  l:=0;
  for i:=1 to c_i.intervalos do
    begin
      k:=k+c_i.duracion_intervalo[i];
      d_i[i]:=k;
    end;
  for i:=1 to c_i.intervalos do
    begin
      p1[i]:=trunc(((d_i[i]/t_simulacion)*100));
    end;
  end;
end;

```

```
{----- g_con_iniciales -----}
```

```

procedure g_con_iniciales;
const x1= 40; y1=80; x2=500; y2=280;
var   i,s,j,l :byte;
      nt      :string;
      graphRec :fipografico;
      comando  :char;
      k:word;
begin
  SalvaGraficos(graphRec,x1, y1, x2, y2,false);
  Dibujaventana(x1, y1, x2, y2, lightgreen, white);
  SetViewPort(x1+1,y1+1,x2-1,y2-1,clipon);
  SetColor(lightblue);
  SetLserCharSize(1,2,1,2);
  SetTextStyl(triplexFont,horizDir,userCharSize);
  repeat
    nt:=Tiempo de simulacion (hr.min)?';
    lee_real(nr,5,TextHeight('A'),nt);
    if nr > 18 then error(18,1);
  until nr <= 18;
  t_simulacion:=round (int(nr)*3600 + (frac(nr)*100)*60);

  WITH c_i do
    begin
      repeat
        nt:='Cuantos intervalos de tiempo (min 2)?';
        lee_numero(num_leido,5,2*TextHeight('A'),nt);
        if num_leido < 2 then error(2,2);
        if num_leido > 8 then error(8,1);
      until num_leido >= 2 and num_leido <= 8;
    end;
  end;
end;

```

```

until {(num_leido <= 8) and (num_leido >=2)};
intervalos:=num_leido;

k:=0;
repeat
  if k < 0 then
    begin
      SetbkColor(lightgreen);
      ClearViewPort;
      OutTextXY(5,5+TextHeight('A'),"ERROR" la suma de los tiempos de los intervalos');
      OutTextXY(5,5+2*TextHeight('A'),' debe ser igual o menor a tiempo de simu acion');
      OutTextXY(5,5+3*TextHeight('A'),'Presione una tecla para');
      OutTextXY(5,5+4*TextHeight('A'),'introducir los valores otra vez');
      sonido;
      comando:= readkey;
      SetbkColor(lightgreen);
      ClearViewPort;
      k:=0;
    end;{fin del IF}
    l:= (intervalos-1);
    for j:=1 to l do
      begin
        str(j,nt);
        nt:=Duracion (hr:min) del intervalo '+nt+'? ';
        lee_real(nr,5,30+j*TextHeight('A'),nt);
        duracion_intervalo[j]:=round (int(nr)*3600 + (frac(nr)*100)*60);
        k:=k+duracion_intervalo[j];
      end;
      if k < t_simulacion then
        duracion_intervalo[l+1]:=t_simulacion-k;

until k<=t_simulacion;
SetbkColor(lightgreen);
ClearViewPort;

for j:=1 to intervalos do
  begin
    str(j,nt);
    nt:=Tiempo medio entre llegadas (seg) del intervalo '+nt+'? ';
    lee_numero(num_leido,5,5+j*TextHeight('A'),nt);
    t_medio_entre_llegadas[j]:=num_leido;
  end;
SetbkColor(lightgreen);
ClearViewPort;
s:=0;
repeat
  if s < 0 then
    begin
      SetbkColor(lightred);
      ClearViewPort;
      OutTextXY(5,5+TextHeight('A'),"ERROR" la suma de porcentajes debe');
      OutTextXY(5,5+2*TextHeight('A'),'ser igual o menor a 100');
      OutTextXY(5,5+3*TextHeight('A'),'Presione una tecla para');
      OutTextXY(5,5+4*TextHeight('A'),'introducir los valores otra vez');
      sonido;
      comando:= readkey;
      SetbkColor(lightgreen);

```

```

        ClearViewPort;
        s:=0;
        end;{fin del IF}
    for i:=1 to 2 do
        begin
            str(i,nt);
            if i =1 then nt:= 'Porcentaje de llamas tipo '+nt+' (UM-RP)? ';
            if i =2 then nt:= 'Porcentaje de llamas tipo '+nt+' (RP-UM)? ';
            lee_numero(num_leido,5,5+i*TextHeight('A'),nt);
            porcentaje_llamadas[i]:=num_leido;
            s:=s+porcentaje_llamadas[i];
        end; {fin del FOR}
    until s <= 100;
    SetbkColor(lightgreen);
    ClearViewPort;
    for j:=1 to 4 do
        begin
            str(j,nt);
            nt:= 'Duraci3n (min) de llamas tipo '+nt+'? ';
            lee_numero(num_leido,5,5+j*TextHeight('A'),nt);
            dura_llama_tipo_usu[j]:=num_leido;
        end;
    SetbkColor(lightgreen);
    ClearViewPort;

    end;{fin del WITH}
repeat
    nt:='Canales de Senalizaci3n ';
    lee_numero(num_leido,5,TextHeight('A'),nt);
    if num_leido > canales_de_senalizacion1 then error(canales_de_senalizacion1,1);
until num_leido <=canales_de_senalizacion1;
canales_de_senalizacion:=num_leido;
repeat
    nt:='Canales de Voz por celula ';
    lee_numero(num_leido,5,2*TextHeight('A'),nt);
    if num_leido > canales_por_celula1 then error(canales_por_celula1,1);
until canales_por_celula1 <= canales_por_celula1;
canales_por_celula:=num_leido;
nt:='N3mero de telefonos ';
lee_numero(num_leido,5,3*TextHeight('A'),nt);
num_de_telefonos:=num_leido;
intervalos;
SetbkColor(lightgreen);
ClearViewPort;
RestauraGraficos(graphRec);
is:=1;
end;

{----- cam_con_iniciales -----}
procedure cam_con_iniciales;
const x1= 100; y1=180; x2=400; y2=300;
var i :byte;
    nt :string;
    graphRec :tipografico;
    comando :char;
    l:string;
    k:word;

```

```

begin
  SalvaGraficos(graphRec,x1, y1, x2, y2,false);
  Dibujaventana(x1, y1, x2, y2, brown, white);
  SetViewPort(x1+1,y1+1,x2-1,y2-1,clipon);
  SetColor(yellow);
  SetUserCharSize(1,2,1,2);
  SetTextStyle(triplexFont,horizDir,userCharSize);
  OutTextXY(5,5+TextHeight('A'),'Desea cambiar las condiciones');
  OutTextXY(5,5+2*TextHeight('A'),'iniciales');
  Setcolor(darkgray);
  OutTextXY(Textwidth('iniciales '),5+2*TextHeight('A'),'Si (S) / No (N)?');
  l:='';
  repeat
    nt:='OPCION ? ';
    lee_letra(l,5,5+3*TextHeight('A'),nt);
    until ((l='S')or(l='s')) or ((l='N')or(l='n')) ;
    if (l='S')or(l='s') then
      begin
        ClearViewPort;
        RestauraGraficos(graphRec);
        g_con_iniciales;
      end
    else
      begin
        ClearViewPort;
        RestauraGraficos(graphRec);
      end;
  end;
end;

{----- ini_eventos -----}
procedure ini_eventos;
begin
  new(cola_evento);
  new(cabeza_evento);
  cola_evento^.next:=cabeza_evento;
  cola_evento^.tiempo:=0;
  cola_evento^.num:=0;
  cabeza_evento^.next:=nil;
  cabeza_evento^.tiempo:=65535;
  cabeza_evento^.num:=65535;
end;

{----- ini_estadisticas -----}
procedure ini_estadisticas;
var i,j:byte;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      with esta_celula[i] do
        begin
          llamadas_atendidas:=0;
          llamadas_tipo[1]:=0;
          llamadas_tipo[2]:=0;
          llamadas_tipo[3]:=0;
          for j:=1 to 4 do
            begin
              dura_ll_tipo_u[j]:=0;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
end;

```

```

    llamadas_u_tipo[j]:=0;
    end;
    tiempo_ocupada:=0;
    num_transferencias:=0;
    canal_voz:=0;
    num_bloqueos:=0;
    canal_sena:=0;
    end;
    with esta_llama[i] do
    begin
        llama_max:=0;
        llama_min:=65535;
        tel_min:=0;
        tel_max:=0;
        end;
    with esta_tel[i] do
    begin
        tel_mas_llama := 0;
        n_llama :=0;
        tel_mas_ocupa :=0;
        t_ocupa :=0;
        end;
    end;
    llamadas_t1:=0;
    llamadas_t2:=0;
    llamadas_t3:=0;
end;

```

```

{----- crea_C_i -----}
procedure crea_C_i;
begin
    assign(A_Condiciones_iniciales,'est_ci.dat');{graba Condiciones Ini}
    rewrite(A_Condiciones_iniciales);
    write(A_Condiciones_iniciales,c_i);
    close(A_Condiciones_iniciales);
    assign(A_C_i_Generales,'est_ci_g.dat');
    rewrite(A_C_i_Generales);
    write(A_C_i_Generales,t_simulacion);
    write(A_C_i_Generales,canales_de_senalizacion);
    write(A_C_i_Generales,canales_por_celula);
    write(A_C_i_Generales,num_de_telefonos);
    close(A_C_i_Generales);
end;

```

```

{----- crea_archivos -----}
procedure crea_archivos;
var i :byte;
    a :string;
begin
    for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
        str(i,a);
        assign(A_celulares[i],'ifcel'+a+'.dat');
        rewrite(A_celulares[i]);
    end;
end;

```

```

{----- escribe_arch1 -----}
procedure escribe_arch1;
var a :string;
    i :byte;
    aux : lista_telefonos;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      aux:= cola[i]^next;
      reset(A_celulares[i]);
      while aux <> cabeza[i] do
        begin
          write(A_celulares[i],aux);
          aux:=aux^next;
        end;
      end;
    for i:=1 to num_de_celulas do
      begin
        close(A_celulares[i]);
      end;
    end;
end;

{----- crea_archivos2 -----}
procedure crea_archivos2;
var i:byte;
begin
  assign(A_celulas_estadisticas,'est_cel.dat');{graba Estd. de celulas}
  rewrite(A_celulas_estadisticas);           {llamadas hechas,tranf}
  assign(A_llamadas_estadisticas,'est_lla.dat');{graba Estd. de llamadas}
  rewrite(A_llamadas_estadisticas);         {llada de max y min duracion}
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      write(A_celulas_estadisticas,esta_celula[i]);
      write(A_llamadas_estadisticas,esta_llama[i]);
    end;
  close(A_Celulas_estadisticas);
  close(A_llamadas_estadisticas);
end;

{----- crea_archivos3 -----}
procedure crea_archivos3;
var i :byte;
    a :string;
    aux : lista_telefonos;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      str(i,a);
      assign(A_celulares[i],'f'cel'+a+'.dat');
      rewrite(A_celulares[i]);
      aux:= cola[i]^next;
      while aux <> cabeza[i] do
        begin
          write(A_celulares[i],aux);
          aux:=aux^next;
        end;
      close(A_celulares[i]);
    end;
end;

```

```

    end;
  end;

{----- resul_tel -----}
procedure resul_tel;
  var i : byte;
      aux : lista_telefonos;
begin
  for i:=1 to num_de_celulas do
    begin
      aux:= cola[i]^next;
      while aux <> cabeza[i] do
        begin
          with aux^ do
            begin
              if num_de_llamadas > esta_tel[i].n_llama then
                begin
                  esta_tel[i].n_llama:=num_de_llamadas;
                  esta_tel[i].tel_mas_llama := num_telefonico;
                end;
              if tiempo_de_uso > esta_tel[i].t_ocupa then
                begin
                  esta_tel[i].t_ocupa:=tiempo_de_uso;
                  esta_tel[i].tel_mas_ocupa:= num_telefonico;
                end;

              end; {fin del WITH}
            aux:=aux^.next;
          end; {fin del WHILE}
        end; {fin del FOR}
      end;
end;

{----- imprime_telefonos -----}
procedure imprime_telefonos;
  var i,p,j:byte; a:string;
      aux : lista_telefonos;
begin
  p:=2;j:=0;
  for i:=1 to 7 do
    begin
      str(i,a);
      assign(A_celulares[i],'fcel'+a+'.dat');
      {$I-}
      reset(A_celulares[i]);
      {$I+}
      writeln(Lst,'CELULA ',i);
      writeln(LST,'Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo');
      while not (eof [A_celulares[i]]) do
        begin
          read(A_celulares[i],aux);
          write(LST,aux^.num_telefonico:5,
            ',aux^.estado:2, ');
          if j <=5 then j:=j+1
          else
            begin
              j:=0;
              writeln(LST);
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        p:=p+1;
        if p > 55 then
            begin
                writeln(lst,chr(12));
                delay(7500);
                delay(2500);
                p:=2;
                writeln(lst,'CELULA ',I);
writeln(LST,'Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo Telfo Edo');
                end; {if 55}
            end; {if j}
        end; {while aux}
        close(A_celulares[i]);
        writeln(LST);
        p:=p+3;
        j:=0;
    end; {for}
    writeln(lst,chr(12));
end;

{----- imprime_telefonos2 -----}
procedure imprime_telefonos2;
var i,p,j:byte;
    aux : lista_telefonos;
begin
    p:=0;
    for i:=1 to 7 do
        begin
            p:=p+2;
            j:=0;
            writeln(lst,'CELULA ',I);
writeln(LST,'Telfo Lia tiem Edo Telfo Lia tiem Edo Telfo Lia tiem Edo Telfo Lia tiem Edo');
            aux:= cola[i]^next;
            while aux <> cabeza[i] do
                begin
                    write(LST,aux^.num_telefonico:5,
                        '',aux^.num_de_llamadas:3,
                        '',aux^.tiempo_de_uso:4,
                        '',aux^.estado:2,' ');
                    aux:=aux^.next;
                    if aux = cabeza[i] then
                        begin
                            writeln(lst);
                            p:=p+1;
                        end;
                    if j <=2 then j:=j+1
                    else
                        begin
                            j:=0;
                            writeln(LST);
                            p:=p+1;
                            if p > 55 then
                                begin
                                    writeln(lst,chr(12));
                                    delay(4000);
                                    delay(4000);
                                    p:=2;
                                end;
                            end;
                        end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

                writeln(lst,'CELULA ',i);
writeln(LST,Telfo Lla tiem Edo Telfo Lla tiem Edo Telfo Lla tiem Edo Telfo Lla tiem Edo');
                end; {if 55}
            end;
        end; {while}
    end; {for}
    writeln(lst,chr(12));
end;

{----- imprime_datos -----}
procedure imprime_datos;
var i:byte;
    n,n1:WORD; r:real;
    r_t,n_t1:string;
begin
    resul_tel;
    wr teln(lst,chr(14),'RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION');
    wr teln(lst);
    wr teln(lst);
    writeln(lst,'CEL Lla_t1 Lla_t2 Lla_t3 TRAS BLO C_V C_S T_P_L TPLU1 TPLU2 TPLU3 TPLU4');
    for i:=1 to num_de_celulas do
        begin
            with esta_celula[i] do
                begin
                    writeln(LST,'i,' ,llamadas_tipo[1]:4,' ,llamadas_tipo[2]:4,' ',
                        llamadas_tipo[3]:4,' ,num_transferencias:4,' ,num_bloqueos:3,' ',
                        canal_voz:2,' ,canal_sena:2,' ',TRUNC(tiempo_ocupada/llamadas_atendidas):4,'
                        ',trunc(dura_ll_tipo_u[1]/llamadas_u_tipo[1]):4,'
                        ',trunc(dura_ll_tipo_u[2]/llamadas_u_tipo[2]):4,'
                        ',trunc(dura_ll_tipo_u[3]/llamadas_u_tipo[3]):4,'
                        ',trunc(dura_ll_tipo_u[4]/llamadas_u_tipo[4]):4);
                end;
            end;{del FOR}
            writeln(lst);
            writeln(lst,'CELULA LMa_D TELEF LMe_D TELEF ');
            for i:=1 to num_de_celulas do
                begin
                    with esta_llama[i] do
                        begin
                            wr teln(LST,'i,' ,llama_max:4,' ',tel_max:4,' ',llama_min:4,' ',
                                tel_min:4);
                        end;
                    end;{fin del FOR}
                writeln(lst);
                writeln(lst,'CELULA No_LI TELEF T_OCUP TELEF');
                for i:=1 to num_de_celulas do
                    begin
                        with esta_tel[i] do
                            begin
                                writeln(LST,'i,' ,n_llama:3,' ',tel_mas_llama:4,' ',
                                    t_ocupa:5,' ',tel_mas_ocupa:4);
                            end;
                        end;{fin del FOR}
                    writeln(lst);
                    writeln(lst,'CONDICIONES INICIALES');
                    writeln(LST,'Numero de telefonos celulares: ',num_de_telefonos);
                    writeln(LST,'Numero de canales de voz: ',canales_por_celula);
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

writeln(LST,'Numero de canales de señalizacion: ', canales_de_señalizacion);
r:=t_simulacion/3600;
r:=int(r);
str(r:2:0,n_t);
r:=t_simulacion/3600;
r:=frac(r);
n:=round(r*60);
str(n,n_t1);
writeln(lst,'Tiempo de simulación (hr:min): ',n_t,':',n_t1);
with C_i do
  begin
    writeln(LST,'Tiempo medio entre llegadas del intervalo 1 al ',intervalos);
    for i:=1 to intervalos do
      write(lst,' ',t_medio_entre_llegadas[i]:4);
      writeln(lst);
      writeln(lst,'Duración (hr:min) de intervalos 1 a ',intervalos);
      for i:=1 to intervalos do
        begin
          r:= duracion_intervalo[i]/3600;
          r:=int(r);
          str(r:2:0,n_t);
          r:= duracion_intervalo[i]/3600;
          r:=frac(r);
          n:=round(r*60);
          str(n,n_t1);
          write(lst,' ',n_t,':',n_t1);
          end;
          writeln(lst);
          n:=100-(porcentaje_llamadas[1]+porcentaje_llamadas[2]);
          writeln(LST,'Porcentaje de llamadas tipo 1, 2, 3 (%): ',porcentaje_llamadas[1]:3,
            ', ',porcentaje_llamadas[2]:3,', ',n:3);
          writeln(LST,'Duración de llamadas tipo 1, 2, 3, 4 (min): ',dura_llama_tipo_usu[1]:3,
            ', ',dura_llama_tipo_usu[2]:3,', ',dura_llama_tipo_usu[3]:3,', ',
            dura_llama_tipo_usu[4]:3);
          end; {fin del WITH}
          writeln(lst);
          n:=llamadas_t1+llamadas_t2+llamadas_t3;
          writeln(lst,'GENERALIDADES');
          writeln(LST,'Numero de total de llamadas realizadas: ',n);
          writeln(LST,CHR(12));
        end;
      }
    {----- prenta_resul -----}
    procedure prenta_resul;
      var i,j :byte;
          numero :word;
          numero1 :real;
          num_text :string;
          ti :integer;
          tecla :char;
      begin
        {$I-}
        j:=10;
        for i:=1 to num_de_celulas do
          begin
            with esta_celula[i] do
              begin

```

```

str(llamadas_tipo[1],num_text);
Setcolor(lightgreen);ggotoxy(10,j);OutText(num_text);
str(llamadas_tipo[2],num_text);
Setcolor(Magenta);ggotoxy(17,j);OutText(num_text);
str(llamadas_tipo[3],num_text);
Setcolor(brown);ggotoxy(24,j);OutText(num_text);
str(num_transferencias,num_text);
Setcolor(darkgray);ggotoxy(30,j);OutText(num_text);
str(num_bloqueos,num_text);
Setcolor(lightcyan);ggotoxy(35,j);OutText(num_text);
str(canal_voz,num_text);
Setcolor(lightBLUE);ggotoxy(41,j);OutText(num_text);
str(canal_sena,num_text);
Setcolor(lightGREEN);ggotoxy(45,j);OutText(num_text);
numero:=trunc(tiempo_ocupada/llamadas_atendidas);
str(numero,num_text);
Setcolor(lightMAGENTA);ggotoxy(49,j);OutText(num_text);
numero:=trunc(dura_ll_tipo_u[1]/llamadas_u_tipo[1]);
str(numero,num_text);
Setcolor(lightRED);ggotoxy(54,j);OutText(num_text);
numero:=trunc(dura_ll_tipo_u[2]/llamadas_u_tipo[2]);
str(numero,num_text);
Setcolor(lightRED);ggotoxy(60,j);OutText(num_text);
numero:=trunc(dura_ll_tipo_u[3]/llamadas_u_tipo[3]);
str(numero,num_text);
Setcolor(lightRED);ggotoxy(66,j);OutText(num_text);
numero:=trunc(dura_ll_tipo_u[4]/llamadas_u_tipo[4]);
str(numero,num_text);
Setcolor(lightRED);ggotoxy(72,j);OutText(num_text);
j:=j+2;
end;
end;
with c_i do
begin
Setcolor(red);
for i:=1 to intervalos do
begin
str(t_medio_entre_llegadas[i],num_text);
ggotoxy(53+(i*3),27);OutText(num_text);
end;
numero:=0;
for i:=1 to 2 do
begin
str(porcentaje_llamadas[i],num_text);
ggotoxy(57+(i*3),29);OutText(num_text);
numero:=numero+porcentaje_llamadas[i];
end;
numero:=100-numero;
str(numero,num_text);
ggotoxy(66,29);OutText(num_text);
for i:=1 to 4 do
begin
str(dura_llama_tipo_usu[i],num_text);
ggotoxy(57+(i*3),31);OutText(num_text);
end;
for i:=1 to intervalos do
begin

```

```

    str(i,num_text);
    ggotoxy(62,34+i);Outtext(num_text);
    numero1:=duracion_intervalo[i]/3600;
    numero1:=int(numero1);
    str(numero1:2:0,num_text);
    ggotoxy(65,34+i);OutText(num_text);
    numero1:=frac(duracion_intervalo[i]/3600);
    numero:=round(numero1*60);
    str(numero,num_text);
    ggotoxy(67,34+i);OutText(':');
    ggotoxy(68,34+i);Outtext(num_text);
end;
end;{with}
j:=27;
for i:=1 to num_de_celulas do
begin
with esta_llama[i] do
begin
str(llama_max,num_text);
Setcolor(lightgreen);ggotoxy(14,j);OutText(num_text);
str(tel_max,num_text);
Setcolor(Magenta);ggotoxy(20,j);OutText(num_text);
str(llama_min,num_text);
Setcolor(brown);ggotoxy(26,j);OutText(num_text);
str(tel_min,num_text);
Setcolor(darkgray);ggotoxy(32,j);OutText(num_text);
end;
j:=j+2;
end;
resul_tel;
j:=44;
for i:=1 to num_de_celulas do
begin
with esta_tel[i] do
begin
str(tel_mas_llama,num_text);
Setcolor(lightgreen);ggotoxy(14,j);OutText(num_text);
str(n_llama,num_text);
Setcolor(Magenta);ggotoxy(21,j);OutText(num_text);
str(tel_mas_ocupa,num_text);
Setcolor(brown);ggotoxy(29,j);OutText(num_text);
str(t_ocupa,num_text);
Setcolor(darkgray);ggotoxy(36,j);OutText(num_text);
end;
j:=j+2;
end;
numero1:=t_simulacion/3600;
numero1:=int(numero1);
str(numero1:2:0,num_text);
ggotoxy(62,33);OutText(num_text);
numero1:=frac(t_simulacion/3600);
numero:=round(numero1*60);
str(numero,num_text);
ggotoxy(64,33);OutText(':');
ggotoxy(65,33);Outtext(num_text);
str(num_de_telefonos,num_text);
ggotoxy(60,49);OutText(num_text);

```

```

numero:=llamadas_f1+llamadas_f2+llamadas_f3;
str(numero,num_text);
ggotoxy(60,53);OutText(num_text);
str(canales_por_celula ,num_text);
ggotoxy(60,45);OutText(num_text);
str(canales_de_senalizacion ,num_text);
ggotoxy(60,47);OutText(num_text);
repeat
  tecla:= readkey;
  ti:=ord(tecla);
until ti=13;
  {$!+}
end
END.

```

UNIT GPROCESO;

INTERFACE

uses crt,dos,graph,gtipo,gpresent;

var

f_reloj:word;

```

function tipo_llamada: byte; {funcion que genera el tipo de llamada }
function duracion(var d_ll: llama): word; {funcion que genera la duracion de la llamada }
function r_p :boolean; {funcion que genera el estado de la red publica}
function movimiento: byte; {funcion que genera la velocidad de la unidad movil }
function potencia : byte; {funcion que genera la intensidad de la llamada }
function t_llegada(var t_reloj : word): word; {genera los tiempos de llegada de los eventos}
function n_tex(var numero :word) : string;{convierte un numero en texto}
procedure pon_tiempo;{pone el tiempo de simulacion}
procedure escr_edo(var lla:llama; var ind:boolean; var pos:byte;celnum:byte);{escribe estado de
cada celula durante la simulacion}
procedure mostrar_edo(var lla:llama;var ubi:byte;var ind:boolean); {escribe estado de cada celula
durante la simulacion}
procedure ver_eventos;{muestra los eventos futuros}
procedure act_estadis {var llama_da:llama; var cel_n:byte};{realiza estadisticas}
procedure ver_telefonos; {despliega los telefonos en uso por celula}
procedure buscar_celular(numero:integer);{busca la ubicacion de un telefono celular}
procedure toma_llamada(var llama_da: llama;i:byte;eventofu: evento);{toma la siguiente llamada
futura a ocurrir}
procedure inserta_llamada(var llama_da: llama;i:byte);{coloca la siguiente llamada futura }
procedure toma_evento(var eventofu: evento);{toma el siguiente evento futuro a ocurrir}
procedure inserta_evento(var eventofu:evento);{coloca el siguiente evento futuro }
procedure mete_telefono(var tel:lista_telefonos;ubicacion:byte);{coloca un telefono}
procedure saca_telefono(var tel:lista_telefonos;ubicacion:byte);{toma un telefono}
procedure eliminar_evento_f(var eventofu:evento;aux_ll:llama;tipo:byte);{elimina un evento futuro}
procedure lib_canal_voz{celula:byte};{libera un canal de voz}
procedure Lib_canal_sen{celula:byte};{libera un canal de señalizacion}
procedure transferir(var llama_da:llama; var telc:lista_telefonos;var ind:boolean);{transfiere un
telefono y llamada de una celula a otra}
procedure req_transf(var llama_da:llama);{verifica que llamada necesita transferirse}
procedure proceso3(var llama_da:llama;var ind:boolean;var siguiente:evento); {Este procedimiento
realiza el proceso de conexion de llamada celular a celular }
procedure proceso2(var llama_da:llama;var ind:boolean); {Este procedimiento realiza el proceso de
conexion de llamada red publica a celular }
procedure proceso1(var llama_da:llama;var ind:boolean); {Este procedimiento realiza el proceso de
conexion de llamada celular a la red publica}
procedure llega_llamada(var siguiente:evento); {realiza el proceso de llegada de una llamada}

```

```

procedure termina_llamada(var siguiente:evento); {realiza el proceso de terminacion de una llamada}
procedure trans_llamada (var siguiente:evento); {realiza el proceso de transferir una llamada}
procedure simulacion;{ controla la simulacion}

```

IMPLEMENTATION

```

{----- tipo_llamada -----}
function tipo_llamada: byte;
var tpo: real;
begin
  tpo:= random;
  if tpo < (c_i.porcentaje_llamadas[1] / 100) then tipo_llamada:= 1 else
  if tpo < ((c_i.porcentaje_llamadas[1] / 100)+
  (c_i.porcentaje_llamadas[2] / 100)) then tipo_llamada:= 2 else
  tipo_llamada:=3;
end;

{----- duracion -----}
function duracion(var d_ll: llama): word;
var des,med:integer; i:byte; aux:real;
begin
  case d_ll^.usuario of
  1:begin
    med:=c_i.dura_llama_tipo_usu[1]*30;
    des:=trunc(med*0.5);
    end;
  2:begin
    med:=c_i.dura_llama_tipo_usu[2]*30;
    des:=trunc(med*0.45);
    end;
  3:begin
    med:=c_i.dura_llama_tipo_usu[3]*30;
    des:=trunc(med*0.4);
    end;
  4:begin
    med:=c_i.dura_llama_tipo_usu[4]*30;
    des:=trunc(med*0.35);
    end;
  end;{case}
  repeat
  begin
    aux:=0;
    for i:=1 to 12 do
      aux:=aux+random;
      aux:= aux-6;
      aux:= med +(aux *des);
    end;
  until aux >= 0;
  duracion:= trunc(aux);
end;

{----- r_p -----}
function r_p :boolean;
var aux:real;
begin
  aux:= random;

```

```

if aux < 0.95 then r_p:= true
else
  r_p:= false
end;

```

```

{----- movimiento -----}

```

```

function movimiento: byte;
begin
  movimiento:=trunc(random*(22+1));
end;

```

```

{----- potencia -----}

```

```

function potencia : byte;
begin
  potencia := 2 + round(random*(36));
end;

```

```

{----- t_llegada -----}

```

```

function t_llegada(var t_reloj : word):word;
var num:byte; label l;
begin
  num:=trunc((t_reloj*100)/t_simulacion);
  if num <= p1[1] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[1]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[2] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[2]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[3] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[3]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[4] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[4]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[5] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[5]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[6] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[6]*ln(random));
      goto l;
    end;
  if num <= p1[7] then
    begin
      t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[7]*ln(random));
      goto l;
    end;
end;

```

```

    if num <= p1[8] then
      begin
        t_llegada:=t_reloj - trunc(c_l.t_medio_entre_llegadas[8]*ln(random));
        goto 1;
      end;
    1:end;

{----- n_text -----}
function n_tex(var numero :word) : string;
var num_t:string;
begin
  str(numero,num_t);
  n_tex:=num_t;
end;

{----- pon_tiempo -----}
procedure pon_tiempo;
var num: word; numt:string;
begin
  setcolor(cyan);
  setviewport(480,24,544,48,clipon);
  clearviewport;
  num:=t_reloj;
  str(num,numt);
  Setcolor(red);ggotoxy(1,1);OutText(numt);
  delay(5);
  setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
end;

{----- escr_edo -----}
procedure escr_edo(var lla:l lama; var ind:boolean; var pos:byte;celnum:byte);
var numero:word; i,j:byte;
  texto :string;
begin
  setcolor(cyan);
  setviewport(8,216,352,230,clipon);
  clearviewport;
  if NOT ind then
    begin
      ggotoxy(1,1);setcolor(red);Outtext('N');
    end;
  ggotoxy(3,1);setcolor(lightgreen);str(celnum,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(6,1);setcolor(lightcyan);str(la^.tipo,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(10,1);setcolor(lightred);str(la^.num_tel_aso,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(17,1);setcolor(lightmagenta);str(la^.t_llegada,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(24,1);setcolor(darkgray);str(la^.t_terminacion,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(31,1);setcolor(yellow);str(la^.t_transferir,texto);OutText(texto);
  ggotoxy(39,1);setcolor(lightblue);str(la^.velocidad,texto);OutText(texto);
  i:=10; j:=1;
  repeat
    setcolor(cyan);
    setviewport(64,(i-1)*8,320,(i-1)*8+14,clipon);
    clearviewport;
    ggotoxy(2,1);setcolor(lightgreen);str(esta_celula[j].canal_voz,texto);OutText(texto);
    ggotoxy(7,1);setcolor(magenta);str(esta_celula[j].canal_sena,texto);OutText(texto);
    ggotoxy(14,1);setcolor(brown);str(esta_celula[j].num_transferencias,texto);OutText(texto);
    ggotoxy(20,1);setcolor(darkgray);str(esta_celula[j].num_bloqueos,texto);OutText(texto);
  until i=10;
end;

```

```

gotoxy(25,1);setcolor(lightcyan);str(esta_celula[j].llamadas_atendidas,texto);OutText(texto);
i:=i+2;
j:=j+1;
until i=24;
setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
end;

```

```

{----- mostrar_edo -----}

```

```

procedure mostrar_edo(var lla:llama;var ubi:byte;var ind:boolean);
var
  posy:byte;
begin
  case ubi of
    1: begin
        posy:=10;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    2: begin
        posy:=12;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    3: begin
        posy:=14;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    4: begin
        posy:=16;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    5: begin
        posy:=18;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    6: begin
        posy:=20;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
    7: begin
        posy:=22;
        escr_edo(lla,ind,posy,ubi);
        end;
  end;{case}
end;

```

```

{----- ver_eventos -----}

```

```

procedure ver_eventos;
var posy:byte;
    aux_eve:evento;
    num_t:string;
begin
  aux_eve:=cola_evento^.next;
  setcolor(cyan);
  setviewport(480,88,630,342,clipon);
  clearviewport;
  posy:=1;
  repeat
  begin

```

```

if (aux_eve^.tiempo < t_simulacion) then
  begin
    ggotoxy(1, posy); setcolor(white);
    if aux_eve^.tipo = 0 then
      begin
        Outtext('Llegada');
        ggotoxy(12, posy);
        str(aux_eve^.tiempo, num_t);
        Outtext(num_t);
      end;
    if aux_eve^.tipo = 1 then
      begin
        Outtext('Termina');
        ggotoxy(12, posy);
        str(aux_eve^.tiempo, num_t);
        Outtext(num_t);
      end;
    if aux_eve^.tipo = 2 then
      begin
        Outtext('Transferir');
        ggotoxy(12, posy);
        str(aux_eve^.tiempo, num_t);
        Outtext(num_t);
      end;
    end;
    posy:=posy+1;
    aux_eve:=aux_eve^.next;
  end;
until (aux_eve=cabeza_evento) or (posy > 30);
setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
end;

```

```

{----- act_estadis -----}

```

```

procedure act_estadis (var llama_da:llama; var cel_n:byte);
begin
  if llama_da^.t_terminacion >= t_simulacion then
    esta_celula[cel_n].tiempo_ocupada:=esta_celula[cel_n].tiempo_ocupada +
      (llama_da^.t_duracion - (llama_da^.t_terminacion-t_simulacion))
  else
    esta_celula[cel_n].tiempo_ocupada:=
      esta_celula[cel_n].tiempo_ocupada + llama_da^.t_duracion;
  esta_celula[cel_n].llamadas_atendidas:=
    esta_celula[cel_n].llamadas_atendidas + 1;
  if llama_da^.t_duracion < esta_llama[cel_n].llama_min then
    begin
      esta_llama[cel_n].llama_min:=llama_da^.t_duracion;
      esta_llama[cel_n].tel_min:=llama_da^.num_tel_aso;
    end;
  if llama_da^.t_duracion > esta_llama[cel_n].llama_max then
    begin
      esta_llama[cel_n].llama_max:=llama_da^.t_duracion;
      esta_llama[cel_n].tel_max:=llama_da^.num_tel_aso;
    end;
  case llama_da^.tipo of
    1: begin
        llamadas_t1:=llamadas_t1 + 1;
        esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[1]:=esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[1]+1;
      end;
  end;

```

```

end;
2:begin
  llamadas_t2:= llamadas_t2+1;
  esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[2]:=esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[2]+1;
end;
3:begin
  llamadas_t3:= llamadas_t3+1;
  esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[3]:=esta_celula[cel_n].llamadas_tipo[3]+1;
end;
end;{case llama_da^.tipo}
case llama_da^.usuario of
1: begin
  esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[1]:=
    esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[1] + llama_da^.t_duracion;
  esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[1]:=
    esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[1]+1;
end;
2: begin
  esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[2]:=
    esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[2] + llama_da^.t_duracion;
  esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[2]:=
    esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[2]+1;
end;
3: begin
  esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[3]:=
    esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[3] + llama_da^.t_duracion;
  esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[3]:=
    esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[3]+1;
end;
4: begin
  esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[4]:=
    esta_celula[cel_n].dura_ll_tipo_u[4] + llama_da^.t_duracion;
  esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[4]:=
    esta_celula[cel_n].llamadas_u_tipo[4]+1;
end;
end;{case llama_da^.usuario}
end;

```

```

{----- ver_telefonos -----}

```

```

procedure ver_telefonos;
var numero:word;
    texto:string;
    pro,i,x:byte;
    aux:llama;
begin
  setcolor(cyan);
  setviewport(0,240,440,472,clipon);
  clearviewport;
  for i:=1 to 7 do
  begin
    case i of
      1:begin setcolor(lightgreen); x:=2; end;
      2:begin setcolor(lightcyan);x:=9; end;
      3:begin setcolor(lightred);x:=16; end;
      4:begin setcolor(lightmagenta);x:=23; end;
      5:begin setcolor(darkgray);x:=30; end;
      6:begin setcolor(yellow);x:=37; end;

```

```

7:begin setcolor(lightblue);x:=44; end;
end;
paro:=1;
aux:= cola_llama_evento[i]^next;
repeat
  if aux <> cabeza_llama_evento[i] then
    begin
      ggotoxy(x,paro);
      str(aux^.num_tel_aso,texto);
      OutText(texto);
    end;
    paro:=paro +1;
    aux:= aux^.next;
  until (aux=cabeza_llama_evento[i])or(paro>27)or(aux=nil);
end; {for i}
setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
end;

```

{----- buscar_celular -----}

```

procedure buscar_celular(numero:integer);
var
  k : byte;
  aux : lista_telefonos;
  label 1,2;
  begin
    k:=1;
    2:while k <= num_de_celulas do
      begin
        aux := cola[k];
        while aux <> nil do
          begin
            if aux^.num_telefonico = numero then
              goto 1;
            if aux^.num_telefonico < numero then
              begin
                k:=k+1;
                goto 2;
              end;
            aux := aux^.next;
          end;
          k:=k+1;
        end;
      1: num_tel:=numero;
        cel_num_tel:=k;
        tele2:=aux;
      end;

```

{----- toma_llama_da -----}

```

procedure toma_llamada(var llama_da:llama;i:byte;eventofu: evento);
var aux_ll1,aux_ll2: llama;
begin
  case eventofu^.tipo of
    0: begin
        aux_ll1:= cola_llama_evento[i];
        repeat
          aux_ll2:=aux_ll1^.next;
          if ((aux_ll2^.t_llegada = llama_da^.t_llegada) and

```

```

        (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso))
    then
    begin
        aux_ll1^.next:=aux_ll2^.next;
        aux_ll2^.next:=nil;
    end
    else
        aux_ll1:=aux_ll2;
    until ((aux_ll2^.t_llegada = llama_da^.t_llegada) and
        (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso));
end;
1: begin
    aux_ll1:= cola_llama_evento[i];
    repeat
        aux_ll2:=aux_ll1^.next;
        if ((aux_ll2^.t_terminacion = llama_da^.t_terminacion) and
            (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso))
        then
            begin
                aux_ll1^.next:=aux_ll2^.next;
                aux_ll2^.next:=nil;
            end
        else
            aux_ll1:=aux_ll2;
        until ((aux_ll2^.t_terminacion = llama_da^.t_terminacion) and
            (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso));
    end;
2: begin
    aux_ll1:= cola_llama_evento[i];
    repeat
        aux_ll2:=aux_ll1^.next;
        if ((aux_ll2^.t_transferir = llama_da^.t_transferir) and
            (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso))
        then
            begin
                aux_ll1^.next:=aux_ll2^.next;
                aux_ll2^.next:=nil;
            end
        else
            aux_ll1:=aux_ll2;
        until ((aux_ll2^.t_transferir = llama_da^.t_transferir) and
            (eventofu^.num = llama_da^.num_tel_aso));
    end;
end;{case}
end;

```

```

{----- inserta_llama_da -----}
procedure inserta_llamada(var llama_da:llama;:byte);
var cux_ll1,aux_ll2: llama;
begin
    aux_ll1:= cola_llama_evento[i];
    repeat
        aux_ll2:=aux_ll1^.next;
        if aux_ll2^.t_terminacion > llama_da^.t_terminacion then
            begin
                llama_da^.next:=aux_ll2;
                aux_ll1^.next:=llama_da;
            end
        else
            aux_ll1:=aux_ll2;
        until aux_ll2^.t_terminacion = llama_da^.t_terminacion;
    end;
end;

```

```

        end
      else
        aux_ll1:=aux_ll2;
        until aux_ll1^.next = llama_da;
      end;
}----- toma_evento -----}
procedure toma_evento(var eventofu: evento);
begin
  eventofu:= cola_evento^.next;
  cola_evento^.next:= eventofu^.next;
end;

}----- inserta_evento -----}
procedure inserta_evento(var eventofu:evento);
var aux_evento1,aux_evento2: evento;
begin
  aux_evento1:=cola_evento;
  repeat
    aux_evento2:=aux_evento1^.next;
    if aux_evento2^.tiempo > eventofu^.tiempo then
      begin
        eventofu^.next:=aux_evento2;
        aux_evento1^.next:=eventofu;
      end
    else
      aux_evento1:=aux_evento2;
    until aux_evento1^.next = eventofu;
  end;
end;

}----- mete_telefono -----}
procedure mete_telefono(var tel:lista_telefonos;ubicacion:byte);
var aux_tel1,aux_tel2:lista_telefonos;
begin
  aux_tel1:=cola[ubicacion];
  repeat
    aux_tel2:=aux_tel1^.next;
    if aux_tel2^.num_telefonico > tel^.num_telefonico then
      aux_tel1 := aux_tel2
    else begin
      tel^.next := aux_tel2;
      aux_tel1^.next := tel;
    end
  until aux_tel2^.num_telefonico < tel^.num_telefonico;
end;

}----- saca_telefono -----}
procedure saca_telefono(var tel:lista_telefonos;ubicacion:byte);
var aux_tel1,aux_tel2:lista_telefonos;
begin
  aux_tel1:=cola[ubicacion];
  repeat
    aux_tel2:=aux_tel1^.next;
    if aux_tel2^.num_telefonico = tel^.num_telefonico then
      begin
        aux_tel1^.next := aux_tel2^.next;
        {aux_tel2^.next:=nil;}
      end
    end;
  until aux_tel2^.num_telefonico < tel^.num_telefonico;
end;

```

```

        end
    else
        aux_tel1:=aux_tel2;
    until aux_tel2^.num_telefonico = tel^.num_telefonico;
end;

{----- eliminar_evento -----}
procedure eliminar_evento_f(var eventofu:evento;aux_ll:l1ama;tipo:byte);
var aux_eve1,aux_eve2: evento;
begin
    case tipo of
        1: begin
            aux_eve1:= cola_evento;
            repeat
                aux_eve2:=aux_eve1^.next;
                if ((aux_eve2^.tiempo = aux_ll^.t_terminacion) and
                    (aux_eve2^.num = aux_ll^.num_tel_aso))
                then
                    begin
                        eventofu:=aux_eve2;
                        aux_eve1^.next:=aux_eve2^.next;
                        eventofu^.next:=nil;
                    end
                else
                    aux_eve1:=aux_eve2;
                until eventofu=aux_eve2;
            end;
        2:begin
            aux_eve1:= cola_evento;
            repeat
                aux_eve2:=aux_eve1^.next;
                if ((aux_eve2^.tiempo = aux_ll^.t_transferir) and
                    (aux_eve2^.num = aux_ll^.num_tel_aso))
                then
                    begin
                        eventofu:=aux_eve2;
                        aux_eve1^.next:=aux_eve2^.next;
                        eventofu^.next:=nil;
                    end
                else
                    aux_eve1:=aux_eve2;
                until eventofu=aux_eve2;
            end;
        end; {CASE}
    end;
end;

{----- recorre_cv_cs -----}
procedure recorre_cv_cs(ce1ula:byte);
var cv,cs:byte;label 1,2;
begin
    cs:=1;
    for cv:=canales_por_celula downto 1 do
        begin
            if sis_celular[ce1ula].canal_de_voz[cv]=0 then
                begin
                    sis_celular[ce1ula].canal_de_voz[cv]:= 1;
                    esta_celula[ce1ula].canal_voz := esta_celula[ce1ula].canal_voz + 1;
                end
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        goto 1;
    end;
end;
1: for cs:=canales_de_senalizacion downto 1 do
begin
    if sis_celular[celula].canal_de_senalizacion[cs]=1 then
        begin
            sis_celular[celula].canal_de_senalizacion[cs]:= 0;
            esta_celula[celula].canal_sena := esta_celula[celula].canal_sena -1;
            goto 2;
        end;
    end;
end;
2: end;

{----- lib_canal_voz -----}
procedure lib_canal_voz(celula:byte);
var cv,cs:byte;label 1;
begin
    cs:=1;
    for cv:=canales_por_celula downto 1 do
        begin
            if sis_celular[celula].canal_de_voz[cv]=1 then
                begin
                    sis_celular[celula].canal_de_voz[cv]:= 0;
                    esta_celula[celula].canal_voz := esta_celula[celula].canal_voz -1;
                    goto 1;
                end;
            end;
        end;
    1: if sis_celular[celula].canal_de_senalizacion[cs]=1 then
        begin
            recorre_cv_cs(celula);
        end;
    end;
end;

{----- lib_canal_sen -----}
procedure Lib_canal_sen(celula:byte);
var cs:byte; label 1;
begin
    cs:=canales_de_senalizacion;
    for cs:=canales_de_senalizacion downto 1 do
        begin
            if sis_celular[celula].canal_de_senalizacion[cs]=1 then
                begin
                    sis_celular[celula].canal_de_senalizacion[cs]:= 0;
                    esta_celula[celula].canal_sena := esta_celula[celula].canal_sena -1;
                    goto 1;
                end;
            end;
        end;
    1: end;
end;

{----- transferir -----}
procedure transferir(var llama_da:llama;var telc :lista_telefonos;var ind:boolean);
var cs,cv,conta,nct,i:byte;
    label 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21;
begin
    conta:=1;
    cv:=1;cs:=1;

```

```

case telc^.ubicacion of
1: begin
  1: case conta of
    1:nct:=2;
    2:nct:=3;
    3:nct:=7;
    4:nct:=6;
    5:nct:=5;
    6:nct:=4;
    7: begin ind:=false; goto 3; end;
  end;
  while cs <= canales_de_senalizacion do
  begin
    if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
      begin
        sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
        while cv <= canales_por_celula do
          begin
            if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
            then
              begin
                sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
                sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                goto 2;
              end;
            cv:=cv+1;
          end;{fin del while}
        end;
        if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 2;
        cs:=cs+1;
      end;{fin del while}
      conta:=conta+1;
      cs:=1;
      goto 1;
    2:inserta_llamada(llama_da,nct);
      saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);
      telc^.ubicacion:=nct;
      mete_telefono(telc,nct);
      if cv <= canales_por_celula then
        esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz +1
      else
        esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;
      3:end;{case 1}
  end;
2: begin
  4: case conta of
    1:nct:=3;
    2:nct:=7;
    3:nct:=1;
    4: begin ind:=false;goto 6;end;
  end;
  while cs <= canales_de_senalizacion do
  begin
    if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
      begin
        sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
        while cv <= canales_por_celula do

```

```

begin
  if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
  then
    begin
      sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
      sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
      goto 5;
    end;
    cv:=cv+1;
  end;{fin del while}
end;
if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 5;
cs:=cs+1;
end;{fin del while}
conta:=conta+1;
cs:=1;
goto 4;
5: inserta_llamada(llama_da,nct);
saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);
telc^.ubicacion:=nct;
mete_telefono(telc,nct);
if cv <= canales_por_celula then
  esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz + 1
else
  esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;
6: end;{case 2}

3: begin
7: case conta of
  1:nct:=4;
  2:nct:=2;
  3:nct:=1;
  4:begin ind:=false; goto 9;end;
end;
while cs <= canales_de_senalizacion do
begin
  if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
  begin
    sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
    while cv <= canales_por_celula do
    begin
      if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
      then
        begin
          sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
          sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
          goto 8;
        end;
        cv:=cv+1;
      end;{fin del while}
    end;
    if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 8;
    cs:=cs+1;
  end;{fin del while}
  conta:=conta+1;
  cs:=1;
  goto 7;

```

```

8:inserta_llamada(llama_da,nct);
saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);
telc^.ubicacion:=nct;
mete_telefono(telc,nct);
if cv <= canales_por_celula then
  esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz +1
else
  esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;
9:end;{case 3}

```

4: begin

10: case conta of

1:nct:=5;

2:nct:=3;

3:nct:=1;

4: begin ind:=false;goto 12;end;

end;

while cs <= canales_de_senalizacion do

begin

if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then

begin

sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;

while cv <= canales_por_celula do

begin

if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0

then

begin

sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;

sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;

goto 11;

end;

cv:=cv+1;

end;{fin del while}

end;

if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 11;

cs:=cs+1;

end;{fin del while}

conta:=conta+1;

cs:=1;

goto 10;

11: inserta_llamada(llama_da,nct);

saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);

telc^.ubicacion:=nct;

mete_telefono(telc,nct);

if cv <= canales_por_celula then

esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz +1

else

esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;

2: end; {case 4}

5: begin

13: case conta of

1:nct:=6;

2:nct:=4;

3:nct:=1;

4: begin ind:=false;goto 15;end;

end;

```

while cs <= canales_de_senalizacion do
begin
  if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
    begin
      sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
      while cv <= canales_por_celula do
        begin
          if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
            then
              begin
                sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
                sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                goto 14;
              end;
            cv:=cv+1;
          end;{fin del while}
        end;
      if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 14;
      cs:=cs+1;
    end;{fin del while}
    conta:=conta+1;
    cs:=1;
    goto 13;
14: inserta_llamada(llama_da,nct);
saca_telefono(telc,telc^,ubicacion);
telc^.ubicacion:=nct;
mete_telefono(telc,nct);
if cv <= canales_por_celula then
  esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz + 1
else
  esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena + 1;
15: end; {case 5}

6: begin
16: case conta of
  1:nct:=5;
  2:nct:=7;
  3:nct:=1;
  4: begin ind:=false;goto 18;end;
end;
while cs <= canales_de_senalizacion do
begin
  if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
    begin
      sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
      while cv <= canales_por_celula do
        begin
          if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
            then
              begin
                sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
                sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                goto 17;
              end;
            cv:=cv+1;
          end;{fin del while}
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

    if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 17;
    cs:=cs+1;
end;{fin del while}
conta:=conta+1;
cs:=1;
goto 16;
17: inserta_llamada(llama_da,nct);
saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);
telc^.ubicacion:=nct;
mete_telefono(telc,nct);
if cv <= canales_por_celula then
    esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz +1
else
    esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;
18: end;{case 6}

7: begin
19: case conta of
    1:nct:=6;
    2:nct:=2;
    3:nct:=1;
    4: begin ind:=false;goto 21;end;
    end;
while cs <= canales_de_senalizacion do
begin
    if sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] = 0 then
begin
    sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs] := 1;
while cv <= canales_por_celula do
begin
    if sis_celular[nct].canal_de_voz[cv] = 0
then
begin
    sis_celular[nct].canal_de_voz[cv]:=1;
    sis_celular[nct].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
    goto 20;
end;
    cv:=cv+1;
end;{fin del while}
end;
    if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then goto 20;
    cs:=cs+1;
end;{fin del while}
conta:=conta+1;
cs:=1;
goto 19;
20:inserta_llamada(llama_da,nct);
saca_telefono(telc,telc^.ubicacion);
telc^.ubicacion:=nct;
mete_telefono(telc,nct);
if cv <= canales_por_celula then
    esta_celula[nct].canal_voz := esta_celula[nct].canal_voz +1
else
    esta_celula[nct].canal_sena:= esta_celula[nct].canal_sena +1;
21: end; {case 7}
end;{case ubicacion}
end;

```

```

{----- req_transf -----}
procedure req_transf(var llama_da:llama);
var aux_fu:evento;
d_recorrer,d_potencia,d_antes_trans,t_trans:word;
label 1;
begin
  if llama_da^.intensidad < 6 then
    begin
      new(aux_fu);
      aux_fu^.tipo:= 2;
      aux_fu^.tiempo:= t_reloj;
      aux_fu^.num:=llama_da^.num_tel_aso;
      inserta_evento(aux_fu);
      llama_da^.t_transferir:= t_reloj;
      llama_da^.intensidad:=38;
      goto 1;
    end
  else
    if llama_da^.velocidad <= 5 then goto 1;
    d_recorrer:=llama_da^.velocidad*llama_da^.t_duracion;
    d_potencia:=llama_da^.intensidad-4;
    d_antes_trans:=180*d_potencia;
    if d_recorrer > d_antes_trans then
      begin
        t_trans:= trunc (d_antes_trans/llama_da^.velocidad);
        llama_da^.t_transferir:= llama_da^.t_llegada+ t_trans;
        new(aux_fu);
        aux_fu^.tipo:= 2;
        aux_fu^.tiempo:= llama_da^.t_transferir;
        aux_fu^.num:=llama_da^.num_tel_aso;
        inserta_evento(aux_fu);
        llama_da^.intensidad:=38;
      end;
    1:end;
}

{----- proceso3 -----}
procedure proceso3(var llama_da:llama;var ind:boolean; var siguiente:evento);
var cs,cv,cel_num_tel1, cel_anterior: byte;
    num1,num2:word;
    evento2:evento;
    p:char;
label 1,2,3,4;
begin
  repeat
    begin
      num1:= random(num_de_telefonos)+1;
      buscar_celular(num1);
    end;
  until tele2^.estado = 1 ;
  tele3:=tele2;
  tele3^.estado:=2;
  cel_num_tel1:=cel_num_tel;
  llama_da^.num_tel_aso:=num1;
  tele2:=nil;
  cs:=1;cv:=1;
  while cs <= canales_de_senalizacion do
    begin

```

```

if sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs] = 0
then
begin
sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=1;
while cv <= canales_por_celula do
begin
if sis_celular[cel_num_tel].canal_de_voz[cv] = 0
then
begin
sis_celular[cel_num_tel].canal_de_voz[cv]:=1;
sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
esta_celula[cel_num_tel].canal_voz :=esta_celula[cel_num_tel].canal_voz +1;
goto 1;
end;
cv:=cv+1;
end;{fin del while}
end;
if {cs <= canales_de_senalizacion} and {cv > canales_por_celula} then
begin
esta_celula[cel_num_tel].canal_sena:=esta_celula[cel_num_tel].canal_sena +1;
goto 1;
end;
cs:=cs+1;
end;{fin del while}
if cs > canales_de_senalizacion then
begin
esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos +1;
ind:=false;
tele3^.estado:=1;
goto 4;
end;

1: cel_num_tell:=cel_num_tel;
num2:= random(num_de_telefonos)+1;
buscar_celular(num2);
if {tele2^.estado=2} or {tele2^.estado=0} then
begin
ind:=false;
tele3^.estado:=1;
if sis_celular[cel_num_tell].canal_de_senalizacion[cs] =1
then lib_canal_voz(cel_num_tell);
goto 4;
end;
tele2^.estado:=2;
if {cs <= canales_de_senalizacion} and {cv <= canales_por_celula}
then begin
inserta_llamada(llama_da,cel_num_tell);
req_transf(llama_da);
end
else
if cs <= canales_de_senalizacion then
begin {transferir;}
cel_anterior:=cel_num_tell;
ind:=true;
transferir(llama_da,tele3,ind);
if ind then
begin

```

```

        lib_canal_sen(ce1_anterior);
        esta_celula[ce1_anterior].num_transferencias:=
            esta_celula[ce1_anterior].num_transferencias+1;
    end
else
    begin
        lib_canal_sen(ce1_anterior);
esta_celula[ce1_num_tel1].num_bloqueos:=esta_celula[ce1_num_tel1].num_bloqueos+1;
        tele3^.estado:=1;
        tele2^.estado:=1;
        goto 4;
    end; {if ind}
end
else
    begin
        ind:=false;
        esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos+1;
        tele2^.estado:=1;
        goto 4;
    end;{if cs}

new(llamada32);
llamada32^.tipo:= llama_da^.tipo;
llamada32^.usuario:= llama_da^.usuario;
llamada32^.t_duracion:= llama_da^.t_duracion;
llamada32^.intensidad:= potencia;
llamada32^.t_llegada:= llama_da^.t_llegada;
llamada32^.t_terminacion:=llama_da^.t_terminacion;
llamada32^.t_transferir:= 0;
llamada32^.num_tel_aso:= NUM2;
cs:=1;cv:=1;
while cs <= canales_de_senalizacion do
    begin
        if sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs] = 0
            then
                begin
                    sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=1;
                    while cv <= canales_por_celula do
                        begin
                            if sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_voz[cv] = 0
                                then
                                    begin
                                        sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_voz[cv]:=1;
                                        sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                                        esta_celula[ce1_num_tel].canal_voz :=esta_celula[ce1_num_tel].canal_voz +1;
                                        goto 2;
                                    end;
                                cv:=cv+1;
                            end;{fin del while}
                        end;
                    if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then
                        begin
                            esta_celula[ce1_num_tel].canal_sena:=esta_celula[ce1_num_tel].canal_sena +1;
                            goto 2;
                        end;
                    cs:=cs+1;
                end;{fin del while}
            end;
        end;
    end;

```

```

2: if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv <= canales_por_celula)
  then begin
    inserta_llamada(llamada32,cel_num_tel);
    req_transf(llamada32);
    new(evento2);
    evento2^.tiempo:=llamada32^.t_terminacion;
    evento2^.num:=llamada32^.num_tel_aso;
    evento2^.tipo:=1;
    inserta_evento(evento2);
  end
else
  if cs <= canales_de_senalizacion then
    begin {transferir;}
      cel_anterior:=cel_num_tel1;
      ind:=true;
      transferir(llamada32,tele2,ind);
      if ind then
        begin
          lib_canal_sen(cel_num_tel);
          esta_celula[cel_num_tel].num_transferencias:=
            esta_celula[cel_num_tel].num_transferencias+1;
          new(evento2);
          evento2^.tiempo:=llamada32^.t_terminacion;
          evento2^.num:=llamada32^.num_tel_aso;
          evento2^.tipo:=1;
          inserta_evento(evento2)
        end
      else
        begin
          lib_canal_sen(cel_num_tel);
          esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos+1;
          lib_canal_voz(cel_num_tel);
          siguiente^.num:=llama_da^.num_tel_aso;
          if llama_da^.t_transferir <> 0 then
            eliminar_evento_f(reti_evento,llama_da,2);
          tele3^.estado:=1;
          tele2^.estado:=1;
          goto 3;
        end; {if ind}
      end
    else
      begin
        ind:=false;
        esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos+1;
        buscar_celular(llama_da^.num_tel_aso);
        lib_canal_voz(cel_num_tel);
        siguiente^.num:=llama_da^.num_tel_aso;
        IF llama_da^.t_transferir <> 0 then
          eliminar_evento_f(reti_evento,llama_da,2);
        tele3^.estado:=1;
        tele2^.estado:=1;
        goto 3;
      end; {if cs}

3:mostrar_edo(llamada32,cel_num_tel,ind);
4:mostrar_edo(llama_da,cel_num_tel1,ind);
end;

```

```

{----- proceso2 -----}
procedure proceso2(var llama_da:llama;var ind:boolean);
var cs,cv,cel_anterior: byte;
    num:word;
    p:char;
label 1,2;
begin
    num:= random(num_de_telefonos)+1;
    buscar_celular(num);
    if (tele2^.estado=2) or (tele2^.estado=0) then
        begin
            ind:=false;
            llama_da^.num_tel_aso:=num;
            goto 1;
        end;
    tele2^.estado:=2;
    llama_da^.num_tel_aso:=num;
    cs:=1;cv:=1;
    while cs <= canales_de_senalizacion do
        begin
            if sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs] = 0
            then
                begin
                    sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=1;
                    while cv <= canales_por_celula do
                        begin
                            if sis_celular[cel_num_tel].canal_de_voz[cv] = 0
                            then
                                begin
                                    sis_celular[cel_num_tel].canal_de_voz[cv]:=1;
                                    sis_celular[cel_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                                    esta_celula[cel_num_tel].canal_voz :=esta_celula[cel_num_tel].canal_voz +1;
                                    goto 2;
                                end;
                            cv:=cv+1;
                        end;{fin del while}
                    end;
                end;
            if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then
                begin
                    esta_celula[cel_num_tel].canal_sena:=esta_celula[cel_num_tel].canal_sena +1;
                    goto 2;
                end;
            cs:=cs+1;
        end;{fin del while}
    2:if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv <= canales_por_celula)
        then begin
            inserta_llamada(llama_da,cel_num_tel);
            req_transf(llama_da);
        end
    else
        if cs <= canales_de_senalizacion then
            begin {transferir;}
                cel_anterior:=cel_num_tel;
                ind:=true;
                transferir(llama_da,tele2,ind);
                if ind then
                    begin

```

```

        lib_canal_sen(ce1_anterior);
        esta_celula[ce1_anterior].num_transferencias:=
        esta_celula[ce1_anterior].num_transferencias+1;
    end
else
    begin
        lib_canal_sen(ce1_anterior);
        esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos+1;
        tele2^.estado:=1;
        end; {if ind}
    end
else
    begin
        esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[ce1_num_tel].num_bloqueos+1;
        ind:=false;
        tele2^.estado:=1;
        end;{if cs}
l:rr ostrar_edo(llama_da,ce1_num_tel,ind);
end;

```

```

{----- proceso1 -----}
proc:edure proceso1(var llama_da:llama;var ind:boolean);
var cs,cv, ce1_anterior: byte;
    num:word;
    p:char;
label 1,2;
begin
    r:=ub.telefono:=r_p;
    repeat
        begin
            num:=random(num_de_telefonos)+1;
            buscar_celular(num);
        end;
    until tele2^.estado = 1 ;
    tele2^.estado:=2;
    llama_da^.num_tel_aso:=num;
    cs:=1;cv:=1;
    while cs <= canales_de_senalizacion do
        begin
            if sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs] = 0
                then
                    begin
                        sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=1;
                        while cv <= canales_por_celula do
                            begin
                                if sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_voz[cv] = 0
                                    then
                                        begin
                                            sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_voz[cv]:=1;
                                            sis_celular[ce1_num_tel].canal_de_senalizacion[cs]:=0;
                                            esta_celula[ce1_num_tel].canal_voz :=esta_celula[ce1_num_tel].canal_voz +1;
                                            goto 1;
                                        end;
                                    cv:=cv+1;
                                end;{fin del while}
                            end;
                        if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv > canales_por_celula) then

```

```

begin
esta_celula[cel_num_tel].canal_sena:=esta_celula[cel_num_tel].canal_sena + 1;
goto 1;
end;
cs:=cs+1;
end;{fin del while}
1:if (cs <= canales_de_senalizacion) and (cv <= canales_por_celula)
then
    if r_pub.telefono then begin
        inserta_llamada(llama_da,cel_num_tel);
        req_transf(llama_da);
        end
    else begin
        ind:=false;
        tele2^.estado:=1;
        lib_canal_voz(cel_num_tel);
        goto 2;
        end
else
    if cs <= canales_de_senalizacion then
        begin {transferir;}
        cel_anterior:=cel_num_tel;
        ind:=true;
        transferir(llama_da,tele2,ind);
        if ind then
            begin
                lib_canal_sen(cel_anterior);
                esta_celula[cel_anterior].num_transferencias:=
                esta_celula[cel_anterior].num_transferencias+1;
            end
        else
            begin
                lib_canal_sen(cel_anterior);
                esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos+1;
                tele2^.estado:=1;
            end; {if ind}
        end
    else
        begin
            esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos+1;
            ind:=false;
            tele2^.estado:=1;
        end; {if cs}
2:mostrar_edo(llama_da,cel_num_tel,ind);
end;

{----- llega_llamada -----}
procedure llega_llamada(var siguiente:evento);
var ll : llama;
    aux_fu, nuevo : evento;
    indicador:boolean;
    p:char;
begin
    t_reloj:= siguiente^.tiempo;
    new{nuevo};
    nuevo^.tipo:=0;
    nuevo^.tiempo:=t_llegada(t_reloj);

```

```

if r_uevo^.tiempo < t_simulacion then
begin
  inserta_evento(nuevo);
  indicador:=true;
  new(l1);
  with l1^ do
  begin
    tipo:= tipo_llamada;
    usuario:= random(4)+1;
    t_duracion:= duracion(l1);
    intensidad:= potencia;
    t_llegada:= t_reloj;
    t_terminacion:= t_reloj + t_duracion;
    velocidad:=movimiento;
    t_transferir:=0;
  end;
  case l1^.tipo of
    1:proceso1(l1,indicador);
    2:proceso2(l1,indicador);
    3:proceso3(l1,indicador,siguiente);
  end;
  if indicador then
  begin
    siguiente^.num:=l1^.num_tel_aso;
    new(aux_fu);
    with aux_fu^ do
    begin
      tipo := 1; {terminacion de llamada}
      tiempo := l1^.t_terminacion;
      num:=l1^.num_tel_aso;
    end;
    inserta_evento(aux_fu);
  end
  else
    dispose(l1);
  end
  else
    dispose(nuevo); {fin if nuevo^.tiempo}
  ver_eventos;
  ver_telefonos;
end;

```

```

{----- termina_llamada -----}
procedure termina_llamada(var siguiente:evento);
var aux_l1,aux_l2:llama; p:char;
    aux_tel:lista_telefonos; ind:boolean; label 1,2;
begin
  t_reloj:= siguiente^.tiempo;
  incl:=true;
  buscar_celular(siguiente^.num);
  aux_l1 := cola_llama_evento[cel_num_tel];
  repeat
    aux_l2:=aux_l1^.next;
  until ((aux_l2^.t_terminacion = siguiente^.tiempo) and
        (siguiente^.num = aux_l2^.num_tel_aso))
  then
    begin

```

```

        aux_ll1^.next:=aux_ll2^.next;
        aux_ll2^.next:=nil;
    end
else
    aux_ll1:=aux_ll2;
until ((aux_ll2^.t_terminacion = siguiente^.tiempo) and
        (siguiente^.num = aux_ll2^.num_tel_aso));

1: aux_tel:=cola[cel_num_tel];
   while aux_tel^.next <> cabeza[cel_num_tel] do
       begin
           if aux_tel^.num_telefonico=aux_ll2^.num_tel_aso then
               goto 2;
           aux_tel:=aux_tel^.next;
       end;
2: lib_canal_voz(cel_num_tel);
   aux_tel^.estado:=1;
   aux_tel^.num_de_llamadas:=aux_tel^.num_de_llamadas+1;
   aux_tel^.tiempo_de_uso:=aux_tel^.tiempo_de_uso +aux_ll2^.t_duracion;
   act_estadis(aux_ll2,cel_num_tel);
   mostrar_edo(aux_ll2,aux_tel^.ubicacion,indi);
   ver_eventos;
   ver_telefonos;
end;

{----- trans_llamada -----}
procedure trans_llamada (var siguiente:evento);
var i:byte; p:char;
    n:integer;
    aux_ll:llama;
    aux_tel:lista_telefonos;
    indi:boolean;
    label 1,2;
begin
    t_reloj:=siguiente^.tiempo;
    indi:=true;
    for i:=1 to num_de_celulas do
        begin
            aux_ll:=cola_llama_evento[i];
            while aux_ll^.next <> nil do
                begin
                    if ((aux_ll^.t_transferir = siguiente^.tiempo) and
                        (aux_ll^.num_tel_aso = siguiente^.num))
                        then
                            begin
                                toma_llamada(aux_ll,i,siguiente);
                                n:=aux_ll^.num_tel_aso;
                                buscar_celular(n);
                                goto 1;
                            end;
                    aux_ll:=aux_ll^.next;
                end;
            end;
        end;
1: aux_tel:=tele2;
   lib_canal_voz(cel_num_tel);
   transferir(aux_ll,aux_tel,indi);
   if indi = false then

```

```

begin
  eliminar_evento_f(reti_evento,aux_ll,1);
  esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos:=
    esta_celula[cel_num_tel].num_bloqueos+1;
  goto 2;
end;
esta_celula[cel_num_tel].num_transferencias:=
  esta_celula[cel_num_tel].num_transferencias+1;
aux_ll^.t_transferir:=0;
2:mostrar_edo(aux_ll,aux_tel^.ubicacion,indi);
ver_eventos;
ver_telefonos;
end;

```

```

{----- simulacion -----}

```

```

procedure simulacion;
var t_siguiente_llegada:word;
    aux_evento:evento;
begin
  t_reloj:=1;
  t_siguiente_llegada:= t_llegada(t_reloj);
  new(nuevo_evento);
  nuevo_evento^.tiempo:= t_siguiente_llegada;
  nuevo_evento^.tipo:= 0; {tipo 0 indica llega llamada}
  inserta_evento(nuevo_evento);
  while t_reloj < t_simulacion do
    begin
      toma_evento(siguiente_evento);
      t_reloj:= siguiente_evento^.tiempo;
      pon_tiempo;
      case siguiente_evento^.tipo of
        0 : llega_llamada(siguiente_evento);
        1 : termina_llamada(siguiente_evento);
        2 : trans_llamada(siguiente_evento);
      end;
    end;
  end;
end;
END.

```

PROGRAMA PRINCIPAL

Program cascaron;

```
{SIMULADOR DE UN SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR}
{   VERSION 1.0   }
{REALIZADO POR :   }
{   OMAR GARCES ALVAREZ   }
```

```
uses graph,crt,gayuda,gpresent,gfipo,gproceso,gcomienz;
```

Procedure MenuPrincipal;

```
    var comando ,next_menu, Salsubmenu, letra: char;
    const
        tecla_salidas : set of char = ['I','S','R','A'];
begin
    iniciapantalla;
    Salsubmenu := '';
    salidaprin := '';
    letra:= ' ';
    is:=0;
    t_:= 'p';
    while salidaprin <> 'XX' do
    begin
        if Salsubmenu = '' then
        begin
            repeat
                comando := ReadKey;
                salidaprin := UpCase(comando);
                until UpCase(comando) in tecla_salidas;
            end
        else
            comando := next_menu;
        case UpCase(comando) OF
            'I' : begin
                TituloMenu('INICIO', true);
                Submenus(indicador,menu1,20,40 ,triplexfont,3,4,3,4,35,20,12,17,15,
                    'NORMAL',10,black,Salsubmenu);
                if Salsubmenu = 'Z' then
                    next_menu := 'A';
                if Salsubmenu = 'D' then
                    next_menu := 'S';
                TituloMenu('INICIO', false);
                case indicador of
                    1 : begin
                        if is=0 then
                            begin
                                g_con_iniciales;
                                inicia_mtx;
                                ini_eventos;
                                ini_estadisticas;
                                poner_celulares;
                                gene_edo_ini_celulas;
                                crea_C_J;
                                crea_archivos1;
                                escribe_arch1;
```

```

        sonido;
    end
else
    begin
        cam_con_iniciales;
        inicia_mtx;
        ini_eventos;
        ini_estadisticas;
        poner_celulares;
        gene_edo_ini_celulas;
        crea_C_1;
        crea_archivos1;
        escribe_arch1;
        sonido;
    end;
    end; {fin de 1}
2: begin
    if is=0 then begin
        Cuadromensaje('NO ha realizado SIMULACION',
            codigo,yellow,red);
        sonido;
        end
    else
        begin
            crea_archivos2;
            crea_archivos3;
            Cuadromensaje('Termine de guardar',codigo,yellow,lightGray);
            sonido;
        end;
    end;{fin de 2}
3: begin
    Cuadromensaje('ADIOS',codigo,yellow,magenta);
    delay(100);
    sonido;
    cierra_graficos;
    sonido;
    halt(1);
    end; {fin de 3}
end;{fin del CASE indicador}
end;{fin de 1}
'S' : begin
    TituloMenu('SIMULAR', true);
    Submenus(indicador,menu2,130,40 ,triplexfont,3,4,3,4,35,20,12,17,15,
        'NORMAL',10,black,Salsubmenu);
    if Salsubmenu = 'Z' then
        next_menu := 'I'
    else
        if Salsubmenu = 'D' then
            next_menu := 'R';
        TituloMenu('SIMULAR', false);
        case indicador of
            1 : begin
                if is=0 then begin
                    Cuadromensaje('NO hay condiciones iniciales',
                        codigo,yellow,red);
                    sonido;
                    end

```

```

else
  if is=1 then begin
    pantalla_sim;
    simulacion;
    readln;
    iniciapantalla;
    end
  else begin
    cam_con_iniciales;
    inicia_mtx;
    ini_eventos;
    ini_estadisticas;
    poner_celulares;
    gene_edo_ini_celulas;
    crea_C_1;
    crea_archivos1;
    escribe_arch1;
    pantalla_sim;
    simulacion;
    readln;
    iniciapantalla;
    end; {fin del IF}
  end; {fin del IF}
end; {fin del CASE indicador}
end; {S}
'R' : begin
  TituloMenu('RESULTADOS', true);
  Submenus(indicador,menu3,270,40 ,triplexfont,3,4,3,4,35,20,12,17,15,
    'NORMAL',10,black,Salsubmenu);
  if Salsubmenu = 'Z' then
    next_menu := 'S'
  else
    if Salsubmenu = 'D' then
      next_menu := 'A';
  TituloMenu('RESULTADOS', false);
  case indicador of
    1 : begin
      if is=0 then
        Cuadromensaje('NO HA realizado simulaci9n',codigo,yellow,magenta)
      else
        begin
          cleardevice;
          barras(esta_celula);
          pantalla_resul;
          prenta_resul;
          iniciapantalla;
          end; {fin del IF}
        end; {fin de 1}
    2 : begin
      if is=0 then
        Cuadromensaje('NO HAY Condiciones Iniciales',codigo,yellow,magenta)
      else
        begin
          Cuadromensaje('Verifique impresora ENCENDIDA',codigo,yellow,lightGray);
          imprime_telefonos;
          delay{9000};
          sonido;}
    end;
  end;
end;

```

```

        imprime_telefonos2;
        delay(200*num_de_telefonos);
        sonido;
        imprime_datos;
        delay(22000);
        sonido;
        end; {fin del IF}
    end; {fin de 2}
end; {fin del CASE indicador}
end;{R}
'A' : begin
    TituloMenu('AYUDA', true);
    Submenus(indicador,menu4,440,40 ,triplexfont,3,4,3,4,35,20,12,17,15,
        'NORMAL',10,black,Salsubmenu);
    if Salsubmenu = 'Z' then
        next_menu := 'R'
    else
        if Salsubmenu = 'D' then
            next_menu := 'I';
        TituloMenu('AYUDA', false);
        case indicador of
            1 : begin
                esc_ayuda('c:\omar\tesma\prog2\ayutex');
            end;{fin de 1}
        end;
    end; {A}
end, { del CASE comando}
end; {del WHILE}
end;

{ ----- PRINCIPAL ----- }
begin
    inicia_graficos;
    preser facion;
    TitiSub.Menu;
    MenuFrincipal;
    cierra_graficos;
end.

```

A2. TABLAS ERLANG B

B													N
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
.010	.0121	.0152	.0204	.0309	.0526	.0753	.111	.176	.250	.429	.667	1.00	1
.153	.168	.190	.223	.282	.381	.470	.595	.796	1.00	1.45	2.00	2.73	2
.455	.489	.535	.602	.715	.899	1.06	1.27	1.60	1.93	2.63	3.48	4.59	3
.869	.922	.992	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.50	2.95	3.89	5.02	6.50	4
1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.50	2.88	3.45	4.01	5.19	6.60	8.44	5
1.91	2.00	2.11	2.28	2.54	2.96	3.30	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4	6
2.50	2.60	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.80	12.4	7
3.13	3.25	3.40	3.63	3.99	4.54	5.00	5.60	6.50	7.37	9.21	11.4	14.3	8
3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13.0	16.3	9
4.46	4.61	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12.0	14.7	18.3	10
5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3	11
5.88	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12.0	14.7	18.0	22.2	12
6.61	6.80	7.05	7.40	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2	13
7.35	7.56	7.82	8.20	8.80	9.73	10.5	11.5	13.0	14.4	17.5	21.2	26.2	14
8.11	8.33	8.61	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5	14.1	15.6	18.9	22.9	28.2	15
8.88	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5	15.2	16.8	20.3	24.5	30.2	16
9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.4	14.5	16.3	18.0	21.7	26.2	32.2	17
10.4	10.7	11.0	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5	17.4	19.2	23.1	27.8	34.2	18
11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6	18.5	20.4	24.5	29.5	36.2	19
12.0	12.3	12.7	13.2	14.0	15.2	16.3	17.6	19.6	21.6	25.9	31.2	38.2	20
12.8	13.1	13.5	14.0	14.9	16.2	17.3	18.7	20.8	22.8	27.3	32.8	40.2	21
13.7	14.0	14.3	14.9	15.8	17.1	18.2	19.7	21.9	24.1	28.7	34.5	42.1	22
14.5	14.8	15.2	15.8	16.7	18.1	19.2	20.7	23.0	25.3	30.1	36.1	44.1	23
15.3	15.6	16.0	16.6	17.6	19.0	20.2	21.8	24.2	26.5	31.6	37.8	46.1	24
16.1	16.5	16.9	17.5	18.5	20.0	21.2	22.8	25.3	27.7	33.0	39.4	48.1	25
17.0	17.3	17.8	18.4	19.4	20.9	22.2	23.9	26.4	28.9	34.4	41.1	50.1	26
17.8	18.2	18.6	19.3	20.3	21.9	23.2	24.9	27.6	30.2	35.8	42.8	52.1	27
18.6	19.0	19.5	20.2	21.2	22.9	24.2	26.0	28.7	31.4	37.2	44.4	54.1	28
19.5	19.9	20.4	21.0	22.1	23.8	25.2	27.1	29.9	32.6	38.6	46.1	56.1	29
20.3	20.7	21.2	21.9	23.1	24.8	26.2	28.1	31.0	33.8	40.0	47.7	58.1	30
21.2	21.6	22.1	22.8	24.0	25.8	27.2	29.2	32.1	35.1	41.5	49.4	60.1	31
22.0	22.5	23.0	23.7	24.9	26.7	28.2	30.2	33.3	36.3	42.9	51.1	62.1	32
22.9	23.3	23.9	24.6	25.8	27.7	29.3	31.3	34.4	37.5	44.3	52.7	64.1	33
23.8	24.2	24.8	25.5	26.8	28.7	30.3	32.4	35.6	38.8	45.7	54.4	66.1	34
24.6	25.1	25.6	26.4	27.7	29.7	31.3	33.4	36.7	40.0	47.1	56.0	68.1	35
25.5	26.0	26.5	27.3	28.6	30.7	32.3	34.5	37.9	41.2	48.6	57.7	70.1	36
26.4	26.8	27.4	28.3	29.6	31.6	33.3	35.6	39.0	42.4	50.0	59.4	72.1	37
27.3	27.7	28.3	29.2	30.5	32.6	34.4	36.6	40.2	43.7	51.4	61.0	74.1	38
28.1	28.6	29.2	30.1	31.5	33.6	35.4	37.7	41.3	44.9	52.8	62.7	76.1	39
29.0	29.5	30.1	31.0	32.4	34.6	36.4	38.8	42.5	46.1	54.2	64.4	78.1	40
29.9	30.4	31.0	31.9	33.4	35.6	37.4	39.9	43.6	47.4	55.7	66.0	80.1	41
30.8	31.3	31.9	32.8	34.3	36.6	38.4	40.9	44.8	48.6	57.1	67.7	82.1	42
31.7	32.2	32.8	33.8	35.3	37.6	39.5	42.0	45.9	49.9	58.5	69.3	84.1	43
32.5	33.1	33.7	34.7	36.2	38.6	40.5	43.1	47.1	51.1	59.9	71.0	86.1	44
33.4	34.0	34.6	35.6	37.2	39.6	41.5	44.2	48.2	52.3	61.3	72.7	88.1	45
34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	42.6	45.2	49.4	53.6	62.8	74.3	90.1	46
35.2	35.8	36.5	37.5	39.1	41.5	43.6	46.3	50.6	54.8	64.2	76.0	92.1	47
36.1	36.7	37.4	38.4	40.0	42.5	44.6	47.4	51.7	56.0	65.6	77.7	94.1	48
37.0	37.6	38.3	39.3	41.0	43.5	45.7	48.5	52.9	57.3	67.0	79.3	96.1	49
37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1	50

N	B												
	0.01% - 0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	
1	.0001	.0002	.0003	.0005	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0081	.0091
2	.0142	.0202	.0248	.0321	.0458	.0653	.0806	.0937	.105	.116	.126	.135	.144
3	.0868	.110	.127	.152	.194	.249	.289	.321	.349	.374	.397	.418	.437
4	.235	.282	.315	.362	.439	.535	.602	.656	.701	.741	.777	.810	.841
5	.452	.527	.577	.649	.762	.900	.994	1.07	1.13	1.19	1.24	1.28	1.32
6	.728	.832	.900	.996	1.15	1.33	1.45	1.54	1.62	1.69	1.75	1.81	1.86
7	1.05	1.19	1.27	1.39	1.58	1.80	1.95	2.06	2.16	2.24	2.31	2.38	2.44
8	1.42	1.58	1.69	1.83	2.05	2.31	2.48	2.62	2.73	2.83	2.91	2.99	3.06
9	1.83	2.01	2.13	2.30	2.56	2.85	3.05	3.21	3.33	3.44	3.54	3.63	3.71
10	2.26	2.47	2.61	2.80	3.09	3.43	3.65	3.82	3.96	4.08	4.19	4.29	4.38
11	2.72	2.96	3.12	3.33	3.65	4.02	4.27	4.45	4.61	4.74	4.86	4.97	5.07
12	3.21	3.47	3.65	3.88	4.23	4.64	4.90	5.11	5.28	5.43	5.55	5.67	5.78
13	3.71	4.01	4.19	4.45	4.83	5.27	5.56	5.78	5.96	6.12	6.26	6.39	6.50
14	4.24	4.56	4.76	5.03	5.45	5.92	6.23	6.7	6.66	6.83	6.98	7.12	7.24
15	4.78	5.12	5.34	5.63	6.08	6.58	6.91	7.17	7.38	7.56	7.71	7.86	7.99
16	5.34	5.70	5.94	6.25	6.72	7.26	7.61	7.88	8.10	8.29	8.46	8.61	8.75
17	5.91	6.30	6.55	6.88	7.38	7.95	8.32	8.60	8.83	9.03	9.21	9.37	9.52
18	6.50	6.91	7.17	7.52	8.05	8.64	9.03	9.33	9.58	9.79	9.98	10.1	10.3
19	7.09	7.53	7.80	8.17	8.72	9.35	9.76	10.1	10.3	10.6	10.7	10.9	11.1
20	7.70	8.16	8.44	8.83	9.41	10.1	10.5	10.8	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9
21	8.32	8.79	9.10	9.50	10.1	10.8	11.2	11.6	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7
22	8.95	9.44	9.76	10.2	10.8	11.5	12.0	12.3	12.6	12.9	13.1	13.3	13.5
23	9.58	10.1	10.4	10.9	11.5	12.3	12.7	13.1	13.4	13.7	13.9	14.1	14.3
24	10.2	10.8	11.1	11.6	12.2	13.0	13.5	13.9	14.2	14.5	14.7	14.9	15.1
25	10.9	11.4	11.8	12.3	13.0	13.8	14.3	14.7	15.0	15.3	15.5	15.7	15.9
26	11.5	12.1	12.5	13.0	13.7	14.5	15.1	15.5	15.8	16.1	16.3	16.6	16.8
27	12.2	12.8	13.2	13.7	14.4	15.3	15.8	16.3	16.6	16.9	17.2	17.4	17.6
28	12.9	13.5	13.9	14.4	15.2	16.1	16.6	17.1	17.4	17.7	18.0	18.2	18.4
29	13.6	14.2	14.6	15.1	15.9	16.8	17.4	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.3
30	14.2	14.9	15.3	15.9	16.7	17.6	18.2	18.7	19.0	19.4	19.6	19.9	20.1
31	14.9	15.6	16.0	16.6	17.4	18.4	19.0	19.5	19.9	20.2	20.5	20.7	21.0
32	15.6	16.3	16.8	17.3	18.2	19.2	19.8	20.3	20.7	21.0	21.3	21.6	21.8
33	16.3	17.0	17.5	18.1	19.0	20.0	20.6	21.1	21.5	21.9	22.2	22.4	22.7
34	17.0	17.8	18.2	18.8	19.7	20.8	21.4	21.9	22.3	22.7	23.0	23.3	23.5
35	17.8	18.5	19.0	19.6	20.5	21.6	22.2	22.7	23.2	23.5	23.8	24.1	24.4
36	18.5	19.2	19.7	20.3	21.3	22.4	23.1	23.6	24.0	24.4	24.7	25.0	25.3
37	19.2	20.0	20.5	21.1	22.1	23.2	23.9	24.4	24.8	25.2	25.6	25.9	26.1
38	19.9	20.7	21.2	21.9	22.9	24.0	24.7	25.2	25.7	26.1	26.4	26.7	27.0
39	20.6	21.5	22.0	22.6	23.7	24.8	25.5	26.1	26.5	26.9	27.3	27.6	27.9
40	21.4	22.2	22.7	23.4	24.4	25.6	26.3	26.9	27.4	27.8	28.1	28.5	28.7
41	22.1	23.0	23.5	24.2	25.2	26.4	27.2	27.8	28.2	28.6	29.0	29.3	29.6
42	22.8	23.7	24.2	25.0	26.0	27.2	28.0	28.6	29.1	29.5	29.9	30.2	30.5
43	23.6	24.5	25.0	25.7	26.8	28.1	28.8	29.4	29.9	30.4	30.7	31.1	31.4
44	24.3	25.2	25.8	26.5	27.6	28.9	29.7	30.3	30.8	31.2	31.6	31.9	32.3
45	25.1	26.0	26.6	27.3	28.4	29.7	30.5	31.1	31.7	32.1	32.5	32.8	33.1
46	25.8	26.8	27.3	28.1	29.3	30.5	31.4	32.0	32.5	33.0	33.4	33.7	34.0
47	26.6	27.5	28.1	28.9	30.1	31.4	32.2	32.9	33.4	33.8	34.2	34.6	34.9
48	27.3	28.3	28.9	29.7	30.9	32.2	33.1	33.7	34.2	34.7	35.1	35.5	35.8
49	28.1	29.1	29.7	30.5	31.7	33.0	33.9	34.6	35.1	35.6	36.0	36.4	36.7
50	28.9	29.9	30.5	31.3	32.5	33.9	34.8	35.4	36.0	36.5	36.9	37.2	37.6

A in Erl

N	B												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
50	28.9	29.9	30.5	31.3	32.5	33.9	34.8	35.4	36.0	36.5	36.9	37.2	37.6
51	29.6	30.6	31.3	32.1	33.3	34.7	35.6	36.3	36.9	37.3	37.8	38.1	38.5
52	30.4	31.4	32.0	32.9	34.2	35.6	36.5	37.2	37.7	38.2	38.6	39.0	39.4
53	31.2	32.2	32.8	33.7	35.0	36.4	37.3	38.0	38.6	39.1	39.5	39.9	40.3
54	31.9	33.0	33.6	34.5	35.8	37.2	38.2	38.9	39.5	40.0	40.4	40.8	41.2
55	32.7	33.8	34.4	35.3	36.6	38.1	39.0	39.8	40.4	40.9	41.3	41.7	42.1
56	33.5	34.6	35.2	36.1	37.5	38.9	39.9	40.6	41.2	41.7	42.2	42.6	43.0
57	34.3	35.4	36.0	36.9	38.3	39.8	40.8	41.5	42.1	42.6	43.1	43.5	43.9
58	35.1	36.2	36.8	37.8	39.1	40.6	41.6	42.4	43.0	43.5	44.0	44.4	44.8
59	35.8	37.0	37.6	38.6	40.0	41.5	42.5	43.3	43.9	44.4	44.9	45.3	45.7
60	36.6	37.8	38.5	39.4	40.8	42.4	43.4	44.1	44.8	45.3	45.8	46.2	46.6
61	37.4	38.6	39.3	40.2	41.6	43.2	44.2	45.0	45.6	46.2	46.7	47.1	47.5
62	38.2	39.4	40.1	41.0	42.5	44.1	45.1	45.9	46.5	47.1	47.6	48.0	48.4
63	39.0	40.2	40.9	41.9	43.3	44.9	46.0	46.8	47.4	48.0	48.5	48.9	49.3
64	39.8	41.0	41.7	42.7	44.2	45.8	46.8	47.6	48.3	48.9	49.4	49.8	50.2
65	40.6	41.8	42.5	43.5	45.0	46.6	47.7	48.5	49.2	49.8	50.3	50.7	51.1
66	41.4	42.6	43.3	44.4	45.8	47.5	48.6	49.4	50.1	50.7	51.2	51.6	52.0
67	42.2	43.4	44.2	45.2	46.7	48.4	49.5	50.3	51.0	51.6	52.1	52.5	53.0
68	43.0	44.2	45.0	46.0	47.5	49.2	50.3	51.2	51.9	52.5	53.0	53.4	53.9
69	43.8	45.0	45.8	46.8	48.4	50.1	51.2	52.1	52.8	53.4	53.9	54.4	54.8
70	44.6	45.8	46.6	47.7	49.2	51.0	52.1	53.0	53.7	54.3	54.8	55.3	55.7
71	45.4	46.7	47.5	48.5	50.1	51.8	53.0	53.8	54.6	55.2	55.7	56.2	56.6
72	46.2	47.5	48.3	49.4	50.9	52.7	53.9	54.7	55.5	56.1	56.6	57.1	57.5
73	47.0	48.3	49.1	50.2	51.8	53.6	54.7	55.6	56.4	57.0	57.5	58.0	58.5
74	47.8	49.1	49.9	51.0	52.7	54.5	55.6	56.5	57.3	57.9	58.4	58.9	59.4
75	48.6	49.9	50.8	51.9	53.5	55.3	56.5	57.4	58.2	58.8	59.3	59.8	60.3
76	49.4	50.8	51.6	52.7	54.4	56.2	57.4	58.3	59.1	59.7	60.3	60.8	61.2
77	50.2	51.6	52.4	53.6	55.2	57.1	58.3	59.2	60.0	60.6	61.2	61.7	62.1
78	51.1	52.4	53.3	54.4	56.1	58.0	59.2	60.1	60.9	61.5	62.1	62.6	63.1
79	51.9	53.2	54.1	55.3	56.9	58.8	60.1	61.0	61.8	62.4	63.0	63.5	64.0
80	52.7	54.1	54.9	56.1	57.8	59.7	61.0	61.9	62.7	63.3	63.9	64.4	64.9
81	53.5	54.9	55.8	56.9	58.7	60.6	61.8	62.8	63.6	64.2	64.8	65.4	65.8
82	54.3	55.7	56.6	57.8	59.5	61.5	62.7	63.7	64.5	65.2	65.7	66.3	66.8
83	55.1	56.6	57.5	58.6	60.4	62.4	63.6	64.6	65.4	66.1	66.7	67.2	67.7
84	56.0	57.4	58.3	59.5	61.3	63.2	64.5	65.5	66.3	67.0	67.6	68.1	68.6
85	56.8	58.2	59.1	60.4	62.1	64.1	65.4	66.4	67.2	67.9	68.5	69.1	69.6
86	57.6	59.1	60.0	61.2	63.0	65.0	66.3	67.3	68.1	68.8	69.4	70.0	70.5
87	58.4	59.9	60.8	62.1	63.9	65.9	67.2	68.2	69.0	69.7	70.3	70.9	71.4
88	59.3	60.8	61.7	62.9	64.7	66.8	68.1	69.1	69.9	70.6	71.3	71.8	72.3
89	60.1	61.6	62.5	63.8	65.6	67.7	69.0	70.0	70.8	71.6	72.2	72.8	73.3
90	60.9	62.4	63.4	64.6	66.5	68.6	69.9	70.9	71.8	72.5	73.1	73.7	74.2
91	61.8	63.3	64.2	65.5	67.4	69.4	70.8	71.8	72.7	73.4	74.0	74.6	75.1
92	62.6	64.1	65.1	66.3	68.2	70.3	71.7	72.7	73.6	74.3	75.0	75.5	76.1
93	63.4	65.0	65.9	67.2	69.1	71.2	72.6	73.6	74.5	75.2	75.9	76.5	77.0
94	64.2	65.8	66.8	68.1	70.0	72.1	73.5	74.5	75.4	76.2	76.8	77.4	77.9
95	65.1	66.6	67.6	68.9	70.9	73.0	74.4	75.5	76.3	77.1	77.7	78.3	78.9
96	65.9	67.5	68.5	69.8	71.7	73.9	75.3	76.4	77.2	78.0	78.7	79.3	79.8
97	66.8	68.3	69.3	70.7	72.6	74.8	76.2	77.3	78.2	78.9	79.6	80.2	80.7
98	67.6	69.2	70.2	71.5	73.5	75.7	77.1	78.2	79.1	79.8	80.5	81.1	81.7
99	68.4	70.0	71.0	72.4	74.4	76.6	78.0	79.1	80.0	80.8	81.4	82.0	82.6
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80.0	80.9	81.7	82.4	83.0	83.5

A in Erl

B													N
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1	50
38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1	51
39.7	40.3	41.0	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.3	61.0	71.3	84.3	102.1	52
40.6	41.2	42.0	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86.0	104.1	53
41.5	42.1	42.9	44.0	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1	54
42.4	43.0	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55.0	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1	55
43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1	61.0	65.9	77.0	91.0	110.1	56
44.2	44.8	45.7	46.8	48.7	51.5	53.9	57.1	62.1	67.2	78.4	92.6	112.1	57
45.1	45.8	46.6	47.8	49.6	52.6	55.0	58.2	63.3	68.4	79.8	94.3	114.1	58
46.0	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56.0	59.3	64.5	69.7	81.3	96.0	116.1	59
46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4	65.6	70.9	82.7	97.6	118.1	60
47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.5	66.8	72.1	84.1	99.3	120.1	61
48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6	68.0	73.4	85.5	101.0	122.1	62
49.7	50.4	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7	69.1	74.6	87.0	102.6	124.1	63
50.6	51.3	52.2	53.4	55.4	58.6	61.2	64.8	70.3	75.9	88.4	104.3	126.1	64
51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8	71.4	77.1	89.8	106.0	128.1	65
52.4	53.1	54.0	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9	72.6	78.3	91.2	107.6	130.1	66
53.4	54.1	55.0	56.3	58.4	61.6	64.4	68.0	73.8	79.6	92.7	109.3	132.1	67
54.3	55.0	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1	74.9	80.8	94.1	111.0	134.1	68
55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2	76.1	82.1	95.5	112.6	136.1	69
56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3	77.3	83.3	96.9	114.3	138.1	70
57.0	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4	78.4	84.6	98.4	115.9	140.1	71
58.0	58.7	59.7	61.0	63.2	66.7	69.6	73.5	79.6	85.8	99.8	117.6	142.1	72
58.9	59.6	60.6	62.0	64.2	67.7	70.6	74.6	80.8	87.0	101.2	119.3	144.1	73
59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6	81.9	88.3	102.7	120.9	146.1	74
60.7	61.5	62.5	63.9	66.2	69.7	72.7	76.7	83.1	89.5	104.1	122.6	148.0	75
61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8	84.2	90.8	105.5	124.3	150.0	76
62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9	85.3	92.0	106.9	125.9	152.0	77
63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80.0	86.6	93.3	108.4	127.6	154.0	78
64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1	87.7	94.5	109.8	129.3	156.0	79
65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78.0	82.2	88.9	95.7	111.2	130.9	158.0	80
66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79.0	83.3	90.1	97.0	112.6	132.6	160.0	81
67.2	68.0	69.1	70.6	73.0	76.9	80.1	84.4	91.2	98.2	114.1	134.3	162.0	82
68.2	69.0	70.1	71.6	74.0	77.9	81.1	85.5	92.4	99.5	115.5	135.9	164.0	83
69.1	69.9	71.0	72.5	75.0	78.9	82.2	86.6	93.6	100.7	116.9	137.6	166.0	84
70.0	70.9	71.9	73.5	76.0	79.9	83.2	87.7	94.7	102.0	118.3	139.3	168.0	85
70.9	71.8	72.9	74.5	77.0	80.9	84.3	88.8	95.9	103.2	119.8	140.9	170.0	86
71.9	72.7	73.8	75.4	78.0	82.0	85.3	89.9	97.1	104.5	121.2	142.6	172.0	87
72.8	73.7	74.8	76.4	78.9	83.0	86.4	91.0	98.2	105.7	122.6	144.3	174.0	88
73.7	74.6	75.7	77.3	79.9	84.0	87.4	92.1	99.4	106.9	124.0	145.9	176.0	89
74.7	75.6	76.7	78.3	80.9	85.0	88.5	93.1	100.6	108.2	125.5	147.6	178.0	90
75.6	76.5	77.6	79.3	81.9	86.0	89.5	94.2	101.7	109.4	126.9	149.3	180.0	91
76.6	77.4	78.6	80.2	82.9	87.1	90.6	95.3	102.9	110.7	128.3	150.9	182.0	92
77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4	104.1	111.9	129.7	152.6	184.0	93
78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5	105.3	113.2	131.2	154.3	186.0	94
79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6	106.4	114.4	132.6	155.9	188.0	95
80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134.0	157.6	190.0	96
81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192.0	97
82.2	83.1	84.3	86.0	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194.0	98
83.1	84.1	85.3	87.0	89.8	94.2	97.9	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6	196.0	99
84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0	100

A in Erl

N	B												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80.0	80.9	81.7	82.4	83.0	83.5
102	70.9	72.6	73.6	75.0	77.0	79.3	80.7	81.8	82.7	83.5	84.2	84.8	85.4
104	72.6	74.3	75.3	76.7	78.8	81.1	82.5	83.7	84.6	85.4	86.1	86.7	87.3
106	74.3	76.0	77.1	78.5	80.5	82.8	84.3	85.5	86.4	87.2	87.9	88.6	89.2
108	76.0	77.7	78.8	80.2	82.3	84.6	86.2	87.3	88.3	89.1	89.8	90.5	91.1
110	77.7	79.4	80.5	81.9	84.1	86.4	88.0	89.2	90.1	90.9	91.7	92.3	92.9
112	79.4	81.1	82.2	83.7	85.8	88.3	89.8	91.0	92.0	92.8	93.5	94.2	94.8
114	81.1	82.9	84.0	85.4	87.6	90.1	91.6	92.8	93.8	94.7	95.4	96.1	96.7
116	82.8	84.6	85.7	87.2	89.4	91.9	93.5	94.7	95.7	96.5	97.3	98.0	98.6
118	84.5	86.3	87.4	89.0	91.2	93.7	95.3	96.5	97.5	98.4	99.2	99.9	100.5
120	86.2	88.0	89.2	90.7	93.0	95.5	97.1	98.4	99.4	100.3	101.0	101.7	102.4
122	87.9	89.8	90.9	92.5	94.7	97.3	98.9	100.2	101.2	102.1	102.9	103.6	104.3
124	89.6	91.5	92.7	94.2	96.5	99.1	100.8	102.1	103.1	104.0	104.8	105.5	106.2
126	91.3	93.2	94.4	96.0	98.3	100.9	102.6	103.9	105.0	105.9	106.7	107.4	108.1
128	93.1	95.0	96.2	97.8	100.1	102.7	104.5	105.8	106.8	107.7	108.5	109.3	109.9
130	94.8	96.7	97.9	99.5	101.9	104.6	106.3	107.6	108.7	109.6	110.4	111.2	111.8
132	96.5	98.5	99.7	101.3	103.7	106.4	108.1	109.5	110.5	111.5	112.3	113.1	113.7
134	98.2	100.2	101.4	103.1	105.5	108.2	110.0	111.3	112.4	113.4	114.2	115.0	115.6
136	100.0	101.9	103.2	104.9	107.3	110.0	111.8	113.2	114.3	115.2	116.1	116.8	117.5
138	101.7	103.7	105.0	106.6	109.1	111.9	113.7	115.0	116.2	117.1	118.0	118.7	119.4
140	103.4	105.4	106.7	108.4	110.9	113.7	115.5	116.9	118.0	119.0	119.9	120.6	121.4
142	105.1	107.2	108.5	110.2	112.7	115.5	117.4	118.7	119.9	120.9	121.8	122.5	123.3
144	106.9	109.0	110.2	112.0	114.5	117.4	119.2	120.6	121.8	122.8	123.6	124.4	125.2
146	108.6	110.7	112.0	113.8	116.3	119.2	121.1	122.5	123.6	124.6	125.5	126.3	127.1
148	110.4	112.5	113.8	115.5	118.1	121.0	122.9	124.3	125.5	126.5	127.4	128.2	129.0
150	112.1	114.2	115.6	117.3	119.9	122.9	124.8	126.2	127.4	128.4	129.3	130.1	130.9
152	113.8	116.0	117.3	119.1	121.8	124.7	126.6	128.1	129.3	130.3	131.2	132.0	132.8
154	115.6	117.8	119.1	120.9	123.6	126.5	128.5	129.9	131.2	132.2	133.1	133.9	134.7
156	117.3	119.5	120.9	122.7	125.4	128.4	130.3	131.8	133.0	134.1	135.0	135.9	136.6
158	119.1	121.3	122.7	124.5	127.2	130.2	132.2	133.7	134.9	136.0	136.9	137.8	138.5
160	120.8	123.1	124.4	126.3	129.0	132.1	134.0	135.6	136.8	137.9	138.8	139.7	140.4
162	122.6	124.8	126.2	128.1	130.8	133.9	135.9	137.4	138.7	139.8	140.7	141.6	142.4
164	124.3	126.6	128.0	129.9	132.7	135.8	137.8	139.3	140.6	141.7	142.6	143.5	144.3
166	126.1	128.4	129.8	131.7	134.5	137.6	139.6	141.2	142.5	143.5	144.5	145.4	146.2
168	127.9	130.2	131.6	133.5	136.3	139.4	141.5	143.1	144.3	145.4	146.4	147.3	148.1
170	129.6	131.9	133.4	135.3	138.1	141.3	143.4	144.9	146.2	147.3	148.3	149.2	150.0
172	131.4	133.7	135.2	137.1	139.9	143.1	145.2	146.8	148.1	149.2	150.2	151.1	151.9
174	133.1	135.5	136.9	138.9	141.8	145.0	147.1	148.7	150.0	151.1	152.1	153.0	153.9
176	134.9	137.3	138.7	140.7	143.6	146.9	149.0	150.6	151.9	153.0	154.0	155.0	155.8
178	136.7	139.0	140.5	142.5	145.4	148.7	150.8	152.4	153.8	154.9	156.0	156.9	157.7
180	138.4	140.8	142.3	144.3	147.3	150.6	152.7	154.3	155.7	156.8	157.9	158.8	159.6
182	140.2	142.6	144.1	146.1	149.1	152.4	154.6	156.2	157.6	158.7	159.8	160.7	161.6
184	142.0	144.4	145.9	147.9	150.9	154.3	156.4	158.1	159.5	160.6	161.7	162.6	163.5
186	143.7	146.2	147.7	149.8	152.8	156.1	158.3	160.0	161.4	162.5	163.6	164.5	165.4
188	145.5	148.0	149.5	151.6	154.6	158.0	160.2	161.9	163.3	164.4	165.5	166.5	167.3
190	147.3	149.8	151.3	153.4	156.4	159.8	162.1	163.8	165.2	166.4	167.4	168.4	169.3
192	149.1	151.6	153.1	155.2	158.3	161.7	163.9	165.6	167.0	168.3	169.3	170.3	171.2
194	150.8	153.4	154.9	157.0	160.1	163.6	165.8	167.5	168.9	170.2	171.2	172.2	173.1
196	152.6	155.2	156.7	158.8	161.9	165.4	167.7	169.4	170.8	172.1	173.2	174.1	175.0
198	154.4	156.9	158.5	160.7	163.8	167.3	169.6	171.3	172.7	174.0	175.1	176.1	177.0
200	156.2	158.7	160.3	162.5	165.6	169.2	171.4	173.2	174.6	175.9	177.0	178.0	178.9

A in Erl

B													N
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0	100
85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202.0	102
87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.5	116.9	125.6	145.4	170.9	206.0	104
89.7	90.7	92.0	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.2	210.0	106
91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214.0	108
93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1	124.0	133.1	154.0	180.9	218.0	110
95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	126.3	135.6	156.9	184.2	222.0	112
97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	128.6	138.1	159.7	187.6	226.0	114
99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7	131.0	140.6	162.6	190.9	230.0	116
101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118.0	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234.0	118
103.0	104.0	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238.0	120
104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3	138.0	148.1	171.1	200.9	242.0	122
106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5	140.3	150.6	174.0	204.2	246.0	124
108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7	142.7	153.0	176.8	207.6	250.0	126
110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124.0	128.6	134.9	145.0	155.5	179.7	210.9	254.0	128
112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1	147.4	158.0	182.5	214.2	258.0	130
114.4	115.5	117.0	119.1	122.6	128.1	132.8	139.3	149.7	160.5	185.4	217.6	262.0	132
116.3	117.4	119.0	121.1	124.6	130.2	134.9	141.5	152.0	163.0	188.3	220.9	266.0	134
118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7	154.4	165.5	191.1	224.2	270.0	136
120.1	121.3	122.8	125.0	128.6	134.3	139.2	145.9	156.7	168.0	194.0	227.6	274.0	138
122.0	123.2	124.8	127.0	130.6	136.4	141.3	148.1	159.1	170.5	196.8	230.9	278.0	140
123.9	125.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3	161.4	173.0	199.7	234.2	282.0	142
125.8	127.0	128.6	130.9	134.6	140.5	145.6	152.5	163.8	175.5	202.5	237.6	286.0	144
127.7	129.0	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7	166.1	178.0	205.4	240.9	290.0	146
129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9	168.5	180.5	208.2	244.2	294.0	148
131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1	170.8	183.0	211.1	247.6	298.0	150
133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154.0	161.3	173.1	185.5	214.0	250.9	302.0	152
135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5	175.5	188.0	216.8	254.2	306.0	154
137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7	177.8	190.5	219.7	257.6	310.0	156
139.2	140.5	142.3	144.7	148.6	155.0	160.4	167.9	180.2	193.0	222.5	260.9	314.0	158
141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157.0	162.5	170.2	182.5	195.5	225.4	264.2	318.0	160
143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4	184.9	198.0	228.2	267.6	322.0	162
145.0	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6	187.2	200.4	231.1	270.9	326.0	164
146.9	148.3	150.0	152.6	156.7	163.3	168.9	176.8	189.6	202.9	233.9	274.2	330.0	166
148.9	150.2	152.0	154.5	158.7	165.3	171.0	179.0	191.9	205.4	236.8	277.6	334.0	168
150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2	194.2	207.9	239.7	280.9	338.0	170
152.7	154.1	155.9	158.5	162.7	169.5	175.3	183.4	196.6	210.4	242.5	284.2	342.0	172
154.6	156.0	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6	198.9	212.9	245.4	287.6	346.0	174
156.6	158.0	159.8	162.4	166.7	173.6	179.6	187.8	201.3	215.4	248.2	290.9	350.0	176
158.5	159.9	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190.0	203.6	217.9	251.1	294.2	354.0	178
160.4	161.8	163.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2	206.0	220.4	253.9	297.5	358.0	180
162.3	163.8	165.7	168.3	172.8	179.8	185.9	194.4	208.3	222.9	256.8	300.9	362.0	182
164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6	210.7	225.4	259.6	304.2	366.0	184
166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184.0	190.2	198.9	213.0	227.9	262.5	307.5	370.0	186
168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1	215.4	230.4	265.4	310.9	374.0	188
170.1	171.5	173.5	176.3	180.8	188.1	194.5	203.3	217.7	232.9	268.2	314.2	378.0	190
172.0	173.5	175.4	178.2	182.8	190.2	196.6	205.5	220.1	235.4	271.1	317.5	382.0	192
173.9	175.4	177.4	180.2	184.8	192.3	198.7	207.7	222.4	237.9	273.9	320.9	386.0	194
175.9	177.4	179.4	182.2	186.9	194.4	200.8	209.9	224.8	240.4	276.8	324.2	390.0	196
177.8	179.3	181.3	184.2	188.9	196.4	203.0	212.1	227.1	242.9	279.6	327.5	394.0	198
179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3	229.4	245.4	282.5	330.9	398.0	200

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aaron Kershenbaum. "Telecommunications Networks Design Algorithms" .Ed. McGraw Hill. 1993.
- [2] Alejandro Ibarra Yunez, et al.. "Telecomunicaciones en México el reto de la integración" . Ed. Tecnológico de Monterrey. 1994.
- [3] Arturo Fuentes Zenón. "El pensamiento sistémico caracterización y principales corrientes". Cuadernos de planeación y sistemas. DEPEI, UNAM. 1990.
- [4] Benders J. F.. "Partitioning procedures for solving mixed variables programming problems". Numerical Mathematics. Vol. 4. 1962. Pag. 238 - 252.
- [5] Carlos Suárez Martell. "Telefonía Celular: lo grande detrás de lo pequeño". Mundo Celular. No. 26, Noviembre 1992.
- [6] Charles Hitch, "Una apreciación del análisis de sistemas", en Stanford L. Ophth. Ed. Fondo de Cultura Económica, lecturas No. 24. 1978.
- [7] D. M. Balston, R. C. V. Marario. "Cellular Radio Systems". Mobile Communications Series. Ed. Artech House. 1993.
- [8] David Whitaker. "Investigación operativa con el computador". Ed. Paraninfo. 1988.
- [9] Domingo Lara Rodríguez, et al.. "Sistemas de Comunicación Móvil " . Ed. Alfaomega. 1992.
- [10] Eugenio Rey. "Telecomunicaciones Móviles". Serie Mundo Electrónico. Ed. Alfaomega. 1995.

- [11] G. B. Dantzing. "Linear programming and extensions". Princeton. Princeton University. 1963.
- [12] Geoffrey Gordon. "Simulación de Sistemas". Ed. Diana. 1980.
- [13] Gordon White. "Mobile Radio Technology". Ed. Butterworth Heinemann. 1995.
- [14] J. Brown y E. V. D. Glazier. "Telecomunicaciones". Ed. Marcombo. 1978.
- [15] J. D. Parson, J. G. Gardrer. "Mobile Communications Systems". Ed. Halsted Press. 1989.
- [16] J. Prawda. "Métodos y modelos de la Investigación de Operaciones". Vol. 1. Ed. Limusa - Wiley, México. 1977.
- [17] Jesús Roldan Acosta. "La Telefonía Celular en México". Mundo Celular. No. 22, Julio 1992. No. 23, Agosto 1992.
- [18] John R. Pierce y A. Michael Noll. "Señales. La ciencia de las telecomunicaciones". Ed. Reverté. 1995.
- [19] José Maclovio Sautto Vallejo. "La técnica de la simulación digital en la investigación de operaciones". Tesis. UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado. 1991.
- [20] Keith Weiskamp et al.. "Power Graphics Using Turbo Pascal". Ed. John Wiley & Son. Inc. 1989.
- [21] "La Cobertura Nacional". Mundo Celular. No. 26, Noviembre 1992.
- [22] M. S. Baazara y J. J. Jarvis. "Linear programming and network flow". Ed. John Wiley & Son. Inc. 1977.

- [23] Murat M. Tanik, Winston Cheng, et al.. " Graphics programming with Turbo Pascal ". Ed. Wordware Publishing, Inc. 1992.
- [24] Paul F. Routh, Mohammad Ilyas y H. T. Mouftah. "SIMULATION: A powerful tool for prototyping telecommunications networks". Simulation, Vol. 58, No. 2, Febrero 1992.
- [25] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, y J. B. Orlin. "Networks Flows". Ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N. J. 1993.
- [26] R. L. Ackoff y Sasieni M. W.. "Fundamentos de la Investigación de Operaciones". Ed. Limusa, México. 1971.
- [27] Rafael Turrent Diaz. "Un enfoque sistémico en el sector de comunicaciones". Tesis. UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado. 1987.
- [28] Ruth M. Davies. "Simulation modelling with Pascal". Ed. Prentice Hall. 1989.
- [29] Servando Suero Molina. "Turbo Pascal 5.5 y 6". Ed. Paraninfo. 1992.
- [30] Sirin Tekinay and Bijan Jabbari. "A measurement-based prioritization scheme for handover in mobile cellular networks". IEEE Select Areas in Communications. Vol. 10. No. 8. Octubre 1992. Pag 1343 -1350.
- [31] Sirin Tekinay and Bijan Jabbari. "Handover policies and channel assignment strategies in mobile cellular networks". IEEE Communications, Mag.. Vol. 29. No. 11. Noviembre 1991.
- [32] Stephen O'brien K. "Turbo Pascal 7 manual de referencia". Ed. McGraw Hill. 1994.

- [33] T. H. Naylor, J. L. Balintfy, et al.. "Técnicas de simulación en computadoras". Ed. LIMUSA. 1971.
- [34] Victor Gerez Greiser y V. Czitrom de Gerez. "Introducción al análisis de sistemas e investigación de operaciones". Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería. 1978.
- [35] William C. Y. Lee. "Mobile Cellular Telecommunications" Ed. McGraw Hill. 2da. Edición. 1995.
- [36] William Delaney y Erminia Vaccari. "Dynamics models and discrete event simulation". Ed. Marcel Dekker. 1989.