

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“MODELAMIENTO DE TRÁFICO Y OPTIMIZACIÓN DEL ANCHO DE BANDA
APLICADO PARA LAS COMUNICACIONES RURALES DEL PERU”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN: TELEMÁTICA**

**PRESENTADA POR
HUBER PAÚL GILT LÓPEZ**

LIMA – PERÚ

2011

Resumen

De acuerdo a la información presentada se modeló un sistema básico de comunicación rural VSAT (con sus etapas de codificación, modulación, técnicas de acceso múltiple al medio, etc.) para poder hacer un análisis de tráfico rural para voz y datos se usó el modelo de tráfico tradicional de Erlang-C (a pérdida) comparando con un modelo propuesto que considera la distancia de acceso universal como una nueva variable para el análisis de tráfico rural y con un algoritmo de búsqueda en profundidad DFS, se logró optimizar las ubicaciones de las posiciones de las estaciones para mejorar el acceso a los servicios y por ende optimizar el tráfico rural y el ancho de banda.

Abstract

According to presented information was modeled a basic VSAT rural communication system (with its stages of codification, modulation, technics of multi-access, etc.) to make an rural traffic analysis for voice and data was used the traditional Erlang-C traffic model (at loss) compared with an proposed model that considers the distance of universal access like an new variable for the rural traffic analysis and with a search in depth algorithm DFS, was achived to optimize the ublication of the positions of the stations to improve the access of the services and hence optimize the rural traffic and bandwidth.

Contenido

1. Introducción	4
1.1. Definición del problema	4
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivo	4
1.4. Hipótesis	4
2. Telecomunicaciones Rurales	6
2.1. Modelo en Perú	6
2.2. Situación de las comunicaciones Rurales en el Perú	7
2.2.1. FITEL I	8
2.3. Programas De Proyectos Rurales (PPR)	9
2.3.1. FITEL II	9
2.3.2. FITEL III	10
2.3.3. FITEL IV	10
2.4. Otros proyectos FITEL	11
2.4.1. FITEL V	11
2.4.2. BAR I	11
2.4.3. Internet rural	12
2.4.4. BAS	12
2.5. Tecnologías Empleadas	13
2.5.1. MAR	14
2.5.2. VSATs	14
2.5.3. CDMA450	16
3. Aspectos Prácticos Sobre Tráfico	19
3.1. Definiciones	19
3.1.1. Concepto de tráfico	19
3.1.2. Volumen del tráfico	19
3.1.3. Intensidad del tráfico	19
3.1.4. Medidas de la intensidad del tráfico	20
3.1.5. Tráfico en la hora más cargada	21
3.1.6. Flujo de tráfico	21
3.1.7. Grado de servicio	22
3.1.8. Tipos de tráfico	23
3.2. Modelo de encaminamiento de tráfico	23
3.3. Principales factores que afectan el tráfico	24
3.4. Distribuciones de arribo de llamadas	24
3.4.1. Tiempos de inter-arribos negativos exponenciales	25
3.4.2. Tiempos de arribo Poisson	25

3.5. Distribuciones de tiempos de ocupación	26
3.5.1. Tiempos constantes de ocupación	26
3.5.2. Tiempos constantes de ocupación	27
4. Marco Teórico Sobre Tráfico	28
4.1. Principales modelos de tráfico	28
4.2. Modelos de naturaleza Poisson	28
4.2.1. Erlang a pérdida	28
4.2.2. Erlang a espera	29
4.2.3. Engset a pérdida	30
4.2.4. Engset a espera	31
4.2.5. Bernoulli	31
4.3. Modelos de naturaleza fractal	31
5. Comportamiento del Tráfico Telefónico Rural	32
5.1. Probabilidad de ocupación de los canales telefónicos	32
5.2. Probabilidad de bloqueo de los canales telefónicos	33
5.3. Comportamiento del tráfico rural	34
5.4. Análisis del tráfico telefónico rural	37
5.4.1. Análisis del tráfico rural en el departamento de Puno	37
5.4.2. Análisis del tráfico rural en el PPR Fitel 3	38
6. Técnicas de Acceso Múltiple al Satélite	40
6.1. Protocolos de básicos de acceso al medio	40
6.1.1. FDMA	41
6.1.2. TDMA	41
6.2. Accesos múltiples en una red estrella VSAT	42
6.2.1. Subida FDMA-SCPC/Bajada FDMA-SCPC	42
6.2.2. Subida FDMA-SCPC/Bajada FDMA-MCPC	45
6.2.3. Subida FDMA-SCPC/Bajada TDM-MCPC	47
6.2.4. Subida FDMA-MCPC/Bajada TDM-MCPC	50
6.2.5. Subida TDMA/Bajada TDM-MCPC	52
6.2.6. Subida FDMA-TDMA/Bajada FDMA-MCPC	54
7. Descripción del contexto	58
7.1. Descripción del contexto	58
7.2. Problema de los modelos tradicionales	58
7.3. Propuesta de un modelo de comunicaciones rurales	59
7.4. Algoritmo de búsqueda geométrico	61
7.4.1. Algoritmo conservador	61
7.4.2. Algoritmo moderado	61
7.4.3. Algoritmo eficiente	62
7.5. Descripción de la aplicación	62
7.5.1. Arquitectura del software	63
7.5.2. Tecnología detrás de la aplicación	64
7.5.3. Base de datos	64
7.5.4. Diagrama de clases	65
7.5.5. Principales interfaces gráficas	66
7.6. Resultados del modelo	66

7.6.1. Cálculo del número de estaciones VSats	67
7.6.2. Cálculo del número de líneas	68
7.6.3. Cálculo de la intensidad de tráfico	71
7.6.4. Cálculo de la ancho de banda	72
7.7. Comparación frente al modelo tradicional	73
7.7.1. Modelo tradicional	74
7.7.2. Modelo propuesto	75
7.7.3. Comparación de los modelos	76
7.7.4. Proceso de optimización	77
7.7.5. Ventajas del modelo propuesto	77
8. Conclusiones y recomendaciones	81
8.1. Conclusiones	81
8.2. Recomendaciones	82
A. Extracto del directorio telefónico rural	88
B. Lecturas de tráfico reportado	90
C. PPR-Fitel 3, Proyecto Centro Norte	98
D. Programa Comentado	100

Capítulo 1

Introducción

1.1. Definición del problema

Probablemente uno se pregunta *¿Cuánto ancho de banda necesitaría un o varios centros poblados rurales?* Para poder responder a esta pregunta es necesario conocer el estado de las comunicaciones rurales en esos centros poblados rurales y las teorías de tráfico rural que nos ayuden a calcular la dimensión de sus necesidades de comunicación.

1.2. Justificación

¿Porque se planea aplicar un modelo de tráfico aplicado a las zonas rurales del Perú?

Un modelo que describa el comportamiento del tráfico en las zonas rurales del Perú, es necesario para obtener una magnitud del ancho de banda útil para los proyectos de comunicaciones rurales, puesto que el ancho de banda siempre será un bien preciado y debe ser tomado con bastante cuidado para evitar desperdicios (sobre-dimensión) y congestión (sub-dimensión).

1.3. Objetivo

Plantear, modelar y validar un modelo que describa el comportamiento del tráfico aplicado en zonas rurales del Perú.

1.4. Hipótesis

Se modelara un sistema básico de comunicación rural VSAT (con sus etapas de codificación, modulación, técnicas de acceso al medio, etc.) para analizar un modelo de tráfico voz y datos tradicional y compararlo con un modelo propuesto de tráfico rural que debería llegar a optimizar la magnitud del ancho de banda tomando en cuenta que los usuarios están ubicados en un área relativamente extensa y en consecuencia, este modelo de lleve a un ahorro en términos económicos.

La figura 1.1, muestra el enfoque de la hipótesis que por medio del análisis del ancho de banda, se va comparar el ancho de banda del modelo tradicional frente al propuesto.

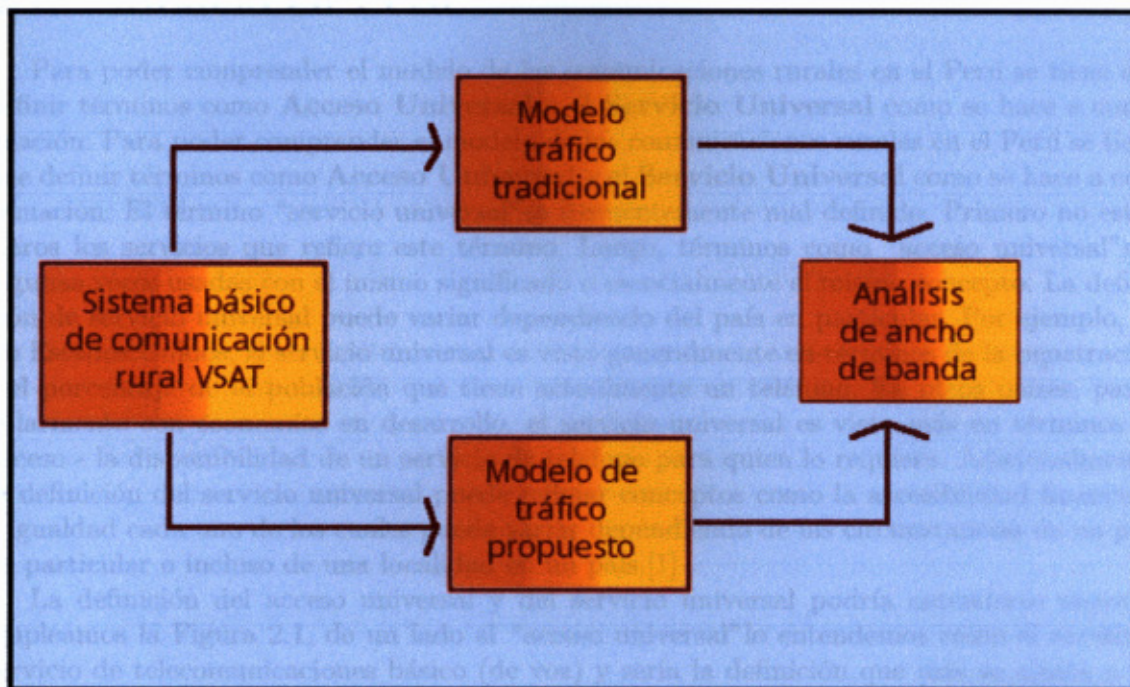


Figura 1.1: Escenario de análisis del sistema de comunicación rural

Capítulo 2

Telecomunicaciones Rurales

2.1. Modelo en Perú

Para poder comprender el modelo de las comunicaciones rurales en el Perú se tiene que definir términos como **Acceso Universal** y el **Servicio Universal** como se hace a continuación: Para poder comprender el modelo de las comunicaciones rurales en el Perú se tiene que definir términos como **Acceso Universal** y el **Servicio Universal** como se hace a continuación: El término "servicio universal" es frecuentemente mal definido. Primero no están claros los servicios que refiere este término. Luego, términos como "acceso universal" son algunas veces usadas con el mismo significado o esencialmente el mismo concepto. La definición de servicio universal puede variar dependiendo del país en particular. Por ejemplo, en los Estados Unidos, el servicio universal es visto generalmente en términos de la penetración - el porcentaje de la población que tiene actualmente un teléfono. En otros países, particularmente con economías en desarrollo, el servicio universal es visto más en términos de acceso - la disponibilidad de un servicio de teléfono para quien lo requiera. Adicionalmente, la definición del servicio universal puede reflejar conceptos como la accesibilidad financiera e igualdad cada uno de los cuales puede variar dependiendo de las circunstancias de un país en particular o incluso de una localidad en un país.[1]

La definición del acceso universal y del servicio universal podría entenderse mejor si empleamos la Figura 2.1, de un lado el "acceso universal" lo entendemos como el acceso al servicio de telecomunicaciones básico (de voz) y sería la definición que más se ajusta a las decisiones de política en los países en desarrollo, lugares en las que la penetración telefónica es baja. De otro lado, el "servicio universal" es un concepto que está asociado al nivel de servicios accesibles que puede transmitir la red pública y si el avance tecnológico lo permite. Esta definición se emplearía en países con mayor grado de desarrollo económico y cuando ya se ha alcanzado un nivel de penetración alto. En este sentido, el "servicio universal" lo entendemos como el uso del servicio de telecomunicaciones no sólo básico de voz sino también de los diferentes niveles de servicios avanzados. [2].

A diferencia de estos, en los países en desarrollo (PeD) donde el desarrollo económico y la penetración telefónica es mucho menor, la decisión del servicio universal y por lo tanto la política de telecomunicaciones asociada a ésta, resulta ser una decisión de "acceso universal", pues no está asociada a definir el "nivel de servicios accesibles", sino a la definición de "acceso al servicio", vinculado a la mayor cobertura geográfica del servicio, unida a ciertos criterios de equidad distributiva. [2]

En el presente desarrollo, se considera la distinción entre dos términos, entendiéndose primero que antes se llega a tener un acceso universal, para después tener un servicio universal, como se muestra en la imagen del acceso universal en referencia al Perú en la figura 2.2,

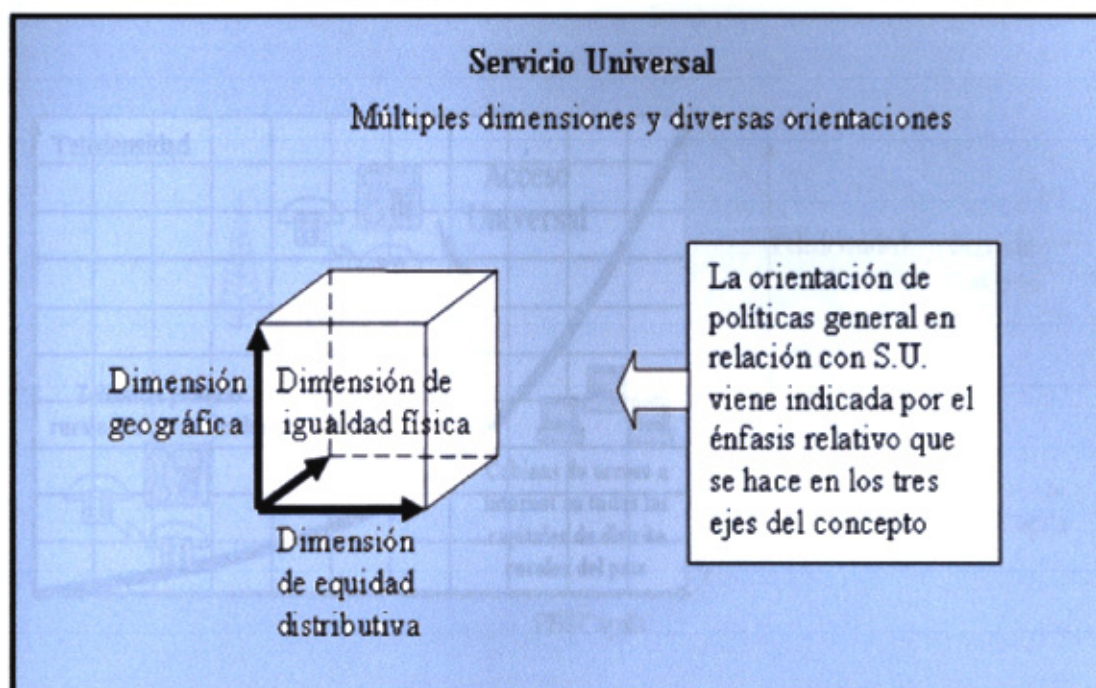


Figura 2.1: Acceso Universal en los países desarrollados

se muestra la curva muestra claramente, que se empieza con la provisión de acceso básico a servicios de telecomunicaciones en áreas rurales, un ejemplo de este alcance son los teléfonos públicos rurales en áreas rurales, pasando después por el incremento de la penetración en los servicios implementados, un ejemplo de esto son el incremento de teléfonos públicos en el interior del país finalmente pasando con la masificación de los servicio de telecomunicaciones, caso de las cabinas de acceso a Internet en todas las capitales de distritos rurales del país.

2.2. Situación de las comunicaciones Rurales en el Perú

El encargo del desarrollo de las comunicaciones rurales en el Perú es el FITEL (Fondo de Inversión en Telecomunicaciones). El FITEL es un FDT (Fondo de Desarrollo en Telecomunicaciones), El término FDT es general y se usa para designar a las instituciones promotoras del desarrollo de las comunicaciones rurales; existen otros FDTs en América latina y son COMPARTEL (Colombia), FUST (Brasil), FDT(República Dominicana y Chile), FONDETEL (Guatemala), etc.

El desarrollo de las comunicaciones rurales en el Perú está a cargo del FITEL, fondo destinado a la provisión del Acceso Universal a las telecomunicaciones. Fue creado mediante el Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones (D.S. N° 013-93-TCC del 6 de Mayo de 1,993), como un mecanismo de equidad que financie la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales y lugares considerados de preferente interés social. [3].

Con el proceso de privatización del sector de las telecomunicaciones en el año 1994, el contrato de concesión negociado con los postores establecía la obligación de instalar servicios de telecomunicaciones en los centros poblados con más de 500 habitantes en un plazo de cuatro años. Este compromiso abarco 1,515 centros poblados con más de 500 habitantes a lo largo de todo el Perú. Con el objetivo de comunicar los pueblos que no están dentro del compromiso de Telefónica la Ley de telecomunicaciones creo el FITEL, destinado a financiar

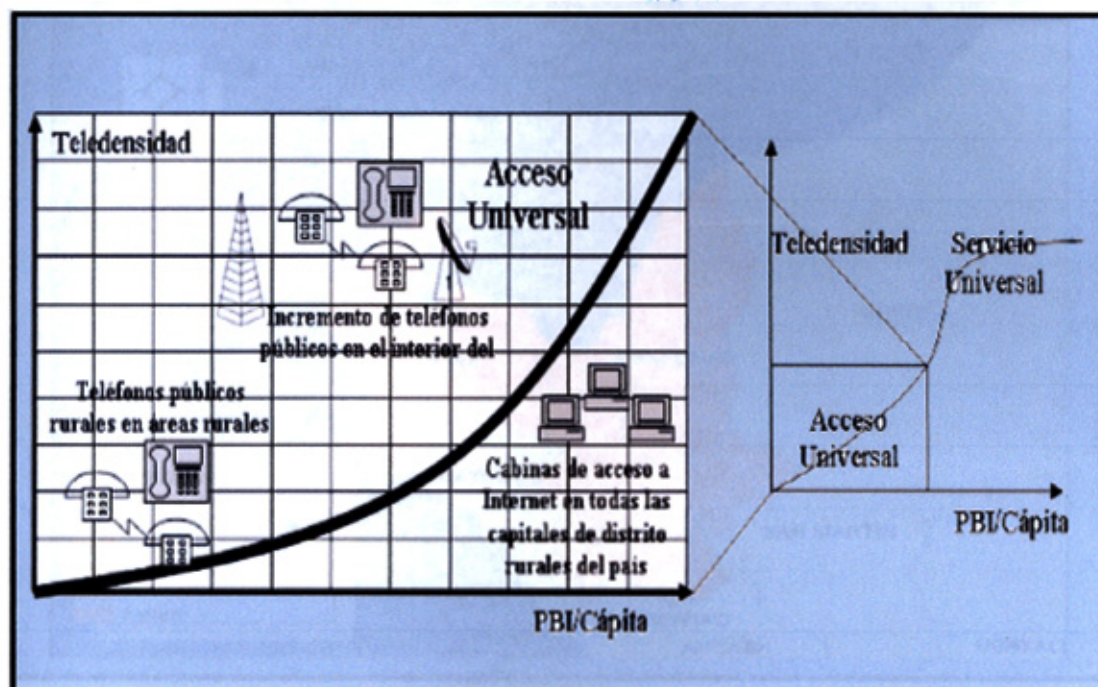


Figura 2.2: Acceso Universal en el Perú[2]

los servicios de telecomunicaciones en lugares declarados de preferente interés social.

El ámbito del FITEL cubre 75,000 centros rurales poblados, el 90% con menos de 300 habitantes y más de 3000 centros rurales con 400 habitantes. La población rural corresponde al 30% de la población nacional, según el Censo del 2005 en el Perú hay una población de 26'152,256 habitantes y en el sector rural hay una población aproximada de 7.8 millones de habitantes rurales [4].

FITEL tiene el fondo destinado a la provisión del Acceso Universal, que fue creado obedeciendo a la necesidad de contar con un mecanismo de equidad que procure financiar la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas de lugares considerados de preferente interés social.

El financiamiento del FITEL es a través del impuesto 1% del monto anual facturado de las empresas de servicios portadores y de tele-servicios público [4]. Los Proyectos ejecutados por FITEL son:

2.2.1. FITEL I

1. Proyecto Piloto en la Frontera Norte Fue el primer proyecto que se financió con el FITEL. Con el se instaló 213 teléfonos públicos en igual número de localidades de los distritos fronterizos de Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas. Véase la Figura 2.3.[5].

Este proyecto de telefonía pública, primero desarrollado por el FITEL, tuvo como objetivo el de resolver los posibles inconvenientes que se podían presentar al licitar proyectos de mayor envergadura, evitando así que se vuelvan a presentar.

La población beneficiada directa e indirectamente son 144,522 habitantes de Amazonas, Cajamarca, Piura y Tumbes.



Figura 2.3: Proyecto Piloto Frontera Norte

2.3. Programas De Proyectos Rurales (PPR)

FITEL maneja PPR (Programas de Proyectos Rurales), los PPR comprenden la división del Perú en 6 áreas de proyectos rurales y son: Sur, Centro Sur, Selva Norte, Centro Oriente Norte, Centro Norte.

El Programa de Proyectos Rurales constó de 6 proyectos a nivel nacional, cada uno de ellos agrupando a un conjunto de departamentos y un determinado número de centros poblados rurales.

Cada proyecto del programa consideró la instalación, operación y mantenimiento del servicio de telefonía pública en las áreas rurales y lugares considerados de preferente interés social de los departamentos atendidos.

Se estima que este programa benefició a aproximadamente 3,9 millones de habitantes en las áreas rurales, considerando como beneficio el acceso al teléfono público en la misma localidad rural así como la reducción de la distancia al teléfono público más cercano a menos de 5km para otras localidades rurales cercanas.

2.3.1. FITEL II

2. PPR - Sur La población beneficiada directa e indirectamente son 385,385 habitantes de Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna. Véase la Figura 2.4.

3. PPR - Centro Sur La población beneficiada directa e indirectamente son 831,994 habitantes de Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Ica y Madre de Dios.

4. PPR - Selva Norte La población beneficiada directa e indirectamente son 329,045 habitantes de Loreto y San Martín.

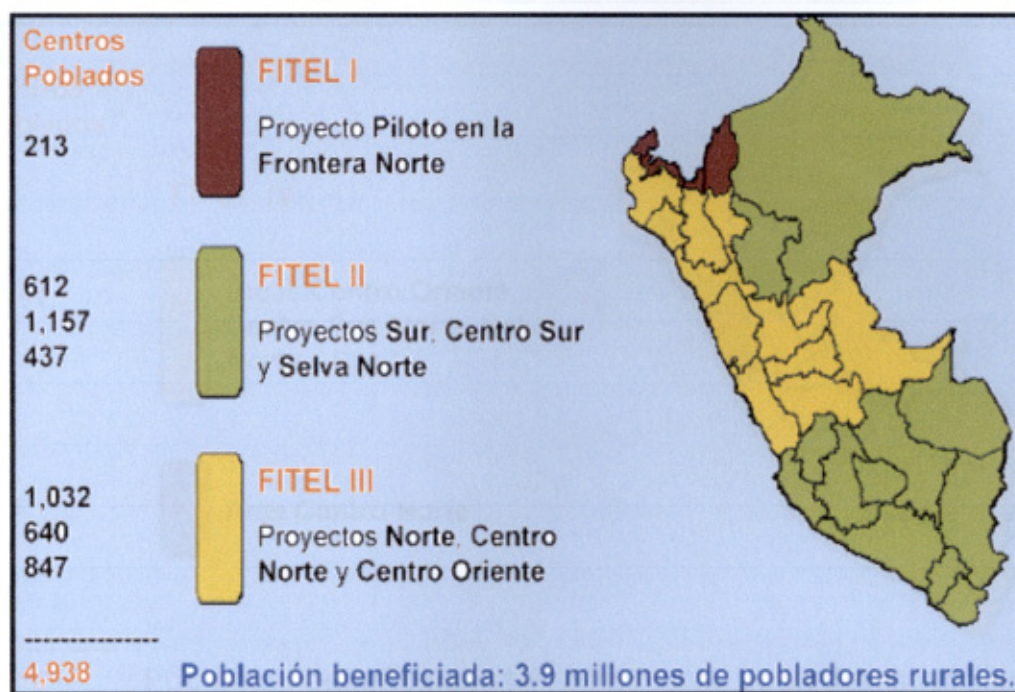


Figura 2.4: Proyectos FITEL I,II,III

2.3.2. FITEL III

5. PPR - Centro Oriente La población beneficiada directa e indirectamente son 600,321 habitantes en Huamco, Junín, Lima, Pasco y Ucayali. Véase la Figura 2.4.

6. PPR - Norte La población beneficiada directa e indirectamente son 1'019,071 habitantes de Amazonas, Cajamarca y Piura.

7. PPR - Centro Norte La población beneficiada directa e indirectamente son 681,33 habitantes de Ancash, La Libertad y Lambayeque.

2.3.3. FITEL IV

Una siguiente etapa consistió en ampliar el número de teléfonos públicos en aquellas localidades que ya contaban con este servicio en estas dos áreas:

8. Áreas Sur, Centro Sur, Selva Norte, Centro, Oriente, Centro Norte. Véase la Figura 2.5.

9. Área Norte. Véase la Figura 2.5.

Este proyecto buscó atender la demanda de aquellos pueblos rurales y/o declarados de preferente interés social, que contaban con servicio de teléfonos públicos en una cantidad que resultaba insuficiente para atender la demanda existente.

En los talleres realizados para el PPR, las autoridades solicitaron a FITEL financiar teléfonos públicos adicionales en pueblos que ya contaban con el servicio, por resultar insuficientes debido a la gran cantidad de población existente.

La figura 2.6, es un resumen de los datos más importantes de los proyectos de FITEL I, II, III y IV.

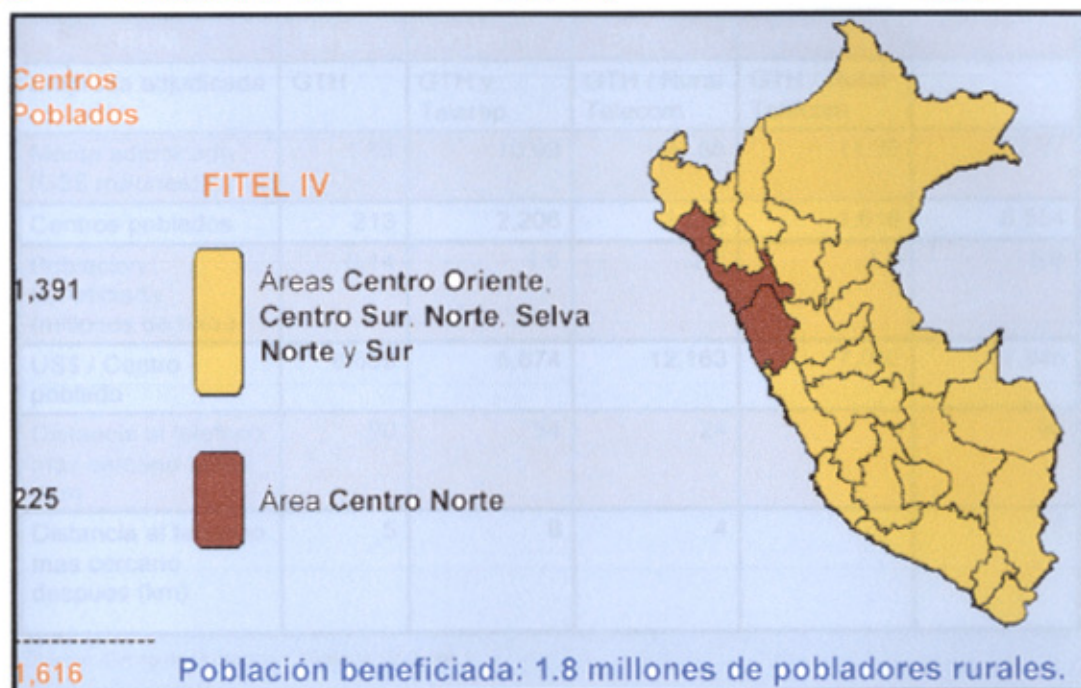


Figura 2.5: Proyectos FITEL IV[3]

2.4. Otros proyectos FITEL

2.4.1. FITEL V

Es el proyecto “Acceso a Internet en Capitales de Distrito del Perú – Primera Etapa”; este proyecto se implementó cabinas de acceso público a Internet en 68 localidades distribuidas a nivel nacional. Véase la Figura 2.7.

2.4.2. BAR I

El objetivo del Programa Banda Ancha Rural, es disminuir la brecha digital interna, extendiendo el acceso de banda ancha existente en las principales ciudades y beneficiando a 3,010 localidades a nivel nacional. Véase la Figura 2.7. El Programa esta dividido en 6 proyectos:

- **Centro:** Huánuco, Lima, Junín, Pasco y Ucayali.
- **Centro Norte:** Amazonas, Aucash, La Libertad, Loreto y San Martín.
- **Centro Sur:** Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Ica.
- **Nor Oriente:** Cajamarca.
- **Norte:** Lambayeque, Piura y Tumbes.
- **Sur:** Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna.

ITEM	FITEL I	FITEL II	FITEL III	FITEL IV	TOTAL
Empresa adjudicada	GTH	GTH y Telerep	GTH / Rural Telecom	GTH / Rural Telecom	
Monto adjudicado (US\$ millones)	1.83	10.99	27.85	11.39	52.07
Centros poblados	213	2.206	2.519	1.616	6.554
Población beneficiada (millones de hab.)	0.14	1.6	2.3	1.8	5.8
US\$ / Centro poblado	8.609	5.674	12.163	7.052	7.945
Distancia al telefono mas cercano antes (km)	90	54	24	-	60
Distancia al telefono mas cercano despues (km)	5	8	4	-	6

Fuente: Censo de Población y Vivienda 1993 (INEI)
Elaboración: OSIRTEL

Figura 2.6: Resúmenes de los Proyectos FITEL I al IV[3]

2.4.3. Internet rural

El Programa de Implementación de Telecomunicación Rural – Internet Rural, tiene como objetivo brindar acceso a las tecnologías de la información y la comunicación en 1050 comunidades rurales del Perú. Véase la Figura 2.7.

2.4.4. BAS

El Proyecto Banda Ancha para Localidades Aisladas - BAS, consiste en la provisión del servicio de banda ancha para dar los servicios de telefonía de abonados, telefonía pública e Internet. Beneficiará aproximadamente a 1.66 millones de habitantes de 3,852 localidades rurales aisladas. Véase la Figura 2.7.

El proyecto ha sido diseñado con un enfoque de convergencia tecnológica para dar múltiples servicios sobre una plataforma de Banda Ancha Satelital. Se ofertarán los servicios de:

- Acceso a Internet en 1,019 localidades.
- Teléfonos públicos en 3,010 localidades.
- Telefonía residencial en 497 localidades.
- Capacitación a los emprendedores locales e inducción de demanda a través de sensibilización y difusión dirigida a la población beneficiaria.

Proyectos Fitel – Primera etapa						
Proyecto	Año	Empresa	Servicio	Monto financiado (miles US\$)	Centros poblados	Población directamente beneficiada
Fitel I – Proyecto Frontera Norte	1999	Gilat to Home S.A.	TUP	1.830	213	80.983
Fitel II – Proyecto Centro Sur, Selva Norte y Sur	1999	Gilat to Home S.A.	TUP – Internet	10.991	2.231	837.055
Fitel III – Proyecto Centro Oriente, Norte y Centro Norte	2001	Gilat to Home S.A. – Rural Telecom S.A.C.	TUP – Internet	27.854	2.526	1.078.566
Fitel IV – Proyecto Centro Oriente, Centro Sur, Norte, Selva Norte, Sur y Centro Norte	2001	Gilat to Home S.A. – Rural Telecom S.A.C.	TUP	11.396	1.616	3.577.843
Fitel V – Acceso a Internet en capitales de distrito – Primera etapa	2006	Gilat to Home S.A.	Internet	1.148	66	88.478

Fuente: Fitel

Proyectos Fitel – Segunda etapa							
Proyecto	Año	Empresa	Servicio	Monto financiado (miles US\$)	Centros poblados	Población directamente beneficiada	Estado
Programa "Implementación del Servicio Banda Ancha a Nivel Nacional - BAR"	2007	Rural Telecom S.A.C.	TUP Telefonía de abonados Internet	8.837	1.928	1.3 mil	Avance 30%
Programa "Implementación de Telecomunicación Rural – Internet Rural"	2008	Consejo Ametral – Cims – Valtron	Internet	8.445	1.050	1.1 mil	Avance 24%
Proyecto "Provisión del Servicio de Datos y Voz en Banda Ancha para Localidades Rurales del Perú - BAS"	2009	Telefónica del Perú	TUP ¹ Telefonía de abonados Internet	40.649	3.852	1.6 mil	Avance 15%

¹Financiado con recursos del MTC entregado a la Sociedad Titular del Fitel para su adquisición a través de Provisión y su respectiva operación.
Fuente: Fitel

Figura 2.7: Proyectos Fitel – Primera y Segunda etapa[6]

2.5. Tecnologías Empleadas

Dentro de las tecnologías empleadas en los servicios de comunicaciones rurales principalmente predominan el uso de dos tecnologías: la tecnología MAR¹, y la tecnología VSAT²; estas son tecnologías de tipo terrestre y satelital respectivamente. La tecnología MAR hace uso de enlaces radiales terrestres usando un espectro de frecuencia, en una topología física árbol, a diferencia de la tecnología VSAT que hace uso de enlaces satelitales, con una topología física en estrella con una estación central llamada HUB como parte central y varias estaciones terrestres VSATs en los extremos de la red estrella.

También, recientemente se está empezando a usar la tecnología CDMA450, que es una aplicación de la tecnología móvil celular en la banda de los 450MHz, para aumentar el área

¹Multi-Acceso Radial

²Very Small Terminal Aperture

dé cobertura.

A continuación desarrollaremos estas tres tecnologías de comunicaciones rurales:

2.5.1. MAR

Los sistemas de Acceso Múltiple Radial, se utiliza cuando el número de usuarios en una zona determinada es relativamente elevado o cuando sólo se dispone de un número limitado de canales.

En estos sistemas se asigna un grupo de canales radioeléctricos a una determinada zona de servicio; todos los abonados de esta constituyen un grupo radioeléctrico de acceso múltiple, y cada uno de ellos puede utilizar, a petición, cualquier canal libre de grupo.

Partes de un sistema de acceso radial múltiple

La principal función de estas redes es de distribuir líneas telefónicas y circuitos de datos desde una estación central hasta estaciones distantes situadas en regiones distantes. Para ellos utilizan:

Estación Central.- Funciona como interfaz terminal conectada a la central telefónica existente (central de conmutación) o en el caso de redes de datos, a una computadora principal. Usualmente la encontramos instaladas en interiores, en un edificio en donde se encuentra la central de conmutación y su equipamiento consta de un transceptor(es) saliente(s) con duplexor(es) integrados, una PC, panel de supervisión del sistema, anaqueles de línea y/o datos, fuente de alimentación y un sistema de antenas. Véase la Figura 2.8.

Estaciones Repetidoras.- Permite extender la zona de cobertura del sistema de acceso múltiple cuando el trayecto radioeléctrico entre la estación central y las estaciones periféricas no tienen visibilidad directa. LOS debido ya sea a obstáculos o a distancias muy grandes. Para su alimentación se usan fuentes de energía no convencionales (paneles solares). En esta estación se realiza la translación de frecuencias radioeléctricas de acuerdo a un plan de frecuencias fijo previamente impuesta al sistema.

Las repetidoras se utilizan en exteriores y estas incluyen: transceptores entrantes y salientes con duplexores integrados, unidad de control, fuente de alimentación, sistemas de antenas y módulos de línea (voz y/o datos) en caso hubiesen abonados cerca de la estación repetidora. Véase la Figura 2.8.

Estación Periférica.- Permite brindar servicio telefónico o de datos a un pequeño grupo de abonados. Esta es parte de la red troncal más cercana al abonado, y puede estar ubicada en el mismo local que el equipo terminal (teléfono o PC). Está constituida por un transceptor entrante con duplexor integrado, CPU, fuente de alimentación, módulos de línea (voz o datos) y sistema de antenas. Véase la Figura 2.8.[4]

2.5.2. VSATs

Satélites geoestacionarios

Un avance reciente en el mundo de los satélites de comunicaciones es el desarrollo de micro-estaciones de bajo costo, llamadas VSATs (Very Small Aperture Terminal). Estos diminutos terminales tienen antenas de un metro o más pequeñas (en comparación con los 10 m. que mide una antena GEO estándar) y pueden producir al rededor de un Watt de energía. Por lo general, el enlace descendente funciona a 19.2Kbps, pero el enlace ascendente funciona con frecuencia a 512kbps o más. La televisión de difusión directa por satélite, utiliza esta tecnología para transmisión unidireccional [7].

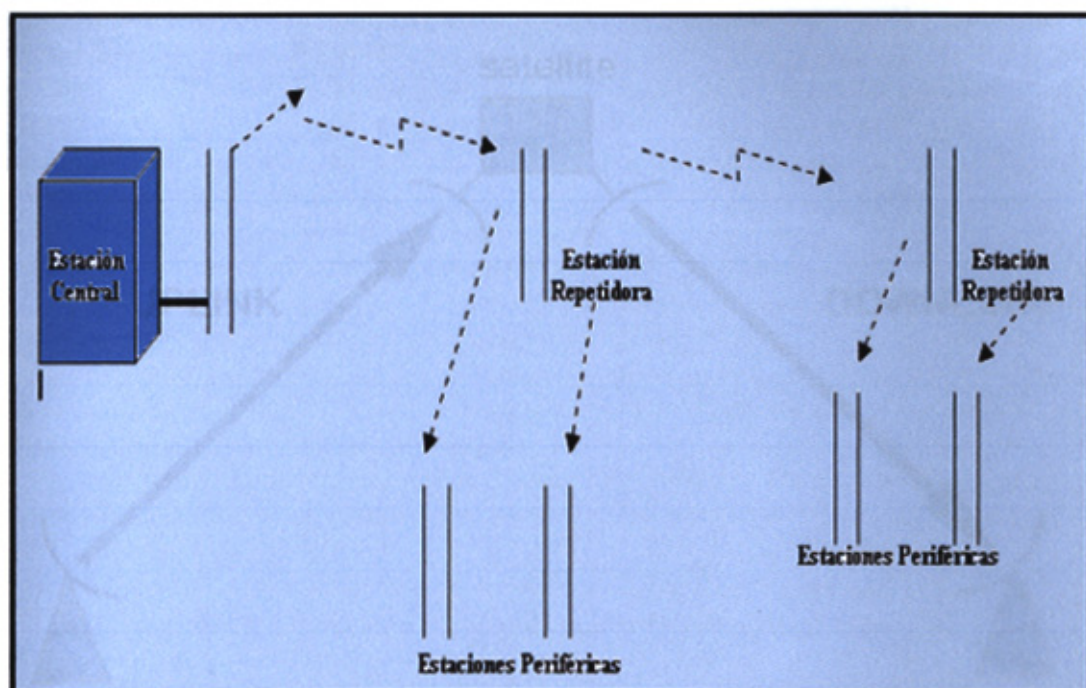


Figura 2.8: Configuración del Sistema de Multi-acceso Radial [4]

Redes de VSATs

Las redes de VSATs aparecieron en mediados de los años 80 como resultado de innovaciones en electrónica y software, que permitió que todas las características requeridas entren en un compacto paquete cerca del tamaño de una PC. La tecnología VSATs trae características y beneficios de las comunicaciones por satélite bajo una forma económica y usable [8].

Las redes VSATs están convirtiéndose en la principal solución de Networking, para larga distancia, baja densidad de voz y comunicaciones de datos porque son adecuados para pequeñas y grandes compañías [8]. Otros beneficios de la tecnología VSATs incluyen su bajo costo de operación, fácil instalación y mantenimiento [8].

Estaciones VSATs

Las VSATs cumplen una función cada vez más importante en la prestación de servicios de telefonía, educación y comunicación de datos en las zonas distantes. Los VSAT son pequeñas estaciones terrenas de comunicación por satélite, que normalmente miden de 5 a 6 m. de diámetro. Éstas pueden instalarse directamente en los locales del usuario, y no necesitan una atención en particular. Debido a la disminución de los precios del equipo y la gran zona de cobertura que ofrecen los satélites de comunicaciones, se están instalando VSAT en zonas en que resulta poco económico o difícil instalar infraestructura de telecomunicaciones terrestre [9].

Redes de multi-acceso VSATs

Las dos posibles arquitecturas son:

- Una red estrella, en cual las VSATs siempre se comunican con otra a través del Hub; esto puede ser ideal para transmisiones punto a multipunto. Por ejemplo, la sucursal principal de una compañía, envía información a sus sucursales menores.
- Una red malla, en el cual la estación Hub, actúa como un centro del control de la red para la localización de los canales y pólizas. Un ejemplo típico es el servicio de la

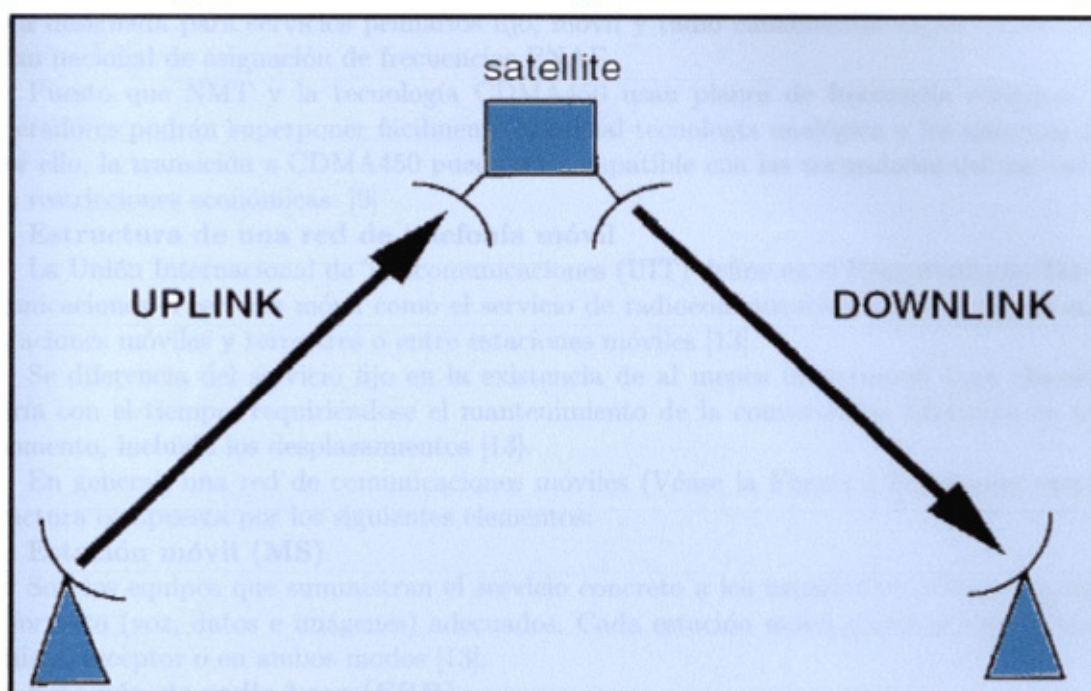


Figura 2.9: Configuración del Sistema VSATs

provisión de telefonía.

En una red estrella VSAT todas las estaciones VSATs transmiten datos hacia la estación HUB. Usando la capacidad de multi-acceso hacia los canales del satélite no hay enlaces directos entre estaciones VSATs, cualquier tráfico desde una estación VSAT hacia otra, debe seguir el camino de dos saltos al satélite desde la fuente al destino [10].

Configuración de un sistema VSATs

Las estaciones VSAT están conectadas por enlaces de radio frecuencia vía un satélite, un llamado enlace ascendente (Uplink) desde la estación terrestre hacia el satélite y otro llamado enlace descendente (Downlink) que va desde el satélite a la estación terrestre. Véase la Figura 2.9. El enlace total entre estaciones terrestres algunas veces es llamado salto (Hop), consiste en un enlace ascendente y otro enlace descendente. Un enlace de radio frecuencia es una portadora modulada que contiene información. Básicamente el satélite recibe las portadoras ascendentes desde transmisiones de las estaciones terrestres dentro del campo de vista de las antenas receptoras, amplifica las portadoras, cambia las frecuencias hacia una banda más baja para evitar las interferencias de entrada y salida, y transmite las portadoras amplificadas a las estaciones terrestres localizadas dentro campo del vista de las antenas transmisoras[12].

2.5.3. CDMA450

Durante mucho tiempo se ha usado el espectro de la banda de 450Mhz a los servicios inalámbricos en varios países, incluido Europa central y oriental, África y Sudeste Asiático. La banda es usada actualmente en Europa con la tecnología analógica NMT³ y en general se utiliza por debajo de sus posibilidades y de manera poco eficaz [9]. En el Perú esta banda

³Nordic Mobile Telephone

esta designada para servicios primarios fijo, móvil y radio canalización según consta en el Plan nacional de asignación de frecuencias PNAF.

Puesto que NMT y la tecnología CDMA450 usan planes de frecuencia comunes, los operadores podrán superponer fácilmente la actual tecnología analógica a los sistemas 450. Por ello, la transición a CDMA450 puede ser compatible con las necesidades del mercado y las restricciones económicas. [9]

Estructura de una red de telefonía móvil

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define en el Reglamento de Telecomunicaciones el servicio móvil como el servicio de radiocomunicaciones que se presta entre estaciones móviles y terrestres o entre estaciones móviles [13].

Se diferencia del servicio fijo en la existencia de al menos un terminal cuya ubicación varía con el tiempo, requiriéndose el mantenimiento de la conversación telefónica en todo momento, incluido los desplazamientos [13].

En general, una red de comunicaciones móviles (Véase la Figura 2.9) presenta una estructura compuesta por los siguientes elementos:

Estación móvil (MS)

Son los equipos que suministran el servicio concreto a los usuarios en el lugar, instante y formato (voz, datos e imágenes) adecuados. Cada estación móvil puede actuar en modo emisor, receptor o en ambos modos [13].

Estación de radio base (ERB)

Se encargan de mantener el enlace radioeléctrico entre la estación móvil y la estación de control de servicio durante la comunicación. Una estación base de radio atiende a una o varias estaciones móviles y según el número de estas y el tipo de servicio se calcula el número adecuado de ellas para proporcionar una cobertura total de servicio en el área geográfica que se desea cubrir[13].

La reducción de la potencia en las estaciones móviles permite disminuir la interferencia entre las que están asignadas a canales idénticos, así como al tamaño y peso de las baterías, lo que redundará en una mejor calidad del servicio y en la comodidad de uso y autonomía del terminal móvil[13].

Estación base de control (BSC)

Realiza las funciones de gestión y mantenimiento del servicio. Una tarea específica consiste en la asignación de estaciones base en un sector, dentro de un área de cobertura, a las estaciones móviles que se desplazan[13].

Central de conmutación y control (CCC)

Permiten la conexión entre las redes públicas y redes privadas con la red de comunicaciones móviles, así como la interconexión entre estaciones móviles localizadas en distintas áreas geográficas de la red móvil[13].

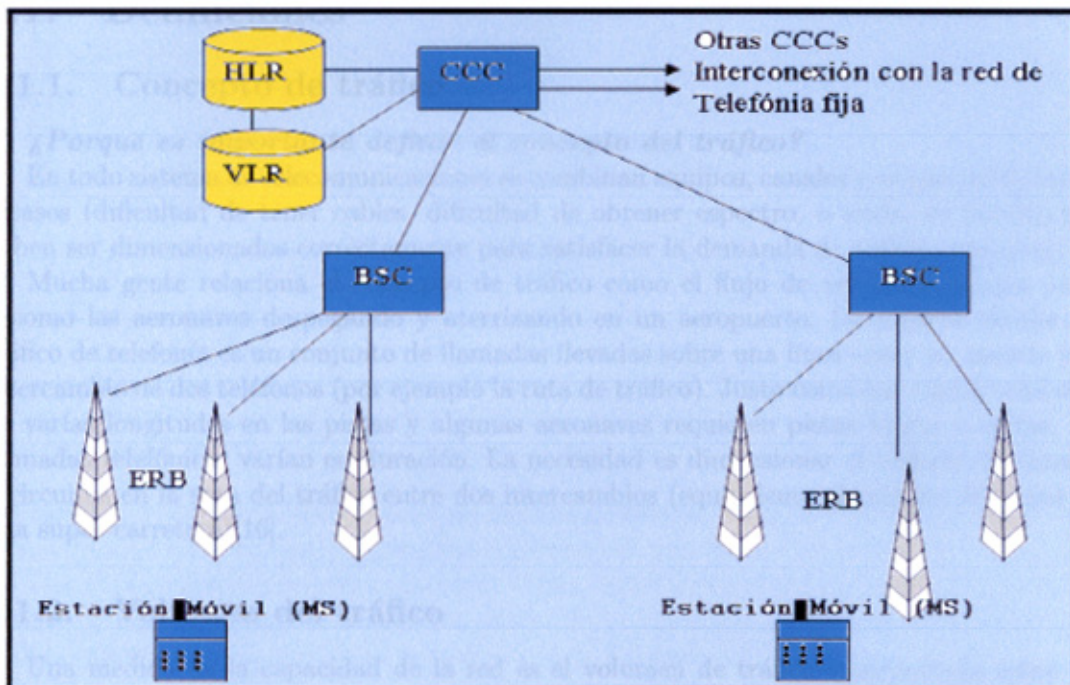


Figura 2.10: Configuración del Sistema CDMA [13]

Capítulo 3

Aspectos Prácticos Sobre Tráfico

3.1. Definiciones

3.1.1. Concepto de tráfico

¿Porque es importante definir el concepto del tráfico?

En todo sistema de telecomunicaciones se combinan equipos, canales y en general recursos escasos (dificultad de tener cables, dificultad de obtener espectro, o ancho de banda) que deben ser dimensionados correctamente para satisfacer la demanda de tráfico existente[17].

Mucha gente relaciona el concepto de tráfico como el flujo de vehículos en una pista o como las aeronaves despegando y aterrizando en un aeropuerto. De manera similar, el tráfico de telefonía es un conjunto de llamadas llevadas sobre una línea entre un usuario y el intercambio de dos teléfonos (por ejemplo la ruta de tráfico). Justo como hay varios vehículos de varias longitudes en las pistas y algunas aeronaves requieren pistas largas y cortas, las llamadas telefónicas varían en duración. La necesidad es dimensionar el número de canales o circuitos en la ruta del tráfico entre dos intercambios (equivalente al número de pistas en una super-carretera)[16].

3.1.2. Volumen del tráfico

Una medida de la capacidad de la red es el volumen de tráfico transportado sobre un periodo de tiempo. El volumen de tráfico es esencialmente la suma de todos los tiempos de ocupación (Holding Time) transportados durante un intervalo.

En la figura 3.1, el volumen del tráfico representa el área bajo la curva activa representada como con una gráfica del número de llamadas (en el eje de las ordenadas) por el tiempo transcurrido (en el eje de las abscisas)[18].

3.1.3. Intensidad del tráfico

La unidad de tráfico más usada es la intensidad de tráfico (también llamada flujo de tráfico). La intensidad de tráfico es obtenida dividiendo el volumen de tráfico por la longitud del tiempo de duración del cual es medido [18].

También es conocido como flujo de tráfico, y es expresado en función al volumen de tráfico como se muestra en la Fórmula 3.1.

$$F_{\text{Tráfico}} = V_{\text{Tráfico}}/T \quad (3.1)$$

Donde:

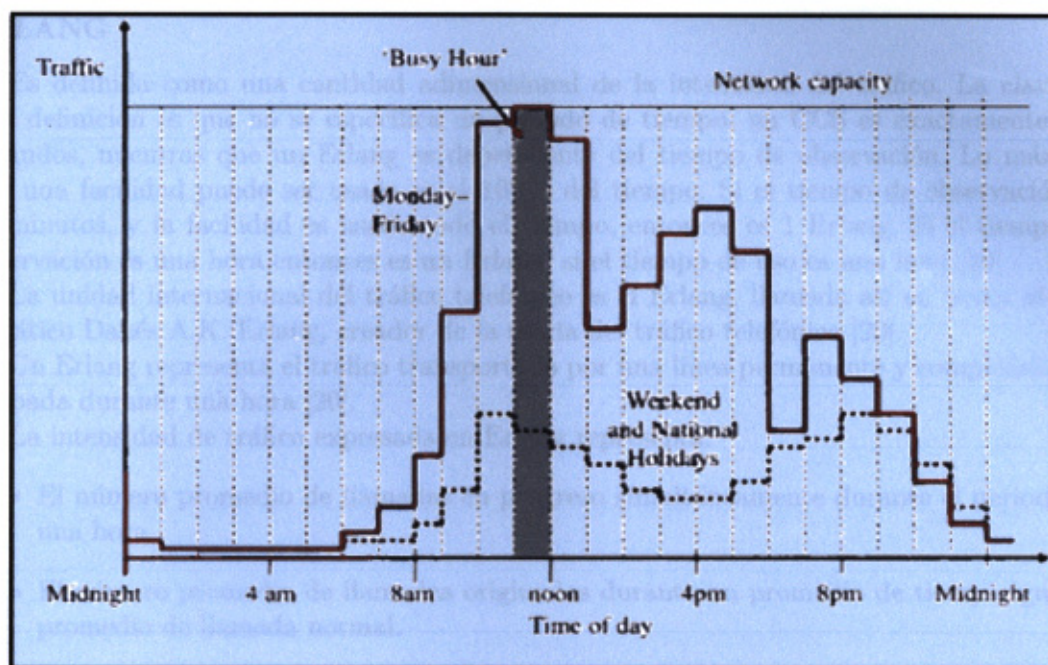


Figura 3.1: Volumen de tráfico[18]

T: Tiempo de referencia que escoge las unidades.

$F_{Tráfico}$: Representa el flujo de tráfico expresado en:

si $T=100$ s, las unidades serán CCS (Cien Segundos de Comunicación)

si $T=120$ s, las unidades serán LLCCH (Llamada reducida hora cargada)

si $T=3600$ s, las unidades serán E (Erlang) Por tanto la intensidad de tráfico representa

el promedio de una actividad durante un periodo de tiempo. Aunque la intensidad de tráfico es una unidad adimensional (tiempo entre tiempo) es usualmente expresada en Erlang [18].

Dos parámetros importantes son usados para caracterizar el tráfico la tasa promedio de arribos λ y el tiempo promedio de ocupación de la llamada t_m . Si A es la intensidad del tráfico expresada en Erlang, esto se muestra en la Fórmula 3.2.

$$A = \lambda * t_m \quad (3.2)$$

Donde λ y t_m son expresadas en unidades de tiempo como llamadas por segundo y segundos por llamada respectivamente.

Notar que la intensidad de tráfico es solo un promedio durante la utilización de un tiempo y no refleja la relación entre los arribos y el tiempo de ocupación[18].

3.1.4. Medidas de la intensidad del tráfico

CENTUM CALL SECOND

Esta es la medida del tráfico telefónico en incrementos de 100 segundos (CCS), esta medida fue originada en los comienzos de la conmutación electromecánica, y fue desarrollada para tener cantidades de volumen de tráfico telefónico más manejables, por ejemplo:[19]

$$\begin{aligned} 10 \text{ minutos de Tráfico} &= 10 \times 60 \text{ segundos de tráfico} \\ &= 600 \text{ segundos de tráfico} \\ &= \frac{600s}{100s} = 6 \text{ CCS} \end{aligned}$$

ERLANG

Es definida como una cantidad adimensional de la intensidad del tráfico. La clave de esta definición es que no se especifica un periodo de tiempo, un CCS es exactamente 100 segundos, mientras que un Erlang es dependiente del tiempo de observación. Lo máximo que una facilidad puede ser usada es el 100% del tiempo. Si el tiempo de observación es 10 minutos, y la facilidad es usada todo el tiempo, entonces es 1 Erlang. Si el tiempo de observación es una hora entonces es un Erlang, si el tiempo de uso es una hora [19]

La unidad internacional del tráfico telefónico es el Erlang, llamada así en honor al matemático Danés A.K. Erlang, creador de la teoría del tráfico telefónico [20].

Un Erlang representa el tráfico transportado por una línea permanente y completamente ocupada durante una hora [20].

La intensidad de tráfico expresada en Erlang representa:

- El número promedio de llamadas en progreso simultáneamente durante el periodo de una hora.
- El número promedio de llamadas originadas durante un promedio de tiempo igual al promedio de llamada normal.
- El tiempo total, expresado en horas para transportar a todas las llamadas.

3.1.5. Tráfico en la hora más cargada

Es una medida común de la intensidad de tráfico de una red durante la hora de mayor tráfico, este periodo representa la máxima intensidad de tráfico que debe soportar la red, el resultado nos da una medida del tráfico comúnmente referido como BHT¹. Véase la Figura 3.1. Hay situaciones en las que no se puede hacer un muestreo, solo puedes hacer una estimación de las llamadas manejadas diariamente. En esas circunstancias solo puedes hacer suposiciones acerca del ambiente. La hora más cargada de cualquier día cuenta con aproximadamente del 15 al 20% del tráfico para el día, en los cálculos generalmente se usa 17%, del tráfico total diario para representar la hora pico de tráfico[21].

Hora de mayor ocupación u hora cargada es el periodo ininterrumpido de 60 minutos durante el cual el tráfico es máximo. Generalmente la planta telefónica es dimensionada de acuerdo con la intensidad de tráfico de la hora de mayor ocupación[20].

3.1.6. Flujo de tráfico

El flujo de tráfico a través de una central se define como el producto del número de llamadas y su duración promedio durante un periodo de observación de una hora[20]. Véase la Fórmula 3.3.

$$A = C * T \quad (3.3)$$

Donde:

A, Flujo de Tráfico.

C, Número de llamadas originadas en una hora.

T, Tiempo promedio de llamada.

La intensidad de tráfico es el flujo de tráfico expresado en hora-llamada y representa el número promedio de llamadas simultáneas [20].

¹Tráfico en la hora más cargada, Busy Hour Time

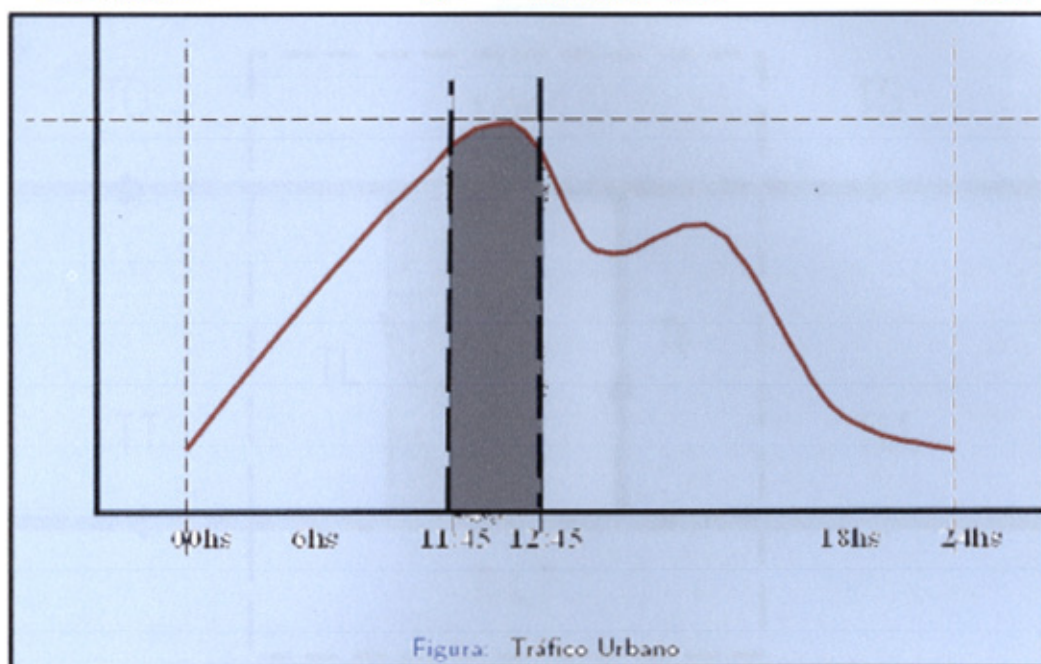


Figura 3.2: Tráfico en la hora más cargada caso urbano [19]

3.1.7. Grado de servicio

El grado de servicio (GoS) es definido como la probabilidad de las llamadas entrantes puedan congestionar al sistema, mientras se trata de ocupar un circuito. Este factor de bloqueo es escrito de la siguiente forma $P.xx$, donde xx representa el porcentaje de las llamadas que son bloqueadas por el tráfico del sistema. Por ejemplo, el requerimiento de las facilidades es $P.01$, esto define el grado de servicio como el 1% de las llamadas serán bloqueadas por las facilidades. Un GoS de $P.00$, es raramente requerido y raramente pasa que el 100% de las llamadas no serán bloqueadas[21].

Mide la dificultad de utilizar un canal cuando es necesario realizar una comunicación. Mide, por tanto, la calidad del dimensionamiento. En el caso más general se suele identificar con la probabilidad de bloqueo o probabilidad de pérdida de una llamada en un sistema[17].

Grado de servicio, es un término utilizado al hablar de tráfico telefónico para definir la proporción de las llamadas que se permiten fallar durante la hora de mayor ocupación debido a la limitación del equipo de conmutación de las plantas [20]. Véase la Fórmula 3.4

$$\text{Grado de Servicio} = \frac{\text{Número de llamadas perdidas}}{\text{Número de llamadas ofrecidas}} \quad (3.4)$$

En algunos momentos puede producirse un estado de congestión, no es posible establecer una conexión por falta de circuitos [20].

Otra situación que puede producirse es el bloqueo interno, que se da cuando una conexión no es posible por falta de circuitos internos [20].

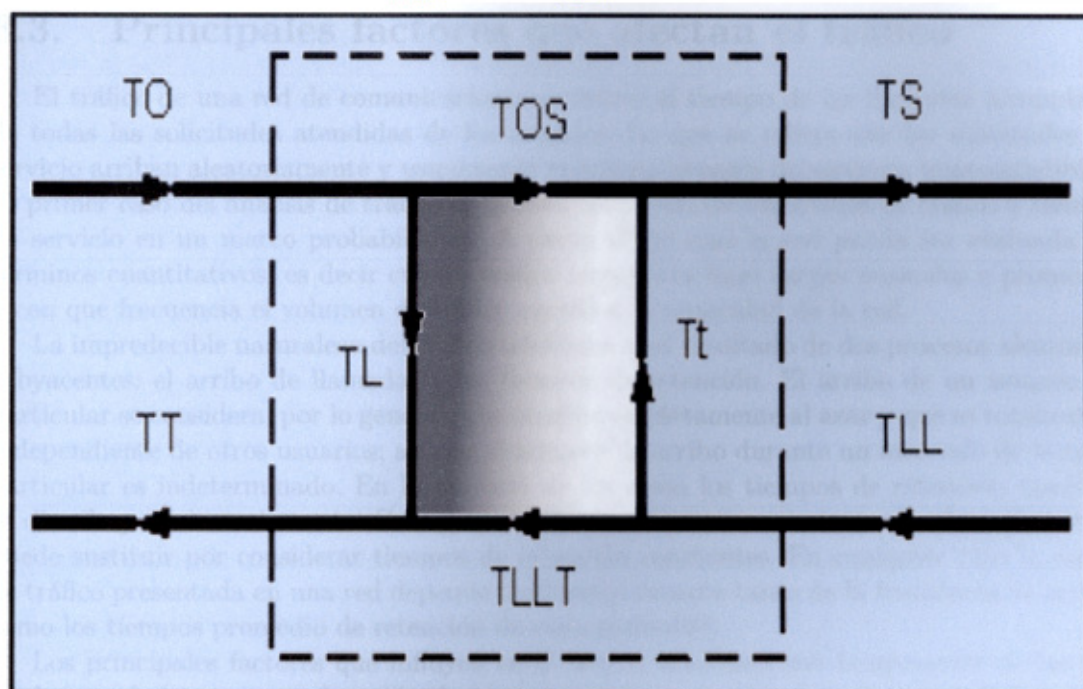


Figura 3.3: Nodo de la matriz de tráfico [25]

3.1.8. Tipos de tráfico

Tráfico transportado

El tráfico transportado, es el tráfico que es actualmente servido por el equipo de telecomunicaciones, también llamado tráfico cursado

Tráfico ofrecido

El tráfico ofrecido es la cantidad actual de tráfico atendido en el sistema, este tráfico se relaciona con el tráfico transportado por medio del factor de bloqueo con la siguiente Fórmula 3.5:

$$\text{Tráfico Ofrecido} = \frac{\text{Tráfico Transportado}}{1 - \text{Factor de Bloqueo}} \quad (3.5)$$

3.2. Modelo de encaminamiento de tráfico

Un sistema de comunicaciones consiste de un conjunto de nodos y enlaces, capaces de transportar el tráfico entre los usuarios, esto es conocido también como la "matriz de tráfico" para describir las diferentes direcciones del flujo de tráfico entre los nodos, el nodo de la matriz de tráfico esta representado como se muestra en la Figura 3.3.

Donde :

T_O : Tráfico Originado	T_L : Tráfico Local
T_T : Tráfico Terminado	T_{OS} : Tráfico Originado de Salida
T_{LL} : Tráfico de Llegada	T_{TLL} : Tráfico Terminado de Llegada
T_t : Tráfico de Transito	T_s : Tráfico de Salida

3.3. Principales factores que afectan el tráfico

El tráfico de una red de comunicaciones se refiere al tiempo de las llamadas acumulado de todas las solicitudes atendidas de los usuarios. Lo que se refiere que las solicitudes de servicio arriban aleatoriamente y usualmente requieren tiempos de servicios imprescindibles. El primer caso del análisis de tráfico es la caracterización de los arribos de tráfico y tiempo de servicio en un marco probabilístico. A partir de lo cual la red pueda ser evaluada en términos cuantitativos, es decir cuanto tráfico transporta bajo cargas normales o promedio y con que frecuencia el volumen de tráfico excede a la capacidad de la red.

La impredecible naturaleza del tráfico telefónico es el resultado de dos procesos aleatorios subyacentes: el arribo de llamadas y los tiempos de retención. El arribo de un usuario en particular se considera, por lo general, que ocurre completamente al azar y que es totalmente independiente de otros usuarios; así que el número de arribo durante un intervalo de tiempo particular es indeterminado. En la mayoría de los casos los tiempos de retención también se distribuyen aleatoriamente. En algunas aplicaciones este crecimiento de aleatoriedad se puede sustituir por considerar tiempos de retención constantes. En cualquier caso la carga de tráfico presentada en una red depende fundamentalmente tanto de la frecuencia de arribo como los tiempos promedio de retención de cada arribo[20].

Los principales factores que influyen en el tráfico telefónico son la aparición de las llamadas en el sistema y su duración, las que determinan el valor de la intensidad de tráfico telefónico en un tiempo dado, la naturaleza del tráfico es creciente en el tiempo debido al crecimiento de la población.

¿Cómo aparecen las comunicaciones en un sistema?

Las comunicaciones en un sistema aparecen con la necesidad de comunicación de las personas. La aparición de las llamadas en un sistema de comunicaciones es una variable aleatoria, es decir no depende de ninguna otra variable.

¿Cuánto duran las comunicaciones en un sistema?

También al igual que la aparición de las llamadas, la duración de las llamadas es otra variable aleatoria que depende únicamente de las necesidades de comunicación de las personas.

¿Qué tipo de tratamiento se debe dar a las llamadas en exceso?

Cuando un sistema ocupa todas sus canales telefónicos y siguen apareciendo llamadas telefónicas el sistema puede dar dos tratamientos a las llamadas en exceso; el primero es el sistema a pérdida, esto significa que las llamadas en exceso son borradas y el usuario tendrá que volver a intentar llamar después de un tiempo para encontrar un canal desocupado; el otro es el sistema a espera en el que las llamadas en exceso son guarda en registros hasta que un canal de comunicaciones se desocupe o el usuario termine la llamada en espera.

3.4. Distribuciones de arribo de llamadas

La principal asunción del análisis de tráfico clásico es que el arribo de las llamadas es independiente. Esto es, el arribo de una llamada de una fuente es independiente del arribo de una llamada de cualquier otra fuente. Aunque, sin embargo, esta asunción pueda ser invalida en algunas instancias esto tiene una utilidad general para algunas aplicaciones; en esos casos, cuando el arribo de la llamadas tienen que ser correlacionadas, los resultados útiles pueden ser aún obtenidos por la modificación de un análisis de arribo aleatorio[18]. En este sentido la asunción de arribos aleatorios proveen una formulación matemática que puede ser ajustada para producir soluciones aproximadas para los problemas que están matemáticamente sin

solución[18].

Para avanzar con el estudio de las propiedades del tráfico es necesario mirar hacia dos componentes sobre los cuales este depende; el arribo de los clientes y su servicio[12].

Los arribos de los clientes en un sistema son observados para describir el fenómeno de la ley de arribos, la primera idea es usar el tiempo inter-arribos o número de arribos en un intervalo de tiempo[12]. Durante un intervalo T , $n(T)$ arribos ocurren. El flujo de la intensidad es después expresada como un número, la tasa de arribos cuya definición intuitiva esta en la Fórmula 3.6[12].

$$\lambda = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n(T)}{T} \quad (3.6)$$

3.4.1. Tiempos de inter-arribos negativos exponenciales

Designa el promedio de la tasa de arribo de las llamadas de un largo grupo de fuentes independientes (líneas suscriptoras) como λ . Usa las siguientes asunciones:[18]

1. Solo un arribo puede ocurrir en cualquier suficiente intervalo pequeño.
2. La probabilidad de un arribo en cualquier intervalo suficientemente pequeño es directamente proporcional hacia la longitud del intervalo. (La probabilidad de un arribo es $\lambda * \Delta t$, donde Δt es la longitud del intervalo).
3. La probabilidad de un arribo en cualquier intervalo de tiempo en particular es independiente de lo que este ocurriendo en otro intervalo.

Se puede mostrar que la probabilidad del tiempo de inter-arribo es dado por la Fórmula 3.7.

$$P_0(\lambda t) = e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

Demostración

Basado en las tres premisas previas se puede escribir esta ecuación:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t)(1 - \lambda \Delta t)$$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda P_0(t)$$

$$\frac{\partial P_0(t)}{\partial t} = -\lambda P_0(t)$$

$$\frac{\partial P_0(t)}{P_0(t)} = -\lambda dt$$

$$\int \frac{\partial P_0(t)}{P_0(t)} = \int -\lambda dt$$

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}$$

Esta probabilidad define que no ocurran arribos en un intervalo aleatorio seleccionado t . Esta es idéntica para la probabilidad que transcurra t segundos desde un arribo hacia el siguiente [18].

3.4.2. Tiempos de arribo Poisson

La ecuación anterior simplemente provee un significado que determina la distribución del tiempo de inter-arribos. Esto por si mismo no provee una información deseable más general de como el flujo de muchos arribos puede ser esperado que ocurra en algún intervalo de tiempo arbitrario. Usando las mismas asunciones presentadas se tiene que la probabilidad de j arribos en un intervalo de tiempo t [18], puede ser determinado como se muestra en la Fórmula 3.7.

$$P_j(\lambda t) = \frac{(\lambda t)^j}{j!} * e^{-\lambda t} \quad (3.8)$$

Esta ecuación es la muy conocida ley de probabilidad de Poisson. Notar que cuando $j=0$, la probabilidad que no haya arribos en un intervalo de tiempo t es $P_0(t)$ [18].

3.5. Distribuciones de tiempos de ocupación

El segundo factor más importante de la intensidad de tráfico es el promedio del tiempo de ocupación t_m . En algunos casos el promedio de los tiempos de ocupación es todo lo que se necesita saber acerca de los tiempos de ocupación para determinar la probabilidad de congestión en un sistema a pérdida o retardos en un sistema de retardo. En otros casos es necesario conocer la probabilidad de distribución de los tiempos de espera para obtener los resultados deseados[18].

Las dos más comunes asunciones de las distribuciones de los tiempos de ocupación son: tiempos de ocupación constante y tiempos de ocupación exponenciales [18].

El proceso de servicio puede ser extremadamente complejo pero usualmente limita hacia asumir que cada tiempo de servicio es independiente de otros, y que todos los demás completan con la misma función de distribución: nosotros hablamos de independencia y de forma idéntica de las variables distribuidas. Esta ley de servicio es descrita por su propia distribución de probabilidades.[12]. Véase la Fórmula 3.9.

$$B(x) = P\{\text{Tiempo de Servicio} \leq x\} \quad (3.9)$$

3.5.1. Tiempos constantes de ocupación

Aunque tiempos constantes de ocupación no pueden ser asumidos para conversaciones convencionales de voz, es una asunción razonable para estas actividades: requerimientos de procesamiento de llamadas por llamada, señalización de las direcciones entre inter-oficinas, operación de asistencia y reproducción de los mensajes grabados. Además, tiempos de ocupación constante son obviamente válidos para tiempos de transmisión en redes de paquetes de transmisión fija [18].

Cuando los mensajes están afectados de tiempos de ocupación constantes es fácil usar la ley de probabilidades de Poisson para determinar la probabilidad del uso de los canales activos asumiendo que para un tiempo, todos los requerimientos serán servidos la probabilidad de que j canales estén ocupados en cualquier tiempo en particular es simplemente la probabilidad que j arribos ocurran en un intervalo de tiempo t_m , desde que el promedio de números circuitos activos sobre todo el tiempo es la intensidad de tráfico $A = \lambda * t_m$, la probabilidad de que j circuitos estén ocupados es dependiente solo de la intensidad de tráfico. Véase Fórmula 3.10.

$$P_j(\lambda t_m) = P_j(A)$$

$$P_j(\lambda t_m) = \frac{(A)^j}{j!} * e^{-A} \quad (3.10)$$

Donde:

λ , es la tasa de arribos.

t_m , es el tiempo de ocupación constante.

A , es la intensidad de tráfico constante.

3.5.2. Tiempos constantes de ocupación

La asunción más común es la distribución del tiempo de espera para conversación de teléfonos convencionales es la distribución exponencial del tiempo de espera[18]. Véase la Fórmula 3.11

$$P(> t) = e^{-t/t_m} \quad (3.11)$$

Donde t_m , es el tiempo promedio de ocupación. Esta ecuación expresa que la probabilidad de que el tiempo de ocupación exceda el valor del tiempo t . Esta relación puede ser derivada de a partir unas pocas asunciones de la naturaleza del proceso de la terminación de las llamadas [18].

Capítulo 4

Marco Teórico Sobre Tráfico

4.1. Principales modelos de tráfico

El modelamiento del tele-tráfico ha dado cabida a dos escuelas, una es la clase de modelos "auto-similares", mientras que las otras son las basadas en modelos Markovianos, la primera clase son invariantes en la escala del tiempo y envuelven un tipo de distribución "Encolamiento Pesado"¹ dentro del modelo. Los modelos Markovianos, son invariantes en la escala, pero sólo en un rango finito de escalas [23].

Los procesos convencionales de tráfico en la telefonía regular o modelos de poisson y los modelos basados en poisson, parecen ser markovianos en naturaleza caracterizados por un decaimiento exponencial [24].

4.2. Modelos de naturaleza Poisson

En las comunicaciones de voz y datos, las fuentes de tráfico generan llamadas hacia las facilidades, o servidores. Cuando una llamada llega a un grupo de servidores, y no hay ninguno disponible, la llamada es manejada. Cuando todos los servidores están ocupados (dependiendo del diseño del sistema), la fuente puede hacer:

- Recibir una señal de ocupado requiriendo que la fuente de tráfico cuelge y trate después
- Un enrutamiento automático hacia otra facilidad
- En cola (espera) manteniendo la facilidad antes que el servidor este disponible
- En cola para algún intervalo de tolerancia en el tiempo, después desconectarlo si no es servido

La disposición de las llamadas cuando todos los servidores están ocupados tiene una gran influencia sobre el modelo a usar, los modelos explicados en las secciones subsecuentes cubren las situaciones cuando las fuentes son bloqueadas o encoladas.

4.2.1. Erlang a pérdida

Conocido también con el nombre de modelo de tráfico de Erlang B, esta basado en las siguientes suposiciones:

¹Del inglés *heavy tailed*

- Un número infinito de fuentes
- Patrón de tráfico de arribo aleatorio
- Borra las llamadas en exceso
- Tiene una duración de la llamada con una distribución exponencial

El modelo de Erlang B, es usado cuando las llamadas bloqueadas son re-enrutadas, nunca regresan hacia el grupo original de la troncal. Este modelo asume un patrón de arribos aleatorio. El llamador hace solo un intento; si la llamada es bloqueada, entonces la llamada es re-enrutada. El modelo Erlang B, es comúnmente usado para primer grupo de intento de troncales, o donde se espera tener un pequeño bloqueo[21].

La Fórmula 4.1 es usada para derivar el modelo de tráfico de Erlang B.

$$B(c, a) = \frac{\frac{a^c}{c!}}{\sum_{k=0}^c \frac{a^k}{k!}} \quad (4.1)$$

Donde:

- $B(c,a)$ es la probabilidad de que se bloquee una llamada
- c es el número de circuitos
- a es la carga de tráfico

Los sistemas de pérdida son aquellos en los que ante la llegada de una nueva petición de servicio con todos los servidores ocupados, la petición es desechada. Para su evaluar su dimensión se utiliza la función Erlang B[17].

Esta formula también expresa la capacidad del sistema considerado para manejar el tráfico ofrecido. Como la realidad de la red es más compleja que el modelo básico, nosotros también tenemos que tener en cuenta el fenómeno de la espera, jitter ², etc. pero esto siempre tiene que evaluar los recursos necesarios para manejar el tráfico ofrecido en aceptables condiciones (pérdida, retardo, etc.)[25].

4.2.2. Erlang a espera

Conocido también con el nombre de modelo de tráfico Erlang C, esta basado en las siguientes suposiciones:

- Un infinito número de recursos.
- Patrón de tráfico de arribo aleatorio.
- Retraza las llamadas en exceso.
- Bloquea las llamadas con retraso.
- Tiene una duración de la llamada con una distribución exponencial.

²Jitter, retrasos en la transmisión

El modelo de Erlang C esta diseñado alrededor de la teoría de colas, este modelo asume un patrón de arribo de las llamadas aleatorio, la fuente de tráfico hace una llamada y se mantiene esperando en la cola hasta que sea atendida. El modelo Erlang C es mas comúnmente usado para un diseño conservador de una ACD³ para determinar el número de agentes necesarios. Esto también puede ser usado para determinar el ancho de banda sobre los circuitos de transmisión de datos, pero no es el mejor modelo para este propósito [21].

La Fórmula 4.2 es usada para derivar el modelo de tráfico de Erlang C.

$$C(c, a) = \frac{\frac{a^c c}{c!(c-a)}}{\sum_{k=0}^{c-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^c c}{c!(c-a)}} \quad (4.2)$$

Donde :

- C(c,a) es la probabilidad de que se retrase una llamada.
- c es el número de circuitos.
- a es la carga de tráfico.

4.2.3. Engset a pérdida

Es usado para fuentes finitas, cuando las llamadas bloqueadas son borradas, cuando el número de fuentes son pequeñas, por ejemplo la relación de fuentes a facilidades es menor que de 8 a 1, ocurre un efecto llamado "ganancia limitada de fuentes" [19].

Los datos requeridos para la entrada son:

- Tráfico total desde la fuentes ofrecido en Erlang.
- El número de fuentes y líneas.
- La probabilidad de bloqueo deseada.

La Fórmula 4.3 es usada para derivar el modelo de tráfico de Engset a pérdida.

$$P_b = \frac{C_n^{s-1} m^s}{\sum_{x=0}^n C_x^{s-1} m^x} \quad \text{con, } m = \frac{A}{s - A(1 - P_b)} \quad (4.3)$$

Donde :

- A es tráfico total ofrecido desde la fuentes en Erlang.
- s es el número de fuentes.
- n es el número de servidores.
- P_b es la probabilidad de bloqueo.

³Automatic Call Distributor

4.2.4. Engset a espera

El modelo Engset a espera se usa para sistemas de telefonía con un número de fuentes de tráfico pequeño, donde las llamadas en exceso son puestas en una cola de espera y la probabilidad de bloqueo de una llamada está dada por la Fórmula 4.4.

$$P_n = \frac{\frac{n!}{s!s^{n-s}} C_n^n \left(\frac{\lambda}{u}\right)^n}{\sum_{i=0}^n C_i^n \left(\frac{\lambda}{u}\right)^i} \quad (4.4)$$

Donde :

- P_n probabilidad de bloqueo.
- n es el número de fuentes.
- s es el número de servidores.
- λ tasa de nacimiento de llamadas.
- u tasa de muerte de llamadas.

4.2.5. Bernoulli

El modelo de Bernoulli se usa cuando el número de servidores es mayor al número de fuentes, el modelo nos dice que todos están comunicándose y no puede haber congestión. Véase Fórmula 4.5.

$$P_n = \frac{C_n^n \left(\frac{\lambda}{u}\right)^n}{\sum_{i=0}^n C_i^n \left(\frac{\lambda}{u}\right)^i} \quad (4.5)$$

Donde :

- P_n probabilidad que todos estén comunicándose.
- n es el número de fuentes.
- s es el número de servidores.
- λ tasa de nacimiento de llamadas.
- u tasa de muerte de llamadas.

4.3. Modelos de naturaleza fractal

Las características de tráfico de datos en ráfagas, no son capturadas completamente por los modelos de tráfico convencional basados en Poisson, debido a su naturaleza de ráfagas de paquetes. Para modelar este tipo de tráfico de ráfagas, se usan una propiedad llamada segundo orden de auto-similaridad, midiendo un solo parámetro llamado parámetro de Hurst (H) que define el grado de auto-similaridad.

Capítulo 5

Comportamiento del Tráfico Telefónico Rural

El comportamiento del tráfico telefónico rural no se diferencia del comportamiento del tráfico telefónico urbano, el cambio sólo es en los valores de intensidad del tráfico telefónico urbano, que por supuesto, es mayor que la intensidad del tráfico telefónico rural. Según la teoría de tráfico, presentada en los capítulos 3 y 4, para caracterizar al tráfico telefónico es necesario conocer el comportamiento de la distribución del arribo de las llamadas, es decir, con que frecuencia son utilizados los teléfonos en las zonas rurales y la distribución del tiempo de ocupación, es decir, cuando tiempo es usado el servicio telefónico.

No es posible calcular las distribuciones de arribo de las llamadas y del tiempo de ocupación de las llamadas, para poder determinar la intensidad de tráfico telefónico, pero es posible estimar el valor de la intensidad de tráfico telefónico promedio usando el valor de tráfico telefónico en la hora más cargada, según el tipo de tráfico analizado (urbano, rural, negocios, etc.), sin tener que conocer con precisión las distribuciones de arribo de las llamadas y de los tiempos de ocupación de las llamadas.

El comportamiento del tráfico rural de voz y datos puede ser descrito por modelos de tráfico Markovianos presentados en el capítulo 4, escoger que modelo usar depende del propósito del análisis, para el tráfico rural escogemos el modelo Erlang B a pérdida principalmente por dos razones: no conocemos el número de fuentes a priori por lo que suponemos un modelo Erlang y que no se usa ningún registrador de llamadas por lo que suponemos un tipo B (pérdidas de las llamadas). Así mismo, para comprender el comportamiento del modelo Erlang B aplicado al tráfico rural, es necesario analizar la respuesta de cada variable cambiando los valores de las otras dos variables en un rango específico, que es lo que se desarrolla a continuación:

5.1. Probabilidad de ocupación de los canales telefónicos

Usando el modelo de Erlang B, se puede calcular la probabilidad del uso de un determinado número de canales, a través de la magnitud del tráfico en la hora más cargada y el número de troncales. Véase la Fórmula 5.1.

$$P_i = \frac{\frac{A_i}{i!}}{\sum_{j=0}^N \frac{A^j}{j!}} \quad (5.1)$$

Donde :

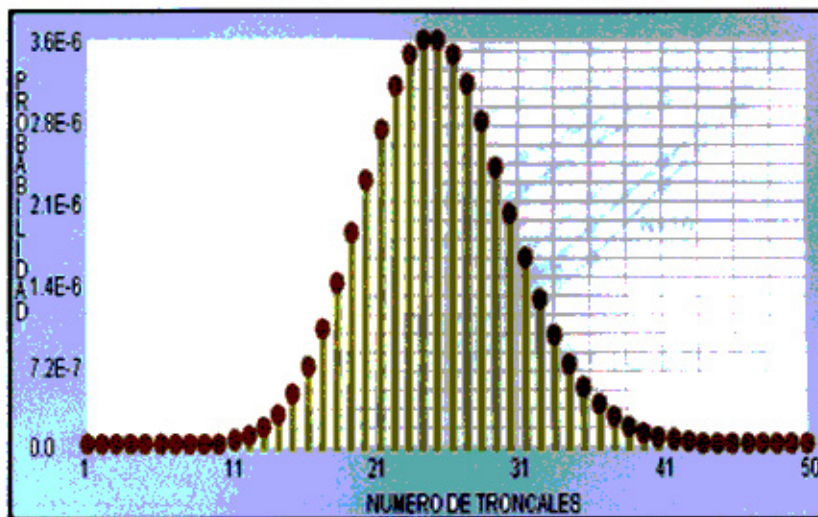


Figura 5.1: Número de canales versus Probabilidad de ocupación

- P_i : Probabilidad en el estado de i canales ocupados.
- i : canales ocupados.
- N : Número de canales.
- A : Tráfico en la hora más cargada.

Suponiendo una magnitud fija de la intensidad de tráfico $A=25$ Erlang y variando el número de canales $N = [1 - 50]$, utilizando la Fórmula 5.1, para mostrar la Figura 5.1 que permite observar el comportamiento de la ocupación de los canales telefónicos.

5.2. Probabilidad de bloqueo de los canales telefónicos

A partir de la Fórmula 5.1, de ocupación de los canales telefónicos se puede determinar la probabilidad de congestión N canales, considerando que el estado de ocupación $i = N$. Véase la Fórmula 5.2.

$$P_B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{j=0}^N \frac{A^j}{j!}} \quad (5.2)$$

Donde :

- P_B : Probabilidad de congestión
- N : Número de canales.
- A : Tráfico en la hora más cargada.

La Figura 5.2, es un ejemplo para un número de canales constante $N = [1 - 10]$ y un aumentando variable de la intensidad de tráfico A , de 10 a 40 Erlang. Se observa el aumento del grado de servicio esto debido al mayor uso de los canales que ocasiona una mayor probabilidad de pérdida de las llamadas.

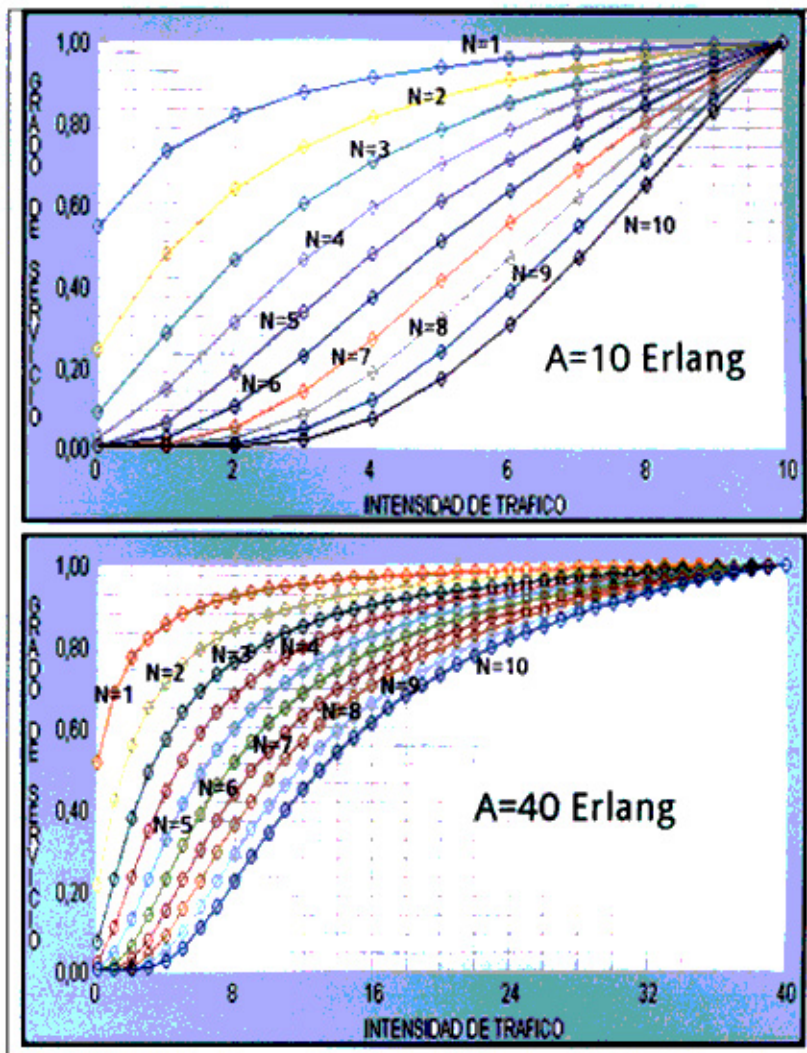


Figura 5.2: Gráfica intensidad de tráfico versus probabilidad de bloqueo

En la Figura 5.3, se muestra otro ejemplo de la intensidad de tráfico constante $N = [0,1 - 10]$ Erlang y el número de canales variables entre 10 a 40. Se observa que disminuye la probabilidad de pérdida esto debido al mayor número de canales disponibles.

La Figura 5.4, es un ejemplo para un grado de servicio $GoS = 50\%$ y el número de canales $N = 50$. Se observa que al aumentar la intensidad del tráfico también aumenta el grado de servicio esto debido al incremento en el número de llamadas generadoras de tráfico.

5.3. Comportamiento del tráfico rural

El comportamiento de tráfico rural esta descrito por un modelo de tráfico como los vistos en el capítulo 4, la selección del modelo a usar depende del tipo de análisis a hacer, en nuestro caso el modelo Erlang-B a pérdida se ajusta mejor para describir el comportamiento del tráfico rural, por los siguientes motivos:

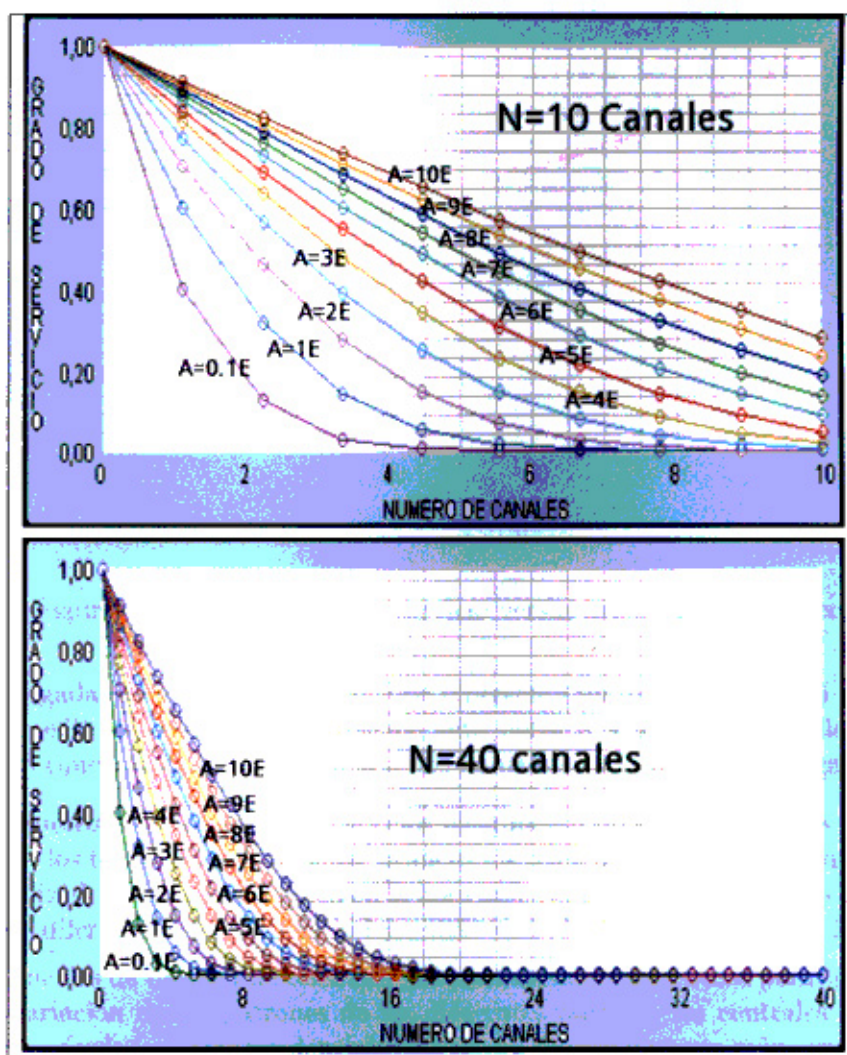


Figura 5.3: Gráfica número de canales versus probabilidad de bloqueo

1. Un sistema a pérdida debido a que las comunicaciones rurales están orientadas hacia la subvención esto por la baja demanda del tráfico telefónico rural, que hace poco atractivo este mercado de comunicaciones para los operadores comerciales.
2. No es posible conocer el número de fuentes generadoras de tráfico de manera a priori, para poder usar otro modelo como el Engset. Por eso se supone un número infinito de fuentes generadoras de tráfico tal como considera el modelo Erlang.
3. Los modelos de tráfico del tipo Poisson son adecuados para el caso de voz y datos, pero cabe hacer notar que si bien es cierto que los modelos de naturaleza fractal capturan con mayor aproximación el comportamiento del tráfico de datos e Internet, también los modelos de Poisson proveen una aproximación suficientemente justificada para describir el tráfico de datos, a continuación se describen algunos parámetros importantes para los modelos Markovianos:

Tráfico residencial Las medidas del tráfico en la hora más cargada indican que un teléfono residencial individual tiene un valor típico usado es entre 5% a 10% del tráfico de la

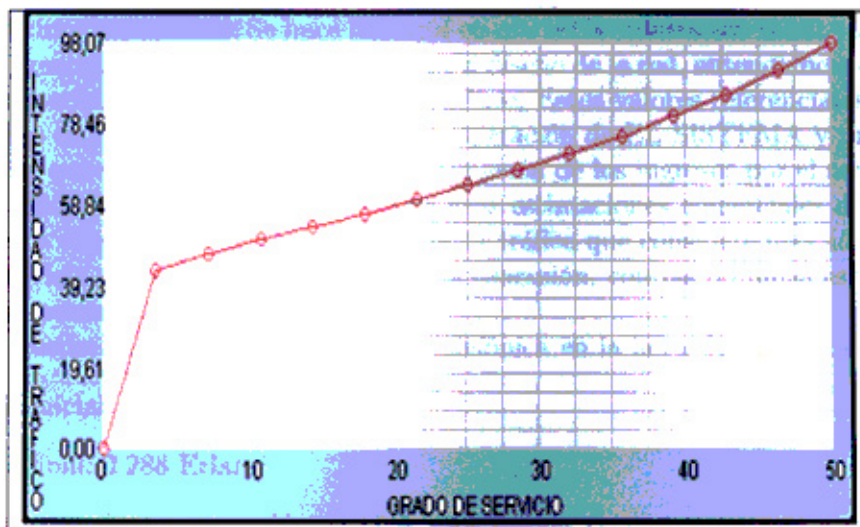


Figura 5.4: Gráfica grado de servicio versus intensidad de tráfico

hora cargada, por lo tanto cada teléfono representa un uso de entre 0.05 a 0.10 Erlang. El promedio del tiempo de ocupación está entre 3 a 4 minutos, indicando que un teléfono típicamente está entre una o dos llamadas en la hora más cargada[18].

Tráfico Negocios Los teléfonos en negocios usualmente producen patrones de carga diferente de los teléfonos residenciales, primero los teléfonos de negocios son generalmente más utilizados, segundo el tráfico en la hora más cargada de los teléfonos de negocios es siempre diferente del tráfico en la hora más cargada de los teléfonos residenciales[18].

Las troncales de una red de teléfonos son diseñadas algunas veces para tomar ventajas de la variación de los patrones de las diferentes oficinas, las centrales Toll conectan troncales desde las áreas residenciales, estas son frecuentemente más ocupadas durante las horas de la tarde y las troncales de las áreas de negocios obviamente son más ocupadas durante las horas de la media mañana y media tarde[18].

Tráfico Rural Dentro de las especificaciones técnicas que se tiene en el proyecto Centro Norte del FITEL, se cuenta con las siguientes especificaciones técnicas de la capacidad y parámetros de diseño para un tráfico rural.

La capacidad del Sub-Sistema de transmisión deberá dimensionarse en concordancia con lo siguiente:[26].

Para 582 localidades, la exigencia es la instalación de como mínimo una línea telefónica en cada localidad y para las 158 localidades identificadas en el Anexo 3 con el requisito de 3 líneas el OPERADOR debe prever que OSIPTEL durante la vigencia del contrato de financiamiento podrá requerir que se instalen hasta 2 líneas adicionales, todas las líneas deben tener la capacidad para transmisiones de Fax y datos según lo especificado. Las mínimas especificaciones de diseño son las siguientes:

- Probabilidad Máxima de Pérdida: 5%.
- Demora Máxima del Tono de Discado o de Acceso al Sistema: 3 Seg.

Tráfico estimado por línea: Se hace hincapié en que estos valores son referenciales, y constituyen la exigencia mínima a considerarse para el diseño de la red, entendiéndose igualmente que es un requerimiento técnico que debe cumplirse. Estos valores referenciales no garantizan los valores de tráfico esperados durante la operación de EL SISTEMA y prestación del servicio, ni los que se empleen para fines de estimación de los ingresos por el servicio, siendo de responsabilidad del postor efectuar sus propias estimaciones comerciales de minutos de uso y en base a ellos asumir los valores técnicos de tráfico que considere más adecuados para brindar el servicio requerido en el período de la concesión, con las mínimas especificaciones de calidad mencionadas previamente.

El tráfico estimado de voz por cada línea telefónica en la hora de mayor carga, es:

- Tráfico inicial: 0.075 Erlang
- Tráfico final: 0.288 Erlang

Para un factor de concentración de 17 %, esos valores corresponden a:

- Minutos diarios por localidad (inicial): 27' en total
- Minutos diarios por localidad (final): 102' en total

Estos valores consideran el tráfico entrante y saliente, estimándose que el tráfico final se alcanzaría a los 3 años [26].

Como ya se justificó el uso del modelo Erlang-B para representar el comportamiento del tráfico de voz y datos, entonces podemos estimar el tráfico por medio de la intensidad de tráfico promedio como este valor depende de dos variables: la distribución de arribo de las llamadas y la distribución de duración de las llamadas, estas funciones no se pueden calcular de forma directa solo medirse por medio de trazas de datos de varios años y así determinar la naturaleza de la curva que seguirá este tráfico rural. Como no es posible calcular estas funciones se hace una aproximación para no calcular los valores individuales de las distribuciones de arribo y duración de las llamadas, por el contrario se calcula el valor conjunto que es la intensidad de tráfico promedio o también conocido como el tráfico en la hora más cargada.

5.4. Análisis del tráfico telefónico rural

En esta sección hacemos dos ejemplos del análisis del tráfico telefónico rural. Concretamente el primero ejemplo el trata del tráfico telefónico rural en el departamento de Puno basado en las lecturas de valores de tráfico que el operador del servicio telefónico le reporta al organismo de supervisión del FITEL; el segundo trata sobre el Programa de Proyecto Rurales PPR-Centro Norte, Fitel 3, que comprende los departamentos de Ancash, La Libertad y Lambayeque. Ambos se describen a continuación:

5.4.1. Análisis del tráfico rural en el departamento de Puno

En el departamento de Puno, encontramos en que se desplegaron los proyectos de Fitel II y de Fitel IV, se describe las lecturas de tráfico registradas en el año 2005, estos valores corresponden a medidas mensuales en minutos por línea para su manejo es conveniente transformarlo a Erlang, y llevar este valor mensual a horas para tener el valor del tráfico en la hora mas cargada, como se describe a continuación:

Tráfico promedio E	Grado de servicio %	Número de líneas
0.0032	3.1	1
0.0032	0.05	2
0.0032	0.0005	3

Cuadro 5.1: Número de líneas para el departamento de Puno ($A=3.2mE$)**FITEL II**

De la tabla Tráfico Mensual cursado por Línea - Proyecto FITEL II (1) 2005, se extrae el valor del tráfico total cursado en minutos como se muestra:

Traffic total en minutos en el 2005 es: $A_{2005} = 216.660786650775$.

Consideremos que el mes tiene 30 días y un factor de concentración de 30 %, lo que resulta en un tráfico en la hora cargada de:

$$A = (216.660786650775) * (0,3) / (30 \text{ días} * 24 \text{ horas} * 60 \text{ minutos})$$

$$A = 0,0015$$

FITEL IV

Tráfico total en el 2005 de igual forma es un valor mensual del tiempo de ocupación de una línea en minutos y es 249.171587743733

$$A = (249.171587743733) * (0,3) / (30 \text{ días} * 24 \text{ horas} * 60 \text{ minutos})$$

$$A = 0,0189$$

Tenemos el tráfico total:

$$A = 0,0032$$

Observando el Cuadro 5.1, que con solo un canal ya estamos superando el grado de servicio de 5 % que se vio en la sección 5.3, con 3 % para un promedio de tráfico de 0.032E.

5.4.2. Análisis del tráfico rural en el PPR Fitel 3

La cobertura del Proyecto Centro Norte comprende localidades rurales de los departamentos de Ancash, La Libertad y Lambayeque. El resumen de la cantidad de localidades o centros poblados (CCPP) por departamento, es el siguiente: [26]

1. Son 582 localidades para instalación de un teléfono público
2. Son 64 capitales de distritos comprendidos en esas 582 localidades, para la instalación de una cabina de acceso a Internet.

Usando los parámetros de tráfico descritos para el proyecto centro norte en la sección 5.3, se hace el cálculo del número de líneas de manera similar al ejemplo anterior visto en la subsección 5.4.1. Véase el Cuadro 5.2.

Se observó que los cálculos de tráfico telefónico clásicos convencionales funcionan bien para los casos urbanos, pero falta un detalle al considerar los casos rurales, que viene a ser (el factor de penetración del servicio telefónico del acceso universal).

La telefonía urbana enfoca su análisis del tráfico telefónico en considerar solo la demanda de tráfico como único parámetro para un eficiente cálculo del número de canales o recursos.

La diferencia del cálculo del número de canales en la telefonía rural, consiste en considerar un parámetro adicional que es la distancia del acceso universal, debido a que los tráficos

Tráfico promedio E	Grado de servicio %	Número de líneas
0.288 (tráfico inicial)	5	2
0.075 (tráfico final)	5	2

Cuadro 5.2: Número de líneas con Erlang B en el proyecto Centro Norte

reportados por el FITEC son bajos, en el orden de los mili-Erlang, al hacer un diseño con estos valores de tráfico con una determinada probabilidad de congestión menor o igual al 5% (Este valor recomendado en el PPR-FITEC 3, proyecto Centro-Norte) los valores del número de recursos resultan ser bajos en el orden de 1, 2 y hasta 3, en la hora más cargada; como el uso de hasta 3 teléfonos se cubre con los requerimientos de la teoría de tráfico de telefonía urbana usando el modelo de tráfico Erlang-B a pérdida, pero no cubre con los requerimientos del acceso universal en el caso de la telefonía rural.

Capítulo 6

Técnicas de Acceso Múltiple 1 Satélite

Las técnicas básicas de acceso múltiple al medio son FDMA¹ y TDMA², éstas se usan en una red VSAT para el enlace de subida o de bajada, dependiendo de la arquitectura de la red VSAT, surgen variantes según la dirección del enlace y de técnica básica de acceso múltiple. El sistema de acceso múltiple completo para la red VSAT, resulta del uso de una técnica de acceso múltiple en cada dirección del enlace.

En una red VSAT estrella compartida, la técnica de acceso múltiple al medio para el enlace de subida está relacionada con las estaciones VSAT y para el enlace de bajada esta relacionado con la estación HUB.

En las técnicas de multi-acceso al medio adicionalmente se especifica el número de canales por portadora que se usa en las estaciones terrenas, puede ser que una estación terrena funcione con un solo canal por portadora o varios canales por portadora, es decir, SCPC³ significa que se usa una portadora por canal en la estación transmisora y MCPC⁴ significa que se tiene varios canales en una sola portadora de la estación terrena. Véase el Cuadro 6.1.

Dentro de las técnicas de acceso al medio, tenemos las siguientes técnicas analógicas como son FDMA-SCPC y FDMA-MCPC; así como las técnicas digitales son TDM-MCPC y TMDA. Por último, una técnica de la combinación de la técnica analógica y digital como es FDMA-TMDA.

Las técnicas de acceso TDMA y FDMA-TDMA solo son usadas en las estaciones VSAT y la técnica de acceso TDM-MCPC solo es usada en la estación HUB; las técnicas FDMA-SCPC y FMDA-MCPC, son usadas en ambas estaciones.

6.1. Protocolos de básicos de acceso al medio

Estos protocolos tienen como finalidad, hacer uso eficiente, del ancho de banda, por medio de la asignación de canales en el tiempo para el caso de TDMA y canales en banda de frecuencia para FDMA, cabe hacer notar que si se trata de TDMA, se cuenta con una sola portadora para el uso de todo el ancho de banda, por lo tanto cada canal le corresponde una ranura de tiempo pequeña, esto significa que se usa toda la capacidad del enlace para cada canal en un instante pequeño. Por otro lado en FDMA, se divide el ancho de banda total

¹FDMA, Multi-acceso por division de frecuencia

²TDMA, Multi-acceso por division de tiempo

³Un solo canal por portadora, Single channel per carrier

⁴Varios canales por portadora, Múltiple channels per carrier

Dirección del Enlace	Acceso Múltiple
Acceso de Subida	FDMA-SCPC
Acceso de Bajada	FDMA-MCPC
	TDM-MCPC
	FDMA-TDMA
	TDMA

Cuadro 6.1: Variables del acceso múltiple de la red VSAT estrella

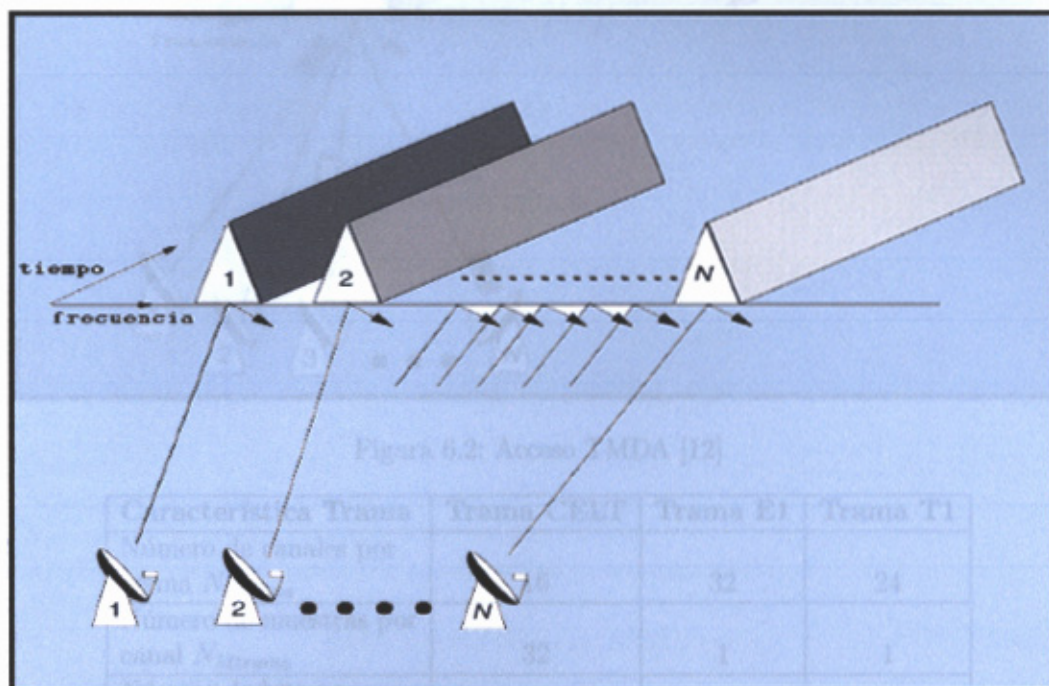


Figura 6.1: Acceso FDMA [12]

en varias sub-bandas, cada sub-banda tiene una portadora, en este caso se puede transmitir todo el tiempo que sea necesario, pero en una sub-banda con un ancho menor.

6.1.1. FDMA

El acceso múltiple por división de frecuencia consiste en asignar a una portadora, a cada una de las sub-bandas del total del ancho de banda, cada sub-banda corresponde a un canal de comunicaciones de subida, con una capacidad de transmisión menor que la capacidad del ancho de banda total, pero cada canal de comunicaciones FDMA puede transmitir todo el tiempo que sea necesario, por tener un portadora independiente. Véase la Figura 6.1.

6.1.2. TDMA

El acceso múltiple por división de tiempo, significa usar todo el ancho de banda asignado para cada portadora en secuencia por una cantidad de tiempo limitado, llamada una ranura de tiempo "Time Slot". Véase la Figura 6.2.

Todos los canales TDMA, usan un solo ancho disponible, transmitiendo datos a la máxima capacidad, pero por un intervalo de tiempo asignado a cada canal, esto significa que se tiene

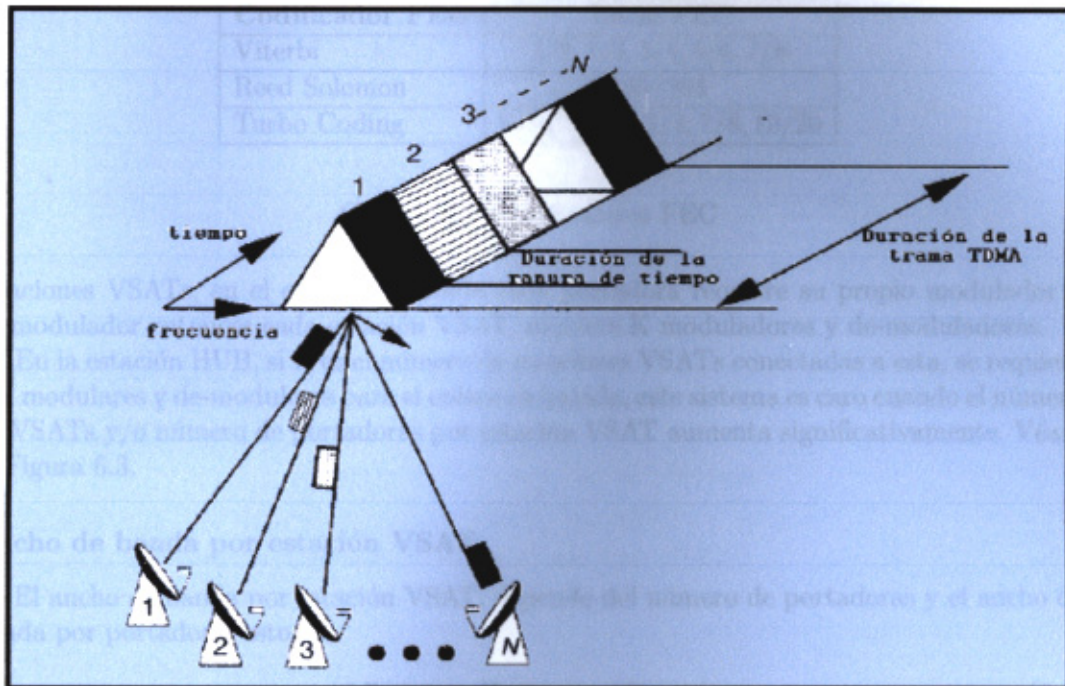


Figura 6.2: Acceso TDMA [12]

Característica Trama	Trama CELT	Trama E1	Trama T1
Número de canales por trama $N_{C\text{trama}}$	16	32	24
Número de muestras por canal $N_{M\text{trama}}$	32	1	1
Número de bits por muestra $N_{NB\text{trama}}$	8	8	8
Número de bits de señalización $N_{B\text{strama}}$	0	0	1

Cuadro 6.2: Formatos de tramas TDMA

una sola portadora para enviar los datos de todos los canales y en consecuencia un ancho de banda fijo para enviar los datos de cada uno de los canales digitales TDMA.

Dependiendo del formato de la trama la trama, la portadora asignada a la trama TDMA, puede llevar un determinado número de canales como se muestra en el Cuadro 6.2 de formatos de trama TDMA, cada una con determinadas características propias del canal como su velocidad de transferencia del canal, que indica la cantidad de información que se esta enviando por unidad de tiempo.

6.2. Accesos múltiples en una red estrella VSAT

6.2.1. Subida FDMA-SCPC/Bajada FDMA-SCPC

Para cada enlace se usa una técnica de acceso múltiple FDMA-SCPC, una estación VSAT tiene K portadoras correspondientes a los usuarios terminales atados a esta. Para las

Codificador FEC	Tasas FEC
Viterbi	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Reed Solomon	188/204
Turbo Coding	5/16, 21/44, 3/4, 7/8, 19/20

Cuadro 6.3: Codificadores FEC

estaciones VSATs, en el enlace de subida cada portadora requiere su propio modulador y de-modulador entonces cada estación VSAT, requiere K moduladores y de-moduladores.

En la estación HUB, si N es el número de estaciones VSATs conectadas a esta, se requiere NK moduladores y de-moduladores para el enlace de bajada, este sistema es caro cuando el número de VSATs y/o número de portadoras por estación VSAT aumenta significativamente. Véase la Figura 6.3.

Ancho de banda por estación VSAT

El ancho de banda por estación VSAT, depende del número de portadoras y el ancho de banda por portadora, esto es:

$$AB_{VSAT} = N_{PVSAT} * AB_{PVSAT} \quad (6.1)$$

Donde:

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{PVSAT} , Número de portadora en la estación VSAT.

AB_{PVSAT} , Ancho de banda por portadora en la estación VSAT.

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.2)$$

Con:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT.

Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

El uso de codificadores FEC, es importante en los sistemas de comunicaciones satelitales, debido a que por medio de estos no son necesarias las retransmisiones frente a la detección de un error, debido a que transmite suficiente información redundante a través del uso de estos codificadores para poder hacer la corrección frente a los errores sin ninguna retransmisión del mensaje original, esto a incrementa la velocidad de transmisión por portadora como se describe en la siguiente ecuación. Véase el Cuadro 6.3.

$$V_{PVSAT} = V_{IVSAT} / FEC_{VSAT} \quad (6.3)$$

Donde:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT.

$$V_{IVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.4)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El número de canales disponibles por estación VSAT, resulta del número de portadoras por estación terrena VSAT y el compresor usado, el tipo de compresor, depende de la clase

Vocoder	Algoritmo de Compresión	Velocidad de Información
G.723.1	ACELP	5.3Kbps
G.723.1	MP-MLQ	6.4Kbps
G.726	ADPCM	32Kbps
G.728	LD-CELP	16Kbps
G.729A	CS-CELP	8.0Kbps

Cuadro 6.4: Vocoders

de aplicación de tele-tráfico tratada, es decir si se transmite datos se usa el compresor G.711, y para el caso de transmisión de voz son usados los Vocoders como G.726, G.728, etc. Véase el Cuadro 6.4.

$$N_{CVSAT} = N_{PVSAT} * V_{IVSAT} / V_{IVVSAT} \quad (6.5)$$

Donde: N_{CVSAT} , Número de canales activos por VSAT.

V_{IVSAT} , Velocidad de información de por portadora VSAT.

V_{IVVSAT} , Velocidad de información del vocoder.

Ancho de banda de subida

Como se trata de un sistema FDMA el ancho de banda de subida consiste en la suma de todos los anchos de banda de las estaciones VSATs, debido a que cada estación VSAT tiene su espacio en frecuencia reservado y se describe a continuación:

$$AB_{subida} = AB_{VSAT} * N_{VSAT} \quad (6.6)$$

AB_{subida} , Ancho de banda de subida.

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{VSAT} , Número de VSATs.

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda para el enlace de bajada FDMA-SPCP, es similar al ancho de banda para el enlace subida FDMA-SCPC, como se muestra a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.7)$$

Con:

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

N_{PHUB} , Número de portadora en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.8)$$

Donde:

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación HUB.

Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

Además:

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} / FEC_{HUB} \quad (6.9)$$

Donde:

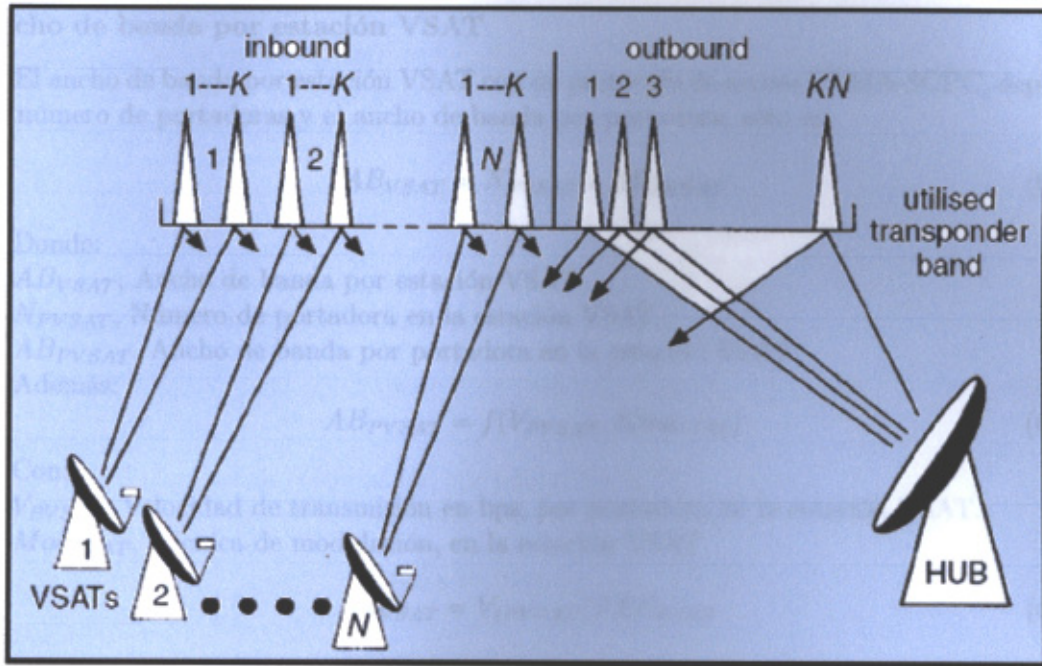


Figura 6.3: Acceso En Subida FDMA-SCPC/En Bajada FDMA-SCPC[12]

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.

FEC_{HUB} , Tasa FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.10)$$

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.

N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

También cabe aclarar que para esta combinación de protocolos de acceso al medio el número de portadoras en la estación HUB, debe coincidir numéricamente con el número de portadoras en las todas las estaciones VSATs y si se usa compresión en el enlace de subida debe usarse el mismo compresor para el enlace de bajada, debido a que la cantidad de canales disponibles deben de ser iguales en ambos enlaces.

$$N_{PHUB} = N_{PVSAT} \quad (6.11)$$

6.2.2. Subida FDMA-SCPC/Bajada FDMA-MCPC

Para el enlace de subida se usa la técnica de acceso FDMA-SCPC, una estación VSAT con K terminales de usuario atados a esta y una portadora por usuario, requiere K moduladores y un de-modulador por estación VSAT, una red VSAT estrella con N estaciones VSATs, tiene KN moduladores en todas las estaciones VSATs.

Mientras para el enlace de bajada se usa FDMA-MCPC, usa multiplexación en el tiempo TDM la estación HUB con N estaciones VSATs atadas a esta, tiene N moduladores y NK de-moduladores. Véase la Figura 6.4.

Ancho de banda por estación VSAT

El ancho de banda por estación VSAT con un protocolo de acceso FDMA-SCPC, depende del número de portadoras y el ancho de banda por portadora, esto es:

$$AB_{VSAT} = N_{PVSAT} * AB_{PVSAT} \quad (6.12)$$

Donde:

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{PVSAT} , Número de portadora en la estación VSAT.

AB_{PVSAT} , Ancho de banda por portadora en la estación VSAT.

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.13)$$

Con:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT.

Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

$$V_{PVSAT} = V_{IPVSAT}/FEC_{VSAT} \quad (6.14)$$

Donde:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IPVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT

$$V_{IPVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.15)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El uso de compresión para voz o datos, en las estaciones VSATs, aumenta la capacidad de los canales activos, según el codificador usado, como en el enlace de subida se trata de un protocolo de acceso en el dominio de la frecuencia, la compresión no afecta directamente al ancho de banda, debido a que la codificación se trata en señales digitales con un ancho de banda previamente definido.

Ancho de banda de subida

El ancho de banda de subida consiste en la suma de todos los ancho de banda de las estaciones VSATs como se describe a continuación:

$$AB_{subida} = AB_{VSAT} * N_{VSAT} \quad (6.16)$$

AB_{subida} , Ancho de banda de subida.

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{VSAT} , Número de VSATs.

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda de bajada para un protocolo de multi-acceso FDMA-MCPC, es similar al ancho de banda de bajada de un sistema multi-acceso FDMA-SCPC, como se muestra a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.17)$$

Donde:

AB_{bajada} , Ancho de por banda de bajada.

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

N_{PHUB} , Número de portadoras en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.18)$$

Donde:

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, en la estación HUB.

Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} * FEC_{HUB} \quad (6.19)$$

Donde:

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.

FEC_{HUB} , Taza FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.20)$$

Donde:

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.

N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

Para el protocolo de subida FDMA-MCPC, en la estación HUB el número de portadoras en la estación HUB, debe coincidir numéricamente con el número de estaciones VSATs, Además si se uso compresión en las aplicaciones de voz o datos, para las estación VSATs, la capacidad de los canales activos disponibles.

en todas las estaciones VSATs, aumento a más de NK, por tal motivo es necesario también usar la misma compresión en la estación HUB para que el número de canales disponibles activos sean iguales en ambos enlaces.

$$N_{PHUB} = N_{VSAT} \quad (6.21)$$

6.2.3. Subida FDMA-SCPC/Bajada TDM-MCPC

Se usa FDMA-SCPC en el enlace de subida cada estación VSAT tiene K moduladores y un de-modulador, en la red VSAT estrella con N estaciones VSAT, tiene en total NK moduladores y N de-moduladores[12]. En el enlace de bajada se usa un esquema de acceso TDM-MCPC, esto resulta en la estación HUB, el uso de un modulador y NK de-moduladores [12]. Véase la Figura 6.5.

Ancho de banda por estación VSAT

El ancho de banda por estación VSAT, con un protocolo de multi-acceso FDMA-SCPC, depende del número de portadoras y el ancho de banda por portadora, esto es:

$$AB_{VSAT} = N_{PVSAT} * AB_{PVSAT} \quad (6.22)$$

Donde:

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{PVSAT} , Número de portadora en la estación VSAT.

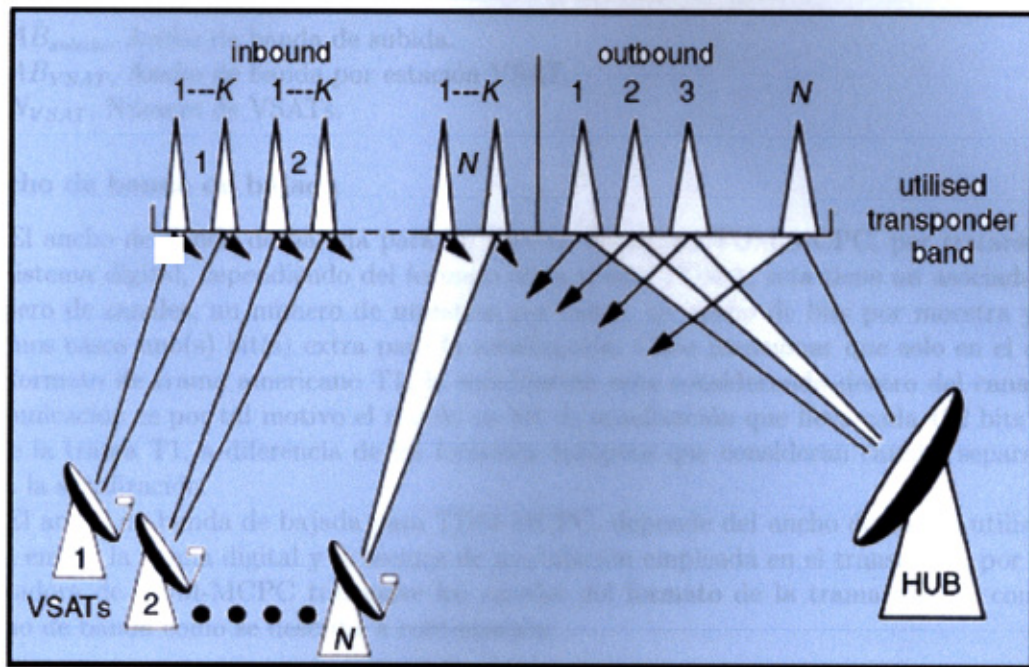


Figura 6.4: Acceso En Subida FDMA-SCPC/En Bajada FDMA-MCPC

AB_{PVSAT} , Ancho de banda por portadora en la estación VSAT.

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.23)$$

Con: V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT.

Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

$$V_{PVSAT} = V_{IPVSAT} / FEC_{VSAT} \quad (6.24)$$

Donde: V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IPVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT.

$$V_{IPVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.25)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El uso de compresión para voz o datos, en las estaciones VSATs, aumenta la capacidad de los canales activos, según el codificador usado, como en el enlace de subida se trata de un protocolo de acceso en el dominio de la frecuencia, la compresión no afecta directamente al ancho de banda, debido a que la codificación señales digitales con un ancho de banda definido previamente.

Ancho de banda de subida

El ancho de banda de subida consiste en la suma de todos los anchos de banda de las estaciones VSATs como se describe a continuación:

$$AB_{subida} = AB_{VSAT} * N_{VSAT} \quad (6.26)$$

AB_{subida} , Ancho de banda de subida.
 AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.
 N_{VSAT} , Número de VSATs.

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda de bajada para un sistema de acceso TDM-MCPC, por tratarse de un sistema digital, dependiendo del formato de la trama TDMA, esta tiene un asociada un número de canales, un número de muestras por canal, un ancho de bits por muestra y en algunos casos uno(s) bit(s) extra para la señalización. Cabe mencionar que solo en el caso del formato de trama americano T1, la señalización esta considerando dentro del canal de comunicación es por tal motivo el uso de un bit de señalización que lleva cada 192 bits que tiene la trama T1, a diferencia de los formatos europeos que consideran canales separados para la señalización.

El ancho de banda de bajada para TDM-MCPC, depende del ancho de banda utilizado para enviar la trama digital y la técnica de modulación empleada en el transmisor, por una portadora de TDM-MCPC transmite los canales del formato de la trama digital, con un ancho de banda como se describe a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.27)$$

Donde :

AB_{bajada} , Ancho de por banda de bajada.
 AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.
 N_{PHUB} , Número de portadoras en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.28)$$

Donde:

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, en la estación HUB.
 Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} * FEC_{HUB} \quad (6.29)$$

Donde:

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.
 FEC_{HUB} , Taza FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.30)$$

Donde:

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.
 N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

En el enlace de bajada, el número de portadoras en la estación HUB, depende del protocolo de multi-acceso FDMA-SCPC y de la compresión usada en el enlace de subida, para las estaciones VSATs, como se describe a continuación:

$$N_{PHUB} = N_{VSAT} * N_{PVSAT} / N_{CAtrama} \quad (6.31)$$

Donde:

$N_{CAtrama}$, Número de canales activos disponibles en las estaciones VSATs.

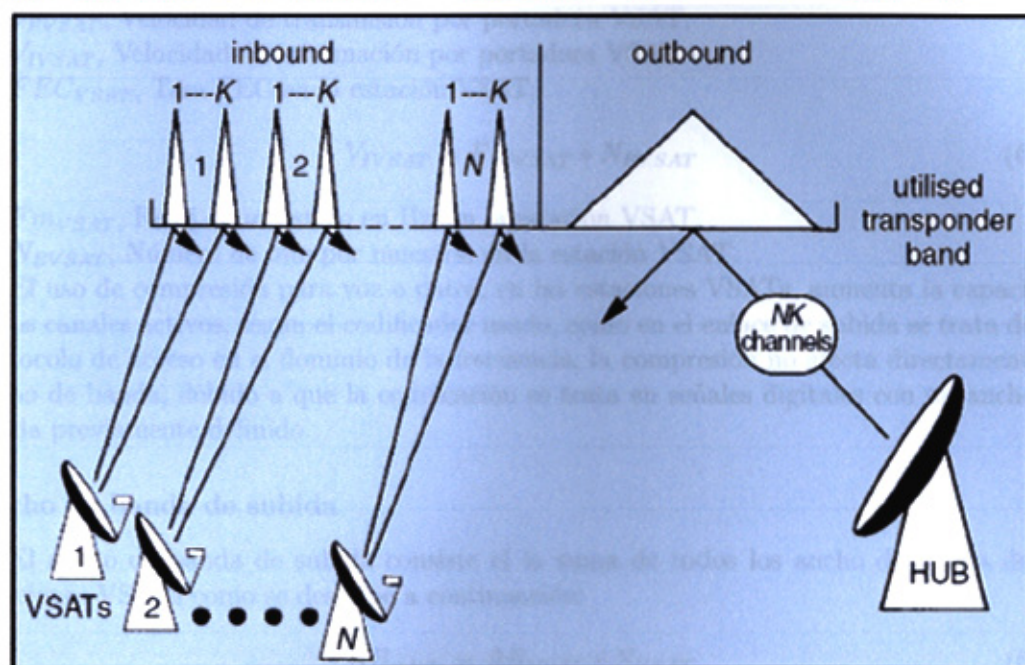


Figura 6.5: Acceso En Subida FDMA-SCPC/En Bajada TDM-MCPC [12]

6.2.4. Subida FDMA-MCPC/Bajada TDM-MCPC

En la red estrella VSAT, usando esta técnica de acceso al medio, en el enlace de subida, el número de moduladores en cada una de las estaciones VSAT es reducido a uno, en total las estaciones VSATs requiere N moduladores y de-moduladores

En la estación HUB, se requiere ser un modulador y solo N de-moduladores, correspondientes a cada una de las N estaciones VSAT. Véase la Figura 6.6.

Ancho de banda por estación VSAT

El ancho de banda por estación VSAT, depende del ancho de banda por portadora, esto debido a que solo existe una sola portadora a diferencia de FDMA-SCPC, en donde podía haber más de una portadora, esta técnica de Mult.-acceso se usa para enviar varios canales en una sola portadora correspondiente a cada estación VSAT, esto es:

$$AB_{VSAT} = AB_{PVSAT} \quad (6.32)$$

Donde:

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

AB_{PVSAT} , Ancho de banda por portadora en la estación VSAT

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.33)$$

Con:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT. Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

$$V_{PVSAT} = V_{IPVSAT}/FEC_{VSAT} \quad (6.34)$$

Donde:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT.

$$V_{IVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.35)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El uso de compresión para voz o datos, en las estaciones VSATs, aumenta la capacidad de los canales activos, según el codificador usado, como en el enlace de subida se trata de un protocolo de acceso en el dominio de la frecuencia, la compresión no afecta directamente al ancho de banda, debido a que la codificación se trata en señales digitales con un ancho de banda previamente definido.

Ancho de banda de subida

El ancho de banda de subida consiste el la suma de todos los ancho de banda de las estaciones VSATs como se describe a continuación:

$$AB_{subida} = AB_{VSAT} * N_{VSAT} \quad (6.36)$$

AB_{subida} , Ancho de banda de subida.

AB_{VSAT} , Ancho de banda por estación VSAT.

N_{VSAT} , Número de VSATs.

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda de bajada para un sistema de acceso TDM-MCPC, por tratarse de un sistema digital, dependiendo del formato de la trama TDMA, esta tiene un asociada un número de canales, un número de muestras por canal, un ancho de bits por muestra y en algunos casos uno(s) bit(s) extra para la señalización. Cabe mencionar que solo en el caso del formato de trama americano T1, la señalización esta considerada dentro del canal de comunicación es por tal motivo el uso de un bit de señalización que lleva cada 192 bits que tiene la trama T1, a diferencia de los formatos europeos que consideran canales separados para la señalización.

El ancho de banda de bajada para TDM-MCPC, depende del ancho de banda utilizado para enviar la trama digital y la técnica de modulación empleada en el transmisor, por una portadora de TDM-MCPC transmite los canales del formato de la trama digital, con un ancho de banda como se describe a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.37)$$

Donde:

AB_{bajada} , Ancho de por banda de bajada.

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

N_{PHUB} , Número de portadoras en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.38)$$

Donde:

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, en la estación HUB.

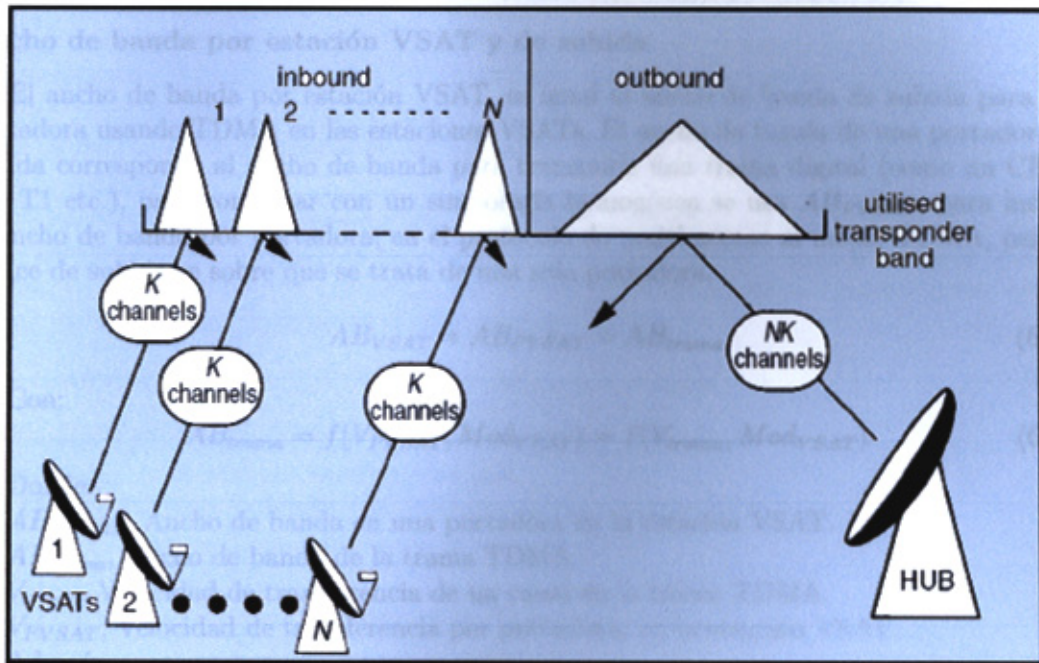


Figura 6.6: Acceso En Subida FDMA-MCPC/En Bajada TDM-MCPC [12]

Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} * FEC_{HUB} \quad (6.39)$$

Donde:

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.

FEC_{HUB} , Taza FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.40)$$

Donde:

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.

N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

En el enlace de bajada, el número de portadoras en la estación HUB, depende del protocolo de multi-acceso FDMA-SCPC y de la compresión usada en el enlace de subida, para las estaciones VSATs, como se describe a continuación:

$$N_{PHUB} = N_{VSAT} * N_{PVSAT} / N_{CAtrama} \quad (6.41)$$

Donde:

$N_{CAtrama}$, Número de canales activos disponibles en las estaciones VSATs.

6.2.5. Subida TDMA/Bajada TDM-MCPC

Las estaciones VSAT ahora pueden acceder al transpondedor del satélite en modo TDMA, cada VSAT transmite sus propia portadora burst, en secuencia en el mismo ancho de banda y en la misma frecuencia, cada portadora burst puede transportar el tráfico de una conexión SCPC o de muchas conexiones MCPC, en este último caso, la portadora burst es dividida dentro de sub-burst, cada sub-burst, es asociada en una conexión. Véase la Figura 6.7.

Ancho de banda por estación VSAT y de subida

El ancho de banda por estación VSAT, es igual al ancho de banda de subida para una portadora usando TDMA en las estaciones VSATs. El ancho de banda de una portadora de subida corresponde al ancho de banda para transmitir una trama digital (como un CELP, El, T1 etc.), para continuar con un simbología homogénea se usa AB_{PVSAT} , para indicar el ancho de banda por portadora, en el protocolo de multi-acceso al medio TDMA, para el enlace de subida se sobre que se trata de una sola portadora.

$$AB_{VSAT} = AB_{PVSAT} = AB_{trama} \quad (6.42)$$

Con:

$$AB_{trama} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) = f(V_{trama}, Mod_{VSAT}) \quad (6.43)$$

Donde:

AB_{PVSAT} , Ancho de banda en una portadora en la estación VSAT.

AB_{trama} , Ancho de banda de la trama TDMA.

V_{trama} , Velocidad de transferencia de un canal en la trama TDMA.

V_{PVSAT} , Velocidad de transferencia por portadora, en la estación VSAT.

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.44)$$

Con:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT.

Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

$$V_{PVSAT} = V_{IPVSAT}/FEC_{VSAT} \quad (6.45)$$

Donde:

V_{IPVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT.

$$V_{IVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.46)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El uso de compresión para voz o datos, en las estaciones VSATs, aumenta la capacidad de los canales activos, según el codificador usado, como en el enlace de subida se trata de un protocolo de acceso en el dominio de la frecuencia, la compresión no afecta directamente al ancho de banda, debido a que la codificación señales digitales con un ancho de banda definido previamente.

El ancho de banda de subida, para un protocolo de multi-acceso TDMA, en el enlace de subida, es igual al ancho de banda por estación VSAT.

$$AB_{subida} = AB_{PVSAT} \quad (6.47)$$

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda de bajada para un sistema de acceso TDM-MCPC, por tratarse de un sistema digital, dependiendo del formato de la trama TDMA, esta tiene un asociada un número de canales, un número de muestras por canal, un ancho de bits por muestra y en

algunos casos uno(s) bit(s) extra para la señalización. Cabe mencionar que solo en el caso del formato de trama americano T1, la señalización esta considerada dentro del canal de comunicación es por tal motivo el uso de un bit de señalización que lleva cada 192 bits que tiene la trama T1, a diferencia de los formatos europeos que consideran canales separados para la señalización.

El ancho de banda de bajada para TDM-MCPC, depende del ancho de banda utilizado para enviar la trama digital y la técnica de modulación empleada en el transmisor, por una portadora de TDM-MCPC transmite los canales del formato de la trama digital, con un ancho de banda como se describe a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.48)$$

Donde:

AB_{bajada} , Ancho de por banda de bajada.

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

N_{PHUB} , Número de portadoras en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.49)$$

Donde:

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, en la estación HUB.

Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} * FEC_{HUB} \quad (6.50)$$

Donde:

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.

FEC_{HUB} , Taza FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.51)$$

Donde:

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.

N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

En el enlace de bajada, el número de portadoras en la estación HUB, depende del protocolo de multi-acceso FDMA-SCPC y de la compresión usada en el enlace de subida, para las estaciones VSATs, como se describe a continuación:

$$N_{PHUB} = N_{VSAT} * N_{PVSAT} / N_{CAtrama} \quad (6.52)$$

Donde:

$N_{CAtrama}$, Número de canales activos disponibles en las estaciones VSATs.

6.2.6. Subida FDMA-TDMA/Bajada FDMA-MCPC

Para bajar los requerimientos sobre la transmisión de potencia, reduciendo la tasa de bits transmitidos, una elegante solución es organizar las VSATs en grupos con L VSATs por grupo, un grupo comparte la misma banda de frecuencia y accede al transpondedor del satélite en modo TDMA. Los diferentes grupos usan diferentes bandas de frecuencia, este es el esquema combinado FDMA-TDMA, con esta aproximación dado el número de N VSATs, en la red y la capacidad por VSAT, la tasa de transmisión sobre la portadora burst y de aquí los requerimientos de potencia de la portadora, es dividida por G el número de grupos. Véase la Figura 6.8.

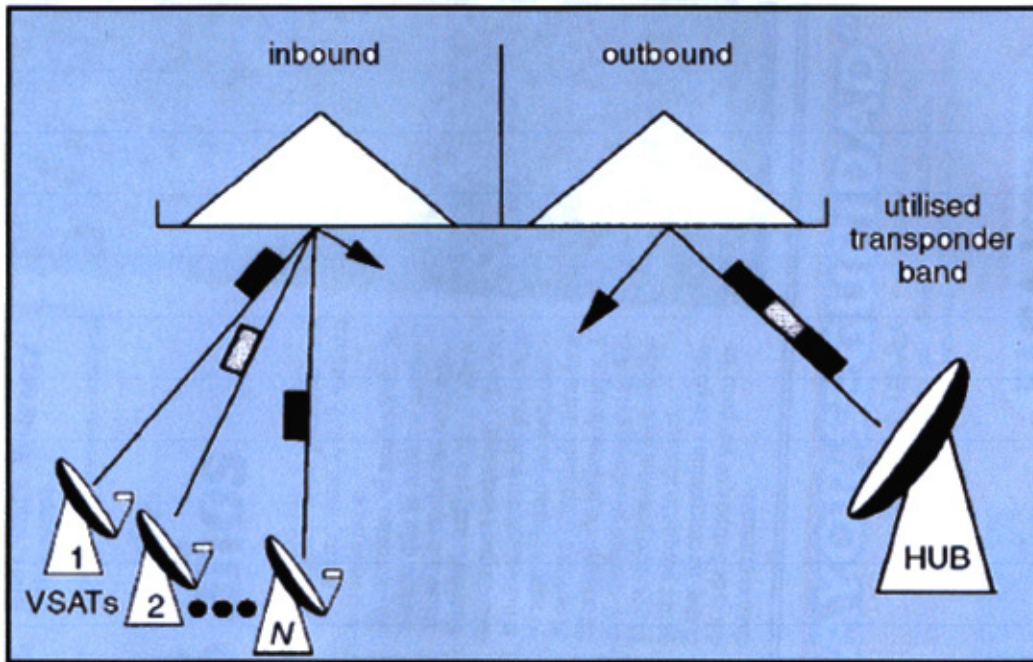


Figura 6.7: Acceso En Subida TDMA/En Bajada TDM-MCPC [12]

Ancho de banda por estación VSAT y de subida

El ancho de banda por estación VSAT, es igual al ancho de banda de subida para una portadora usando TDMA en las estaciones VSATs. El ancho de banda de una portadora de subida corresponde al ancho de banda para transmitir una trama digital (como un CELP, E1, T1 etc.), para continuar con un simbología homogénea se usa AB_{PVSAT} , para indicar el ancho de banda por portadora, en el protocolo de multi-acceso al medio TDMA, para el enlace de subida se sobre que se trata de una sola portadora.

$$AB_{VSAT} = AB_{PVSAT} = AB_{trama} \quad (6.53)$$

Con:

$$AB_{trama} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) = f(V_{trama}, Mod_{VSAT}) \quad (6.54)$$

Donde:

AB_{PVSAT} , Ancho de banda en una portadora en la estación VSAT.

AB_{trama} , Ancho de banda de la trama TDMA.

V_{trama} , Velocidad de transferencia de un canal en la trama TDMA.

V_{PVSAT} , Velocidad de transferencia por portadora, en la estación VSAT

Además:

$$AB_{PVSAT} = f(V_{PVSAT}, Mod_{VSAT}) \quad (6.55)$$

Con:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación VSAT.

Mod_{VSAT} , Técnica de modulación, en la estación VSAT.

$$V_{PVSAT} = V_{IPVSAT}/FEC_{VSAT} \quad (6.56)$$

Donde:

V_{PVSAT} , Velocidad de transmisión por portadora VSAT.

V_{IVSAT} , Velocidad de información por portadora VSAT.

FEC_{VSAT} , Tasa FEC en la estación VSAT.

$$V_{IVSAT} = Fm_{VSAT} * N_{BVSAT} \quad (6.57)$$

Fm_{VSAT} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación VSAT.

N_{BVSAT} , Número de bits por muestra, en la estación VSAT.

El uso de compresión para voz o datos, en las estaciones VSATs, aumenta la capacidad de los canales activos, según el codificador usado, como en el enlace de subida se trata de un protocolo de acceso en el dominio de la frecuencia, la compresión no afecta directamente al ancho de banda, debido a que la codificación señales digitales con un ancho de banda definido previamente.

El ancho de banda de subida, para un protocolo de multi-acceso TDMA, en el enlace de subida, es igual al ancho de banda por estación VSAT.

$$AB_{subida} = AB_{PVSAT} * N_{GVSAT} \quad (6.58)$$

N_{GVSAT} , Número de grupos de VSATs, en las estaciones VSATs.

Ancho de banda de bajada

El ancho de banda para el enlace de bajada FDMA-SCPC, es similar al ancho de banda para el enlace subida FMDA-SCPC, como se muestra a continuación:

$$AB_{bajada} = AB_{PHUB} * N_{PHUB} \quad (6.59)$$

Con:

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

N_{PHUB} , Número de portadora en la estación HUB.

$$AB_{PHUB} = f(V_{PHUB}, Mod_{HUB}) \quad (6.60)$$

Donde:

AB_{PHUB} , Ancho de banda por portadora en la estación HUB.

V_{PHUB} , Velocidad de transmisión en bps, por portadora en la estación HUB.

Mod_{HUB} , Técnica de modulación, en la estación HUB.

Además:

$$V_{PHUB} = V_{IPHUB} / FEC_{HUB} \quad (6.61)$$

Donde:

V_{IPHUB} , Velocidad de información por portadora HUB.

FEC_{HUB} , Tasa FEC en la estación HUB.

$$V_{IPHUB} = Fm_{HUB} * N_{BHUB} \quad (6.62)$$

Fm_{HUB} , Reloj de muestreo en Hz, en la estación HUB.

N_{BHUB} , Número de bits por muestra, en la estación HUB.

También cabe aclarar que para esta combinación de protocolos de acceso al medio el número de portadoras en la estación HUB, debe coincidir numericamente con el número de portadores en las todas las estaciones VSATs y si se usa compresión en el enlace de subida debe usarse el mismo compresor para el enlace de bajada, debido a que la cantidad de canales disponibles deben de ser iguales en ambos enlaces.

$$N_{PHUB} = N_{PVSAT} \quad (6.63)$$

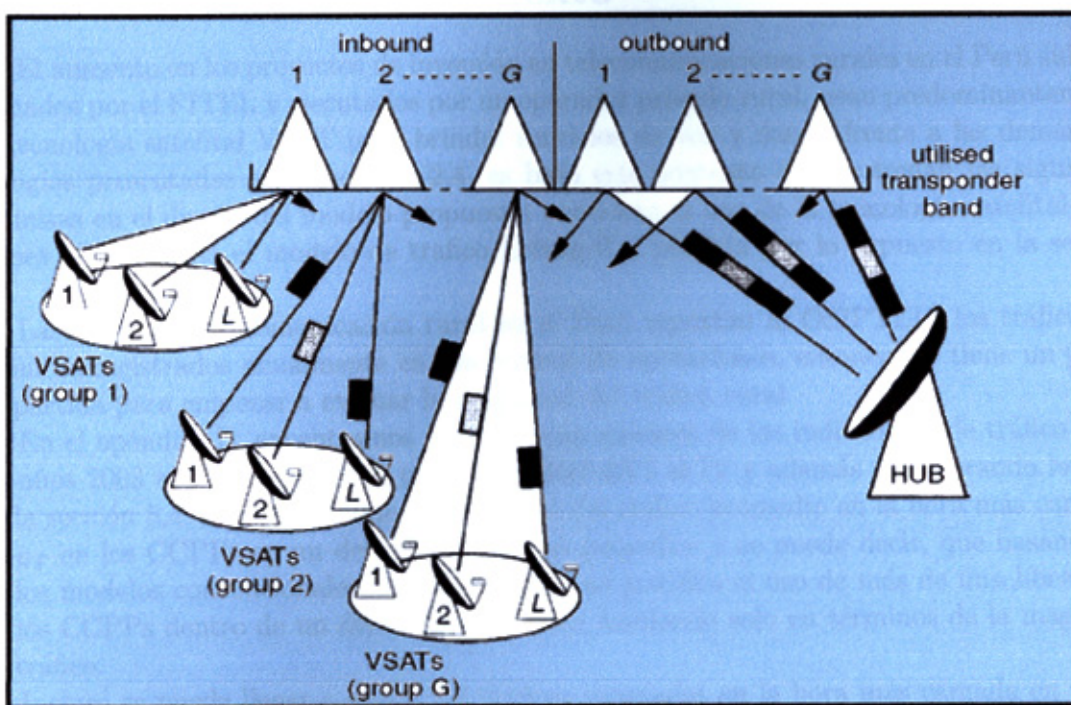


Figura 6.8: Acceso En Subida FDMA-TDMA/En Bajada FDMA-MCPC [12]

Capítulo 7

Descripción del contexto

7.1. Descripción del contexto

El aumento en los proyectos de inversión en telecomunicaciones rurales en el Perú subvencionados por el FITEL y ejecutados por un operador privado rural; usan predominantemente la tecnología satelital VSAT para brindar servicios de voz y datos, frente a las demás tecnologías presentadas en la sección 2.4, es bajo este contexto que se toman las siguientes premisas en el diseño del modelo propuesto: considera el uso de la tecnología satelital estaciones VSAT y usa el modelo de tráfico Erlang-B a pérdida por lo expuesto en la sección 5.3.

Las empresas de comunicación rural en el Perú reportan al OSIPTEL¹ los tráficos telefónicos registrados anualmente en sus centros de operaciones, entonces se tiene un punto de partida para empezar a evaluar la magnitud del tráfico rural.

En el apéndice B, encontramos parte de una muestra de los indicadores de tráfico entre los años 2003 al 2005 esto en los proyectos Fitel del I al IV y además considerando lo visto en la sección 5.4, recordemos que la magnitud del tráfico promedio en la hora más cargada, A_{BHT} en los CCPPs en un departamento, son pequeños y se puede decir, que basandonos en los modelos convencionales, que este tráfico no justifica el uso de más de una línea para varios CCPPs dentro de un departamento; esto, hablando solo en términos de la magnitud de tráfico.

Incluso se puede llegar a sumar los tráficos generados en la hora más cargada en varios CCPPs rurales de varios departamentos para tener un consolidado de una magnitud de tráfico telefónico relativamente más significativo, útil para calcular un ancho de banda en el satélite. Véase la Figura 7.1.

7.2. Problema de los modelos tradicionales

La teoría de tráfico no distingue entre tráfico rural o tráfico urbano, existe un problema cuando al aplicar la teoría de tráfico al dimensionar el número de líneas en áreas rural como si fuera un caso urbano, por tratarse de una magnitud menor implica una cantidad menor de líneas, pero recuérdese que en usuarios en los CCPP rurales se encuentran dispersos en un área relativamente extensa y el número de líneas calculado con los modelos convencionales no es coherente en el caso rural por lo que no toma en cuenta las distancias entre los teléfonos, por tal motivo aparece el término acceso universal, el cual implica que debe de existir una distancia máxima para ubicar un teléfono y pueda llevarse a cabo la comunicación.

¹Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones

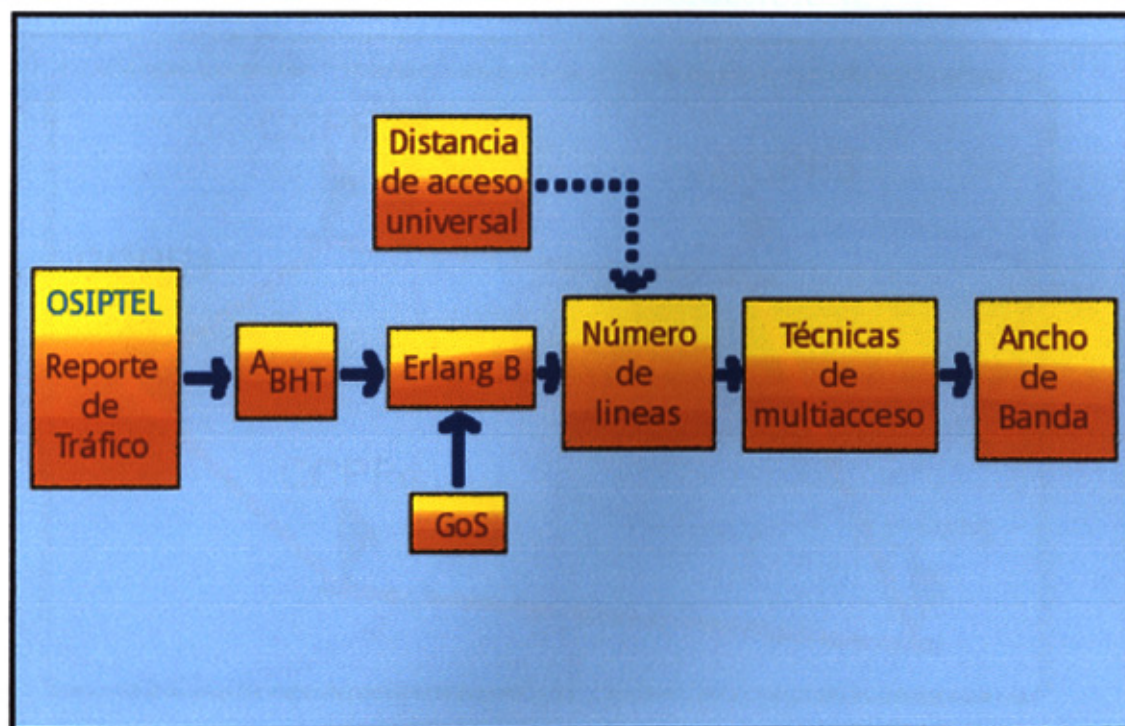


Figura 7.1: Descripción del contexto

7.3. Propuesta de un modelo de comunicaciones rurales

Como la magnitud del tráfico que generan es baja en los centros poblados rurales en un departamento no justifica el uso de más de un canal con el análisis del tráfico de Erlang B, pero aquí entra a tallar el tema del acceso universal, esto tiene que ver con la distancia máxima desde cualquier CCPP rural para encontrar un teléfono.

Esta última condición obliga, a poner un teléfono en un centro poblado no por el tráfico que generan los usuarios en el CCPP, si no por el tema de accesibilidad que se tenga a este servicio.

Para poder estimar el número de líneas, ya no solo resulta ser un problema que contenga tres variables usando el modelo de tráfico Erlang B, (probabilidad de bloqueo, número de líneas y tráfico promedio) se presenta una nueva variable que es la distancia máxima hacia un teléfono que define al distancia de acceso universal, para poder relacionarlo con el modelo de tráfico Erlang B a pérdida se trata como un problema de geometría para el cálculo del número de líneas, es decir en base al número y las posiciones de los CCPPs rurales a analizar, se desarrolla un algoritmo que permita ubicar y calcular los CCPPs rurales principales donde sea más eficiente ubicar una estación VSAT con un teléfono, para poder cubrir la mayor cantidad de CCPPs rurales periféricos que satisfaga la distancia máxima del acceso universal. Véase la Figura 7.2.

El modelo propuesto toma en cuenta los servicios de Internet que brindan los proyectos como FITEL V, BAR, BAS, etc. vistos en la sección 2.4, debido que el cálculo del número de canales es dependiente de las posiciones relativas de los CCPPs Rurales y no del uso de servicios de los servicios de Internet; esto resulta en un incremento del tráfico de datos al tráfico rural existente de voz y por ende también un incremento del ancho de banda.

Una vez calculado el número de líneas por geometría tenemos un valor de entrada para

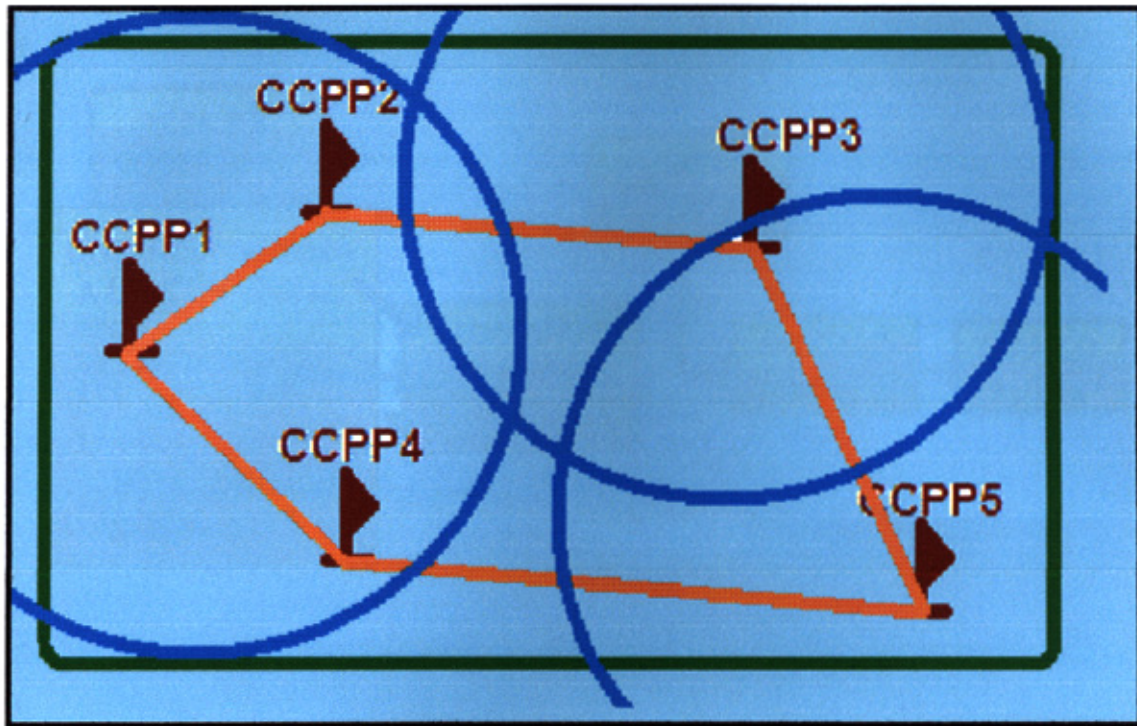


Figura 7.2: Algoritmo geométrico de cálculo del número de líneas

la formula convencional de los modelos de tráfico Erlang B a pérdida para calcular el ancho de banda del CCPPs rurales que era el objetivo de la tesis, como se muestra a continuación:

$$P_B = \frac{\frac{A_N}{N!}}{\sum_{j=0}^N \frac{A^j}{j!}} \quad (7.1)$$

Donde:

- P_B : Probabilidad de congestión
- N : Número de Troncales
- A : Tráfico en la Hora Cargada

Además el número de canales o de troncales es igual una función del área de cobertura y de la distancia máxima a un teléfono desde un CCPP rural. Véase oa Figura 7.3.

$$N = f(d, P_{CCPPs}, N_{CCPPs}) \quad (7.2)$$

Donde:

- d : Distancia del acceso universal.
- P_{CCPP} :Posiciones de los centros poblados analizados
- N_{CCPP} :Número de los centros poblados analizados

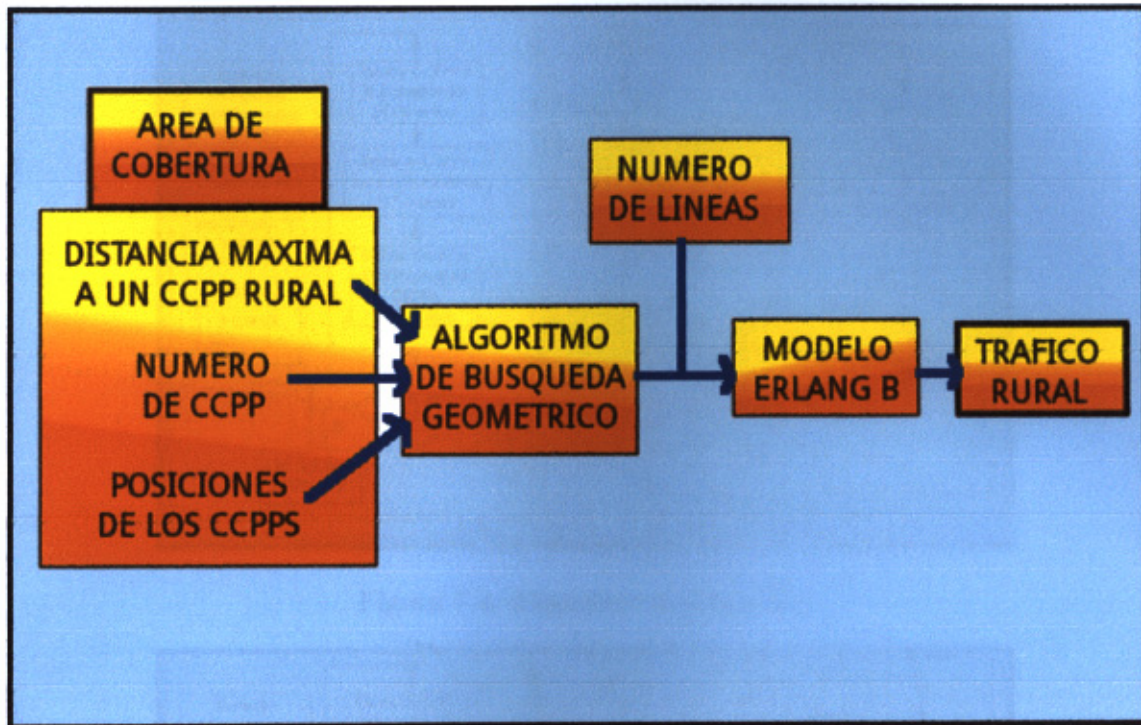


Figura 7.3: Modelo de tráfico telefónico propuesto

7.4. Algoritmo de búsqueda geométrica

El algoritmo de búsqueda geométrica de los CCPPs rurales, óptimos para ubicar una estación VSAT con un teléfono, parte del hecho de conocer el número y la posición de los CCPPs rurales analizados. Dado esto, se plantean tres estrategias para resolver el problema del cálculo del número de líneas para un grupo de CCPPs rurales. Además, planteamos tres algoritmos: conservador, moderado y eficiente, para calcular el número de canales.

7.4.1. Algoritmo conservador

Dentro del algoritmo conservador tomamos como punto de partidas las posiciones de los CCPPs rurales, y formamos un polígono que encierre a todos estos, una vez hecho esto, buscamos los CCPP rurales en el perímetro del polígono, luego los tomamos como punto de partida y buscamos en un radio igual a la distancia máxima del acceso universal de 6km, como se muestra en la Figura 2.6, luego pasamos al siguiente CCPP rural en el perímetro formado y repetimos la misma operación hasta terminar con los CCPPs en el perímetro. Véase la Figura 2.4.

7.4.2. Algoritmo moderado

En este algoritmo partimos del conocimiento de la lógica del algoritmo conservativo, consiste en asignar una estación VSAT, en los vértices del polígono formado, pero a diferencia del primer algoritmo este recorre todo el perímetro guardando registro del número de CCPPs que encuentra en un radio igual al de acceso universal, después empieza asignando un estación VSAT, partiendo de aquellos que tengan mayor CCPPs de cobertura en un radio igual al de acceso universal. Cabe destacar que no hay una diferencia entre los canales asignados con esta estrategia y la primera solo se trata de un orden de asignación. Véase la Figura 2.5.

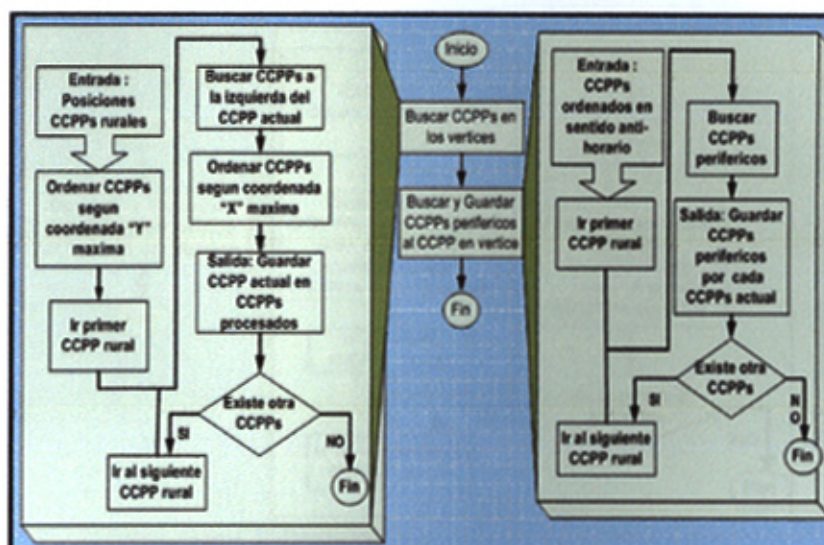


Figura 7.4: Algoritmo conservativo

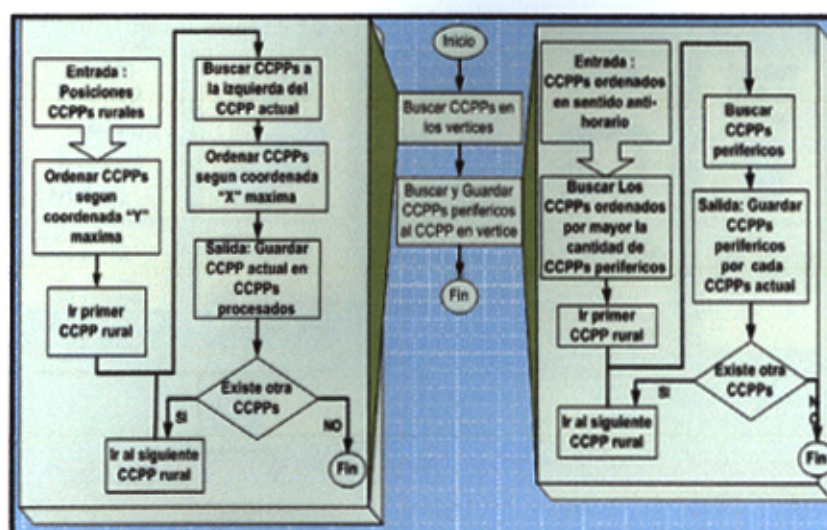


Figura 7.5: Algoritmo moderado

7.4.3. Algoritmo eficiente

Este algoritmo tiene una lógica parecida al algoritmo moderado, en este ya no se busca formar ningún polígono, si no que se empieza a recorrer analizando cada CCPPs y guarda el número de CCPPs que encuentra en un radio igual al de acceso universal, después de terminar de analizar todos los CCPPs, según los registros guardados empieza a asignar un estación VSAT, partiendo de los CCPP que tengan el mayor número de CCPP dentro un radio igual a la distancia del acceso universal. Véase la Figura 2.6.

7.5. Descripción de la aplicación

La aplicación desarrollada consiste en un sistema embebido en ArcGis, sobre la librería ArcObject y el Framework .NET 2.0, escrito en VB.NET, tiene dos principales librerías, la primera es el paquete GeoTrafficModel, encargado del cálculo del número de líneas, a partir

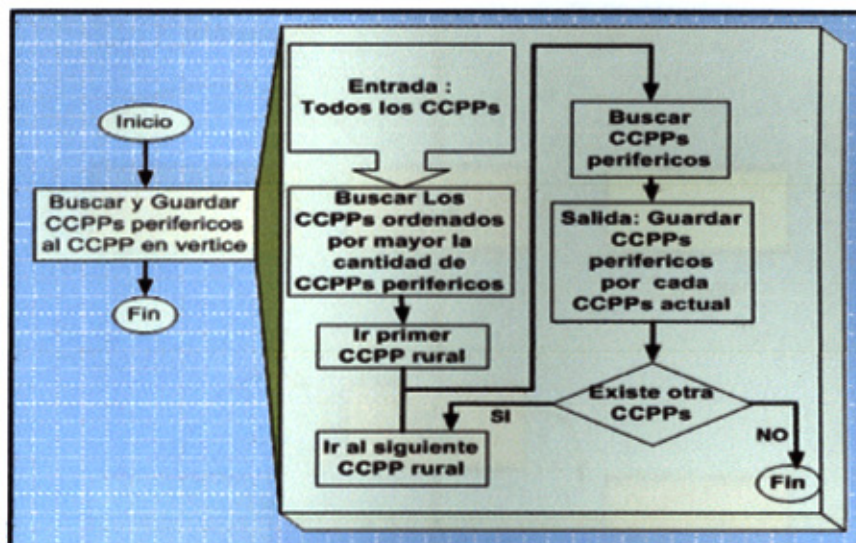


Figura 7.6: Algoritmo moderado

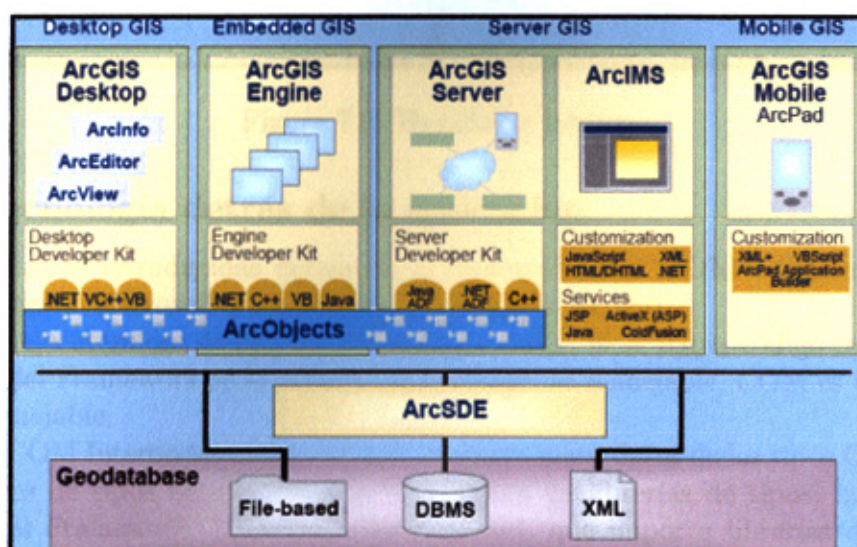


Figura 7.7: Arquitectura de ArcGIS

de los CCPPs rurales seleccionados. La segunda librería StarShapedNetwork está orientada hacia labores del análisis y cálculo de la intensidad del tráfico y el ancho de banda.

7.5.1. Arquitectura del software

El diseño de la arquitectura es en tres capas, como se podrá apreciar en la figura 7.8, que describe varias posibilidades de su funcionamiento, la segunda columna titulada como Embedded Gis, es usada para la aplicación debido a que esta aplicación se trata de un sistema incrustado desarrollado con las librerías de .NET de Microsoft y ArcObject de Esri.

Se usa MS-Sql Server 2000 con ArcSDE, ArcObjects y ArcMap como se puede ver desde abajo hacia arriba en la figura 7.7.

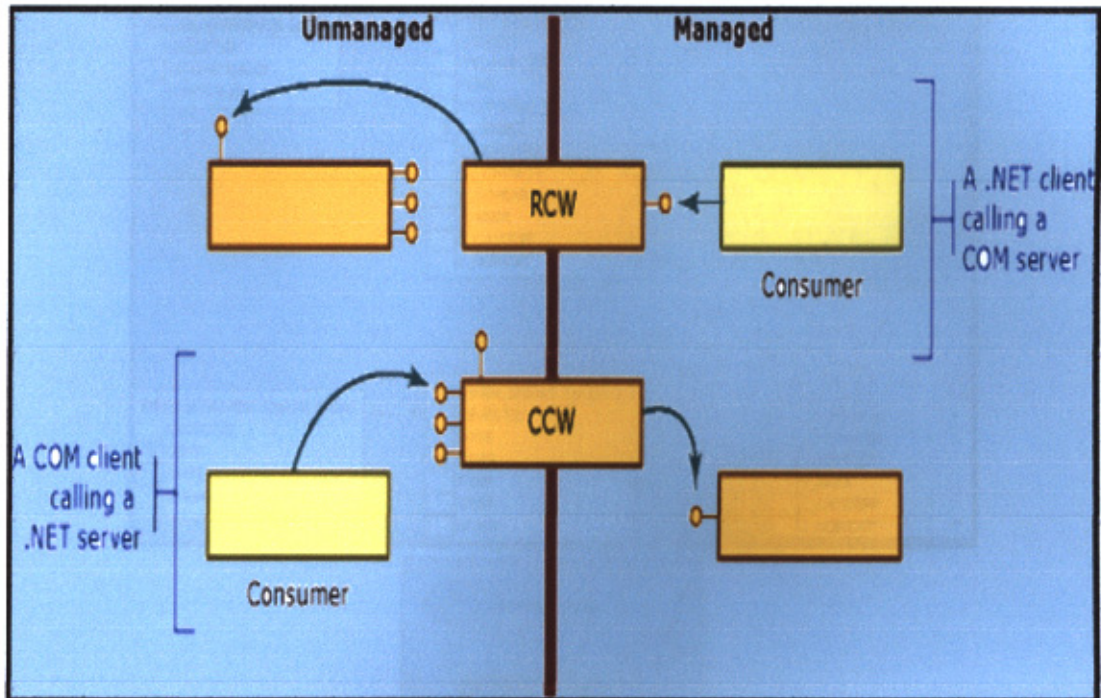


Figura 7.8: Tecnología Interop

7.5.2. Tecnología detrás de la aplicación

Las tecnologías introducidas detrás de la aplicación son: COM², Framework .NET y COM Interop de Microsoft y las librerías ArcObjects de Esri.

Al código ejecutándose dentro del Framework .NET, se le llama código manejable, y al código fuera del Framework se le conoce como código no manejable, COM es un ejemplo de código no manejable.

Para que COM Interop funcione, el CLR³ requiere meta-datos de los tipos COM. Además las definiciones de tipos de datos COM, se guardan en librerías de tipos, luego existe un utilitario en el Framework .NET SDK (tlbimp.exe), que importa librerías de tipos hacia meta-datos, para que los clientes .NET puedan instanciar tipos de datos COM.

El Runtime de .NET, crea clases que enmascaran clientes manejables y no manejables, para comunicarse desde códigos manejables hacia objetos COM se usa RWC⁴ y para comunicarse desde un cliente COM con un componente .NET se usa CCW⁵ como se ve en la Figura 7.9.

7.5.3. Base de datos

Es una base de datos del tipo espacial, es decir pueden tener un campo geométrico, Esri denomina a esta tecnología como **ArcSDE** esta base de datos es orientada a objetos y maneja dos tipos principales de tablas, las tablas que presentan un campo geométrico se les denomina **FeatureClass** y a las tablas sin ningún campo geométrico se conocen como **Table**.

²Component Object Model

³Common Languages Runtime

⁴Runtime Callable Wrapper

⁵COM Callable Wrapper

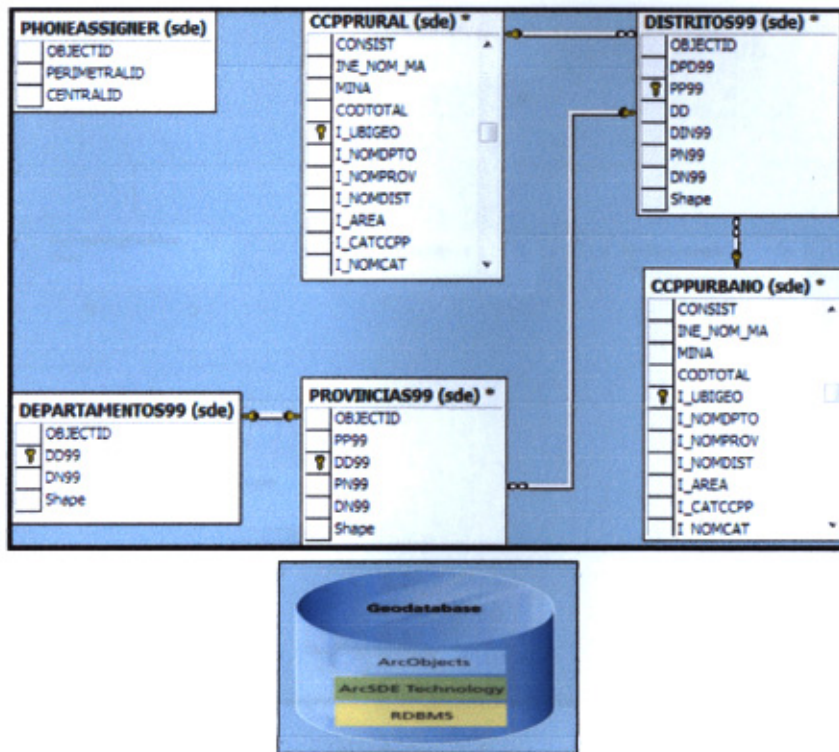


Figura 7.9: Base de datos

ArcSDE en la aplicación usa un servidor SqlServer-2000 y un servicio que asocia la base de datos a un puerto TCP por lo general el 5151 o superior, la tecnología ArcSDE soporta la capacidad de una base de datos multiusuario y su usuario principal es el **sde**.

Los principales FeatureClass, que se usan son del tipo polígono como se muestra en la Figura 7.9, son Departamento99, Provincia99 y Distritos99. Otro FeatureClass del tipo punto es el CCPPRural y una tabla PhoneAssigner donde se guarda una relación de un CCPP rural central frente a otro(s) CCPP(s) rural(es) periférico(s).

7.5.4. Diagrama de clases

En la Figura 7.10 se muestra un diagrama simplificado del diagrama de clases del paquete GeoTrafficModel, la clase principal es TrafficModelAnalysis que instancia a las demás clases.

Las clases encargadas del manejo de los datos son ArcConexionManager (establece la conexión hacia la base de datos), ArcDataManager (tiene funciones básicas como la selección, modificación y eliminación de datos) y ArcDataLogic (su función es la de almacenar algunas operaciones más complejas como por ejemplo búsqueda de un CCPP rural dentro de un Distrito).

La clase PhoneAssigner es la responsable del cálculo del número de líneas tiene métodos para la asignación de un estación VSAT a varios CCPP rural.

La clase GeometryBuilder, es la encargada de la construcción de las geometrías necesarias para la asignación de las estaciones VSATs, como es el caso de un poli-línea a partir de la clase (Polyline). La clase PointManager organiza un grupo de CCPP rurales a partir de las geometrías puntos esto con ayuda de la clase PointComparable, que implementa un interface de .NET para la comparación de objetos.

En la figura 7.11, el diagrama de clases del paquete StarShapedNetwork, encapsula el modelo de una red estrella compartida VSAT, como se puede ver se consideraron algunas

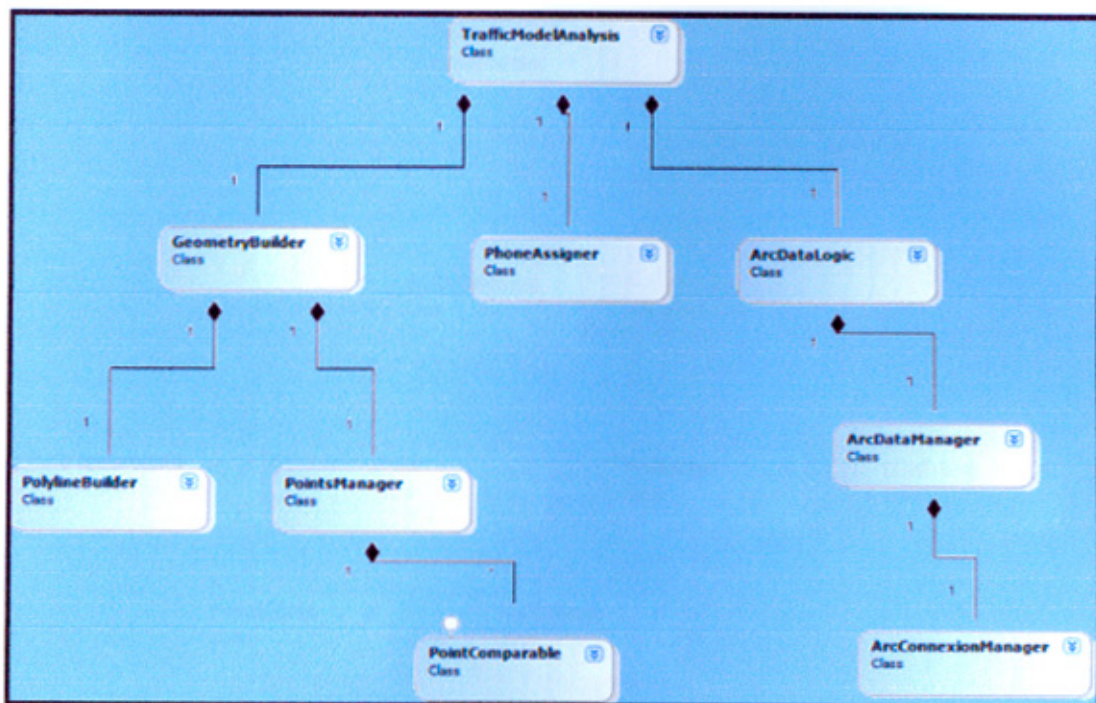


Figura 7.10: Diagrama de clases del paquete GeoTrafficModel

entidades para el modelamiento como el codificador (Encoder), Estación Hub (HubStation), Modulador (Modulator), un protocolo de acceso en las estaciones Hub y VSAT (MultipleAccessProtocolHub y MultipleAccessProtocolVSAT), Multiplexor, Estación Hub y VSAT (HubStation y VSATSstation).

La finalidad de este paquete es proveer herramientas para el análisis de tráfico y ancho de banda. Este paquete necesita como entrada el número de líneas calculado por el paquete anterior GeoTrafficModel. Usando el número de líneas y el modelo de Erlang B con un grado de servicio de 5%, según recomendación del proyecto Centro-Norte del Fitel, se llega la magnitud del tráfico.

Para el análisis del ancho de banda, se usa el modelo de la red estrella compartida VSAT, considerando como una red homogénea es decir que posee dispositivos de características parecidas. Consideramos entre los factores más importantes al número de bits de la palabra, frecuencia de muestro, técnica de modulación y protocolos de acceso al medio para el cálculo del ancho de banda.

7.5.5. Principales interfaces gráficas

En la Figura 7.12, se muestra algunas de las interfaces más importantes como la barra de herramientas que provee acceso a otras ventanas, además se ve la interface del paquete GeoTrafficModel encargada del cálculo del número de líneas y del Paquete StarShapedNetwork para el análisis del tráfico y ancho de banda.

7.6. Resultados del modelo

En esta sección presentamos los cálculos en base a la teoría presentada en los Capítulos 3 y 4 para el número de líneas y la intensidad del tráfico, además del Capítulo 6 para el

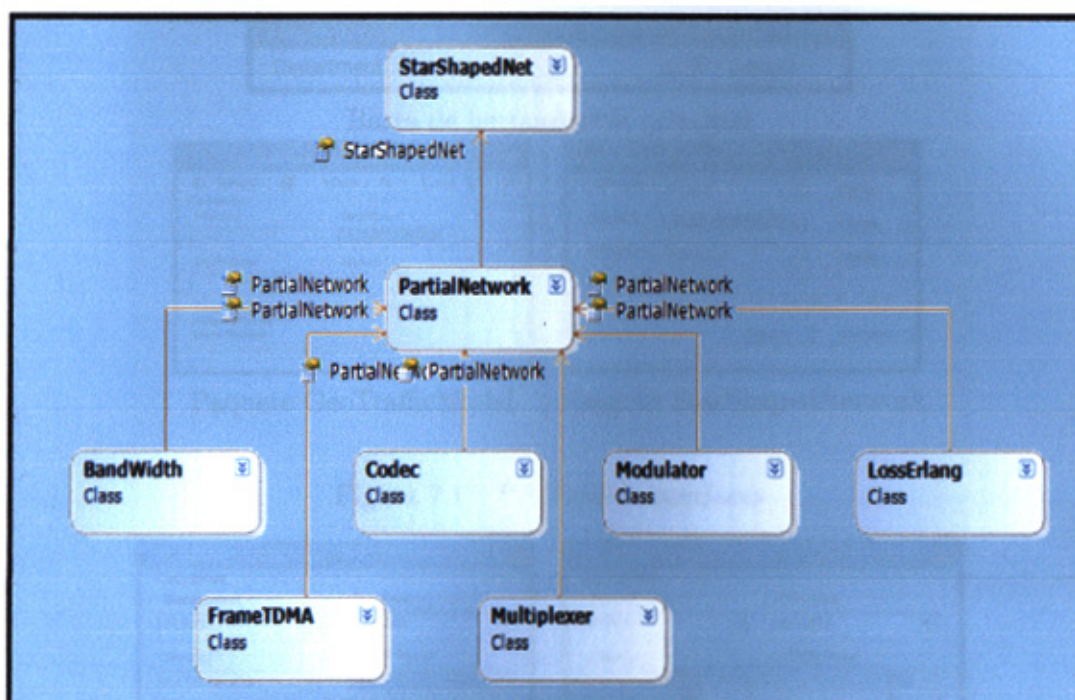


Figura 7.11: Diagrama de clases paquete StarShapedNetwork

cálculo del ancho de banda.

7.6.1. Cálculo del número de estaciones VSats

Para determinar el número de estaciones VSat usamos el algoritmo de búsqueda eficiente descrito en la sub-sección 7.4.3, esta opción está configurada por defecto en el paquete GeoTrafficModel, además es necesario indicarle al algoritmo las CCPPs rurales de interés por medio del siguiente procedimiento: búsqueda, filtro y ubicación que se muestra en la Figura 7.13.

En la Figura 7.14, observamos el distrito de Patambuco con sus 32 CCPPs rurales y con una mayor concentración de estos en la zona sur pero también hay un número significativo en la zona nor-oriental del distrito.

Antes de ejecutar el algoritmo de búsqueda geométrica configuramos el valor de la distancia de acceso universal a 6Km tomado de la Figura 7.15; este valor no es una constante si no es una referencia que puede variar según el diseño del sistema VSat y la ubicación geográfica.

Una vez configurada la distancia, escojemos el algoritmo eficiente. Véase la Figura 7.16.

Finalmente configuramos el modo de selección de los CCPPs rurales incluidos en el análisis donde tenemos dos opciones a escoger: los seleccionados por el cursor y todos los visibles, por defecto la última opción está activada. Véase la Figura 7.6.1.

Para iniciar la ejecución del algoritmo se muestra en la Figura 7.17 el procedimiento adecuado, después de iniciado el proceso se muestra en la parte inferior de la ventana una barra horizontal que indica el progreso del tiempo de ejecución del tarea. Véase la Figura 7.18.

Una vez terminado el proceso, los resultados del algoritmo geométrico eficiente indican una cantidad de 5 estaciones VSats necesarias para cubrir los 32 CCPPs rurales a una

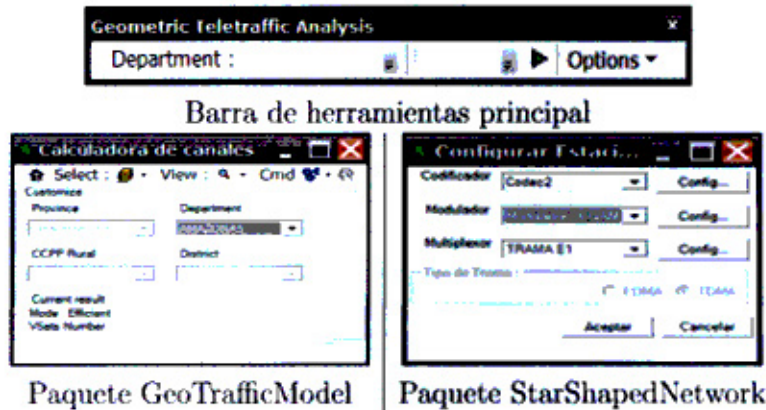


Figura 7.12: Principales interfaces



Figura 7.13: Selección de los CCPPs rurales de interés

distancia de acceso universal de 6Km. Véase la Figura 7.19.

En resumen las 5 estaciones VSat del distrito de Patambuco están ubicadas en los CCPPs rurales que muestra en el Cuadro 7.1 donde se puede observar la cantidad de CCPPs rurales dentro de la cobertura de la distancia del acceso universal configurada a 6Km.

En la Figura 7.20, observamos una gráfica de barras del número de estaciones VSats distribuidas en el distrito de Patambuco vemos que colocando una estación VSat en Mayupampa tenemos la mayor cobertura de CCPPs rurales con 16, incluido Mayupampa y la menor cobertura es en el CCPP rural Sihuasihua con 5 CCPPs rurales contenidas incluido a Sihuasihua.

7.6.2. Cálculo del número de líneas

Determinado el número estaciones VSat como 5, en el distrito de Patambuco por medio del algoritmo geométrico eficiente, pasamos a calcular el número de líneas para ambos modelos, como los datos de población del CENSO 2007, solo tienen información del número de



Figura 7.14: Distrito de Patambuco antes del procesamiento



Figura 7.15: Configuración de la distancia de acceso universal

habitantes a nivel de distrito se consideró para el análisis un reparto proporcional al número de CCPPs rurales, es decir como el distrito de Patambuco tiene 3811 habitantes en 32 CCPPs, se asumió que cada CCPP tiene 120 habitantes.

Escojemos para el análisis la estación VSat-1, en Mayupampa que tiene la mayor cobertura de 16 CCPPs rurales ubicadas a una distancia de acceso universal de 6km, los CCPPs rurales periféricos son: Canucano, Capilla pampa, Carahuarcuna, Cochacucho, Ilune, Kiari, Motoloque a, Motoloque b, Osecani, Punco, Raticucho, Sapalacaya, Tigani, Totoracocho, Yarahuana.

Para el cálculo del número de líneas se considera que cada habitante es un generador de tráfico con una intensidad de 75mE y que el sistema de comunicación VSat tiene un grado de servicio de 5%, estos valores son tomados de referencia del proyecto FITEL Centro-Norte. Véase la subsección 5.3.

En el modelo tradicional, no se consideran las distancias y se resuelve el cálculo del número de líneas como un problema independiente para cada CCPP rural como sigue a



Figura 7.16: Seleccionando el algoritmo eficiente



continuación:

Para el CCPP rural Canucano con 120 habitantes, tenemos una intensidad de tráfico de $120 * 75mE = 9E$, usando la ecuación 4.4 presentada en el marco teórico calculamos que el número de líneas es: $P_R = \frac{a^R}{\sum_{j=0}^R \frac{a^j}{j!}}$

Donde $P_R = 0,05$ y $a = 9$ se resuelve por medio un método iterativo a $R = 14$. Porque no se tiene la información precisa a nivel de CCPPs, el cálculo de líneas para los demás CCPPs rurales es el mismo debido a que todos tienen 120 habitantes, entonces para los 16 CCPPs rural dentro de la cobertura de la estación VSat en Mayupampa, se tiene $16 * 14 = 224$ líneas para una población de 1920 habitantes usando el modelo tradicional.

En el modelo propuesto, al considerar la distancia de acceso universal se resuelve el cálculo del número de líneas como un solo problema agrupando todas las CCPPs rural como sigue a continuación:

Como grupo los 16 CCPPs rurales tienen una población de 1920 habitantes, con una intensidad de tráfico de $1920 * 75mE = 144E$, usando la ecuación 4.4 presentada en el marco

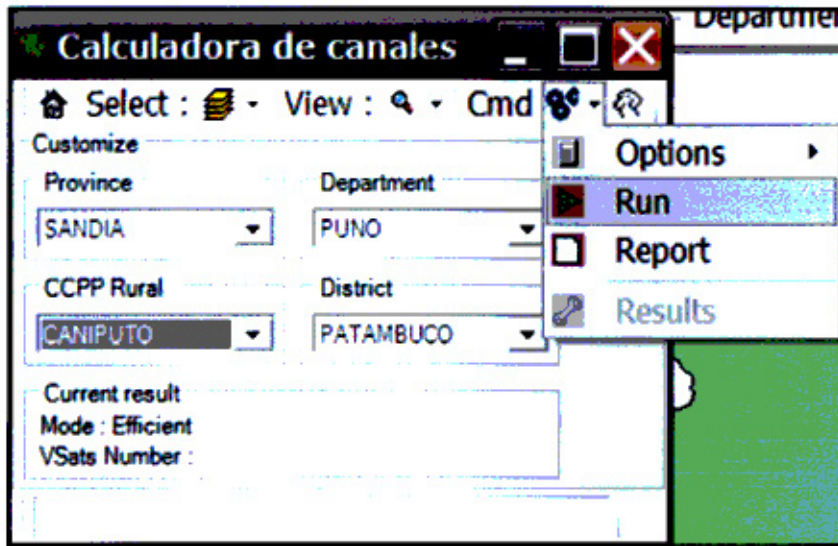


Figura 7.17: Ejecutar el algoritmo geométrico

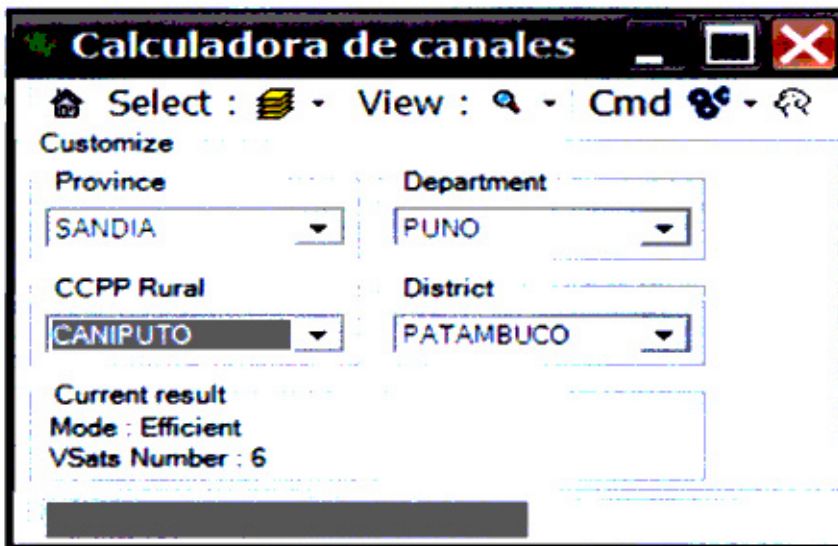


Figura 7.18: Progreso del algoritmo geométrico

teórico calculamos que el número de líneas es: $P_R = \frac{a^R}{\sum_{j=0}^R \frac{a^j}{j!}}$

Donde $P_R = 0,05$ y $a = 144$ se resuelve por medio un método iterativo a $R = 148$. Entonces usando el modelo propuesto se tienen 148 líneas para el distrito de Patambuco.

7.6.3. Cálculo de la intensidad de tráfico

Para el cálculo de la intensidad de tráfico tomamos en cuenta las siguientes premisas:

1. Tener presente la recomendación que hizo FITEL para el proyecto Centro-Norte, es decir recordemos que la intensidad de tráfico en la hora más cargada fue de 75mE, con un grado de servicio de 5%.
2. Usando el modelo Erlang-B, se analizará el comportamiento de la intensidad de tráfico frente a las variaciones del GoS, manteniendo constante el número de líneas.



Figura 7.19: Distrito de Patambuco después del ejecuta el algoritmo eficiente

ID	Código	CCPPs con VSat	Categoría	Cant.
1	211204019110	MAYUPAMPA	AGROPECUARIA	16
2	211204011112	CONNELINE	COMUNIDAD	9
3	211204013115	HUAYNA CHOCAL	OTROS	8
4	211204002115	SIHUASHUA	OTROS	5
5	211204029106	QUESPIRUMI	ANEXO	4

Cuadro 7.1: Resúmenes de los CCPPS rurales

Justifiquemos la primera premisa, que presenta la intensidad de tráfico como $75mE$. Se usa la ecuación 4.4, para encontrar el tráfico A , teniendo como número de líneas $N=1$, y el grado de servicio o $P_B = 5\%$, encontramos el valor de $A=50mE$, es valor representa el tráfico que soporta una línea con un GoS de 5% .

Usando la primera premisa, con una población de 1920 habitantes para los CCPPs rurales periféricos a la estación VSat de Mayupampa tenemos un intensidad de tráfico de $1920 * 75mE = 144E$.

7.6.4. Cálculo de la ancho de banda

Para el cálculo del ancho de banda se utilizó la teoría presentada en el capítulo 6 sobre técnicas de multi-acceso al satélite, que se complementa con el paquete StarShapedNetwork de la sub-sección 7.5.4, para la evaluación y cálculo del ancho de banda, esto se puede ver en las Figuras 7.21 y 7.22, donde se configura los enlaces de subida y bajada, con los siguientes parámetros:

En el enlace de subida, en el lado de las estaciones VSat, se escogió para la simulación del modelo un codificador con 128Kbps, un modulador 16-QAM y un formato de trama E1. Véase la Figura 7.21.

En el enlace de bajada del lado de la estación Hub, se escogió para la simulación del modelo un codificador con 128Kbps, un modulador BPSK y un formato de trama E1. Véase la Figura 7.22.

En las figuras 7.23 y 7.24, se muestran ventanas de configuración para escoger el tipo de codificador y la trama digital para la ejecución del algoritmo de cálculo del ancho de banda.

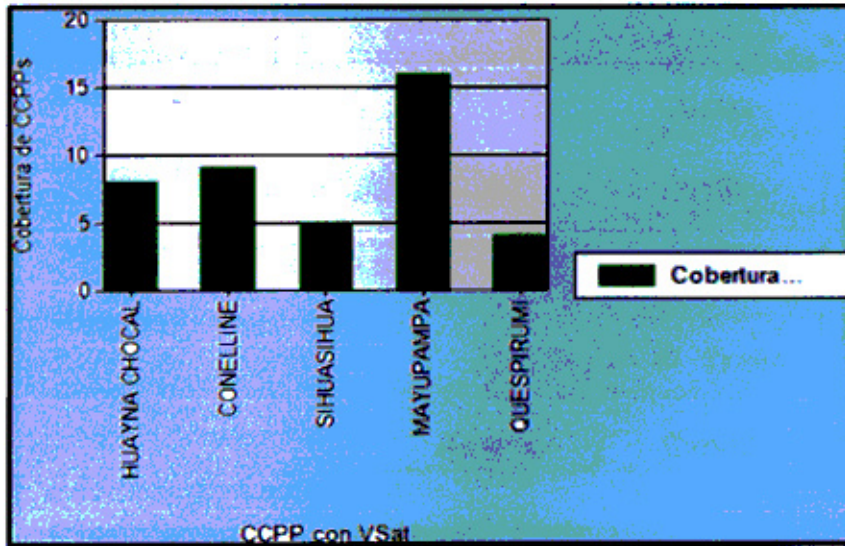


Figura 7.20: Asignación de estaciones VSat a CCPPs Rurales

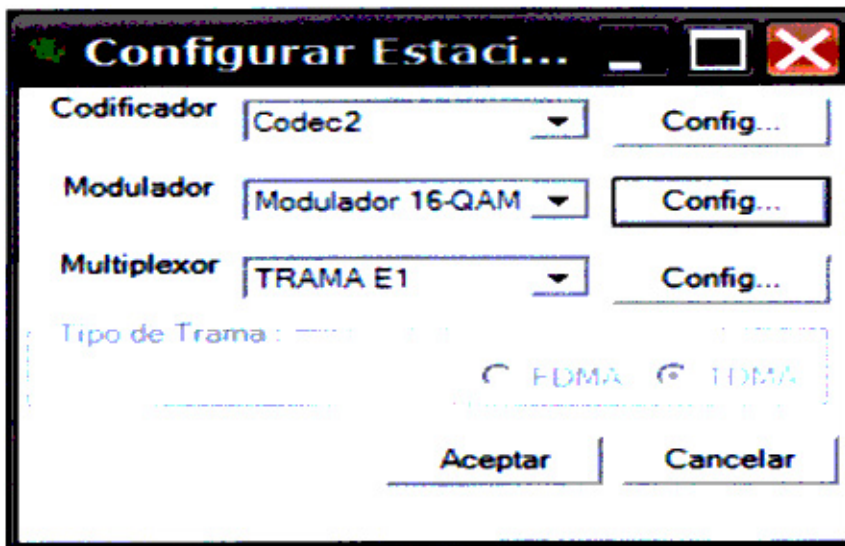


Figura 7.21: Configuración del acceso de subida

En la figura 7.25. Se presenta una salida más completa del modelo esto para el distrito de patambuco, en un rango más amplio de intensidad de tráfico desde 75 a 500mE, esto considerando el aumento de la intensidad de tráfico en un periodo de tiempo, manteniendo el grado de servicio constante a 5%, se muestran los resultados de número de líneas y ancho de banda para los CCPPs rurales en la cobertura de la estación VSat-1 de Mayupampa.

En la Figura 7.26. Se presenta la diferencia entre de los valores del número de líneas y ancho de banda para el modelo tradicional y el modelo propuesto.

7.7. Comparación frente al modelo tradicional

¿Cómo muestro que el modelo propuesto de tráfico optimiza el ancho de banda frente a los modelos tradicionales?

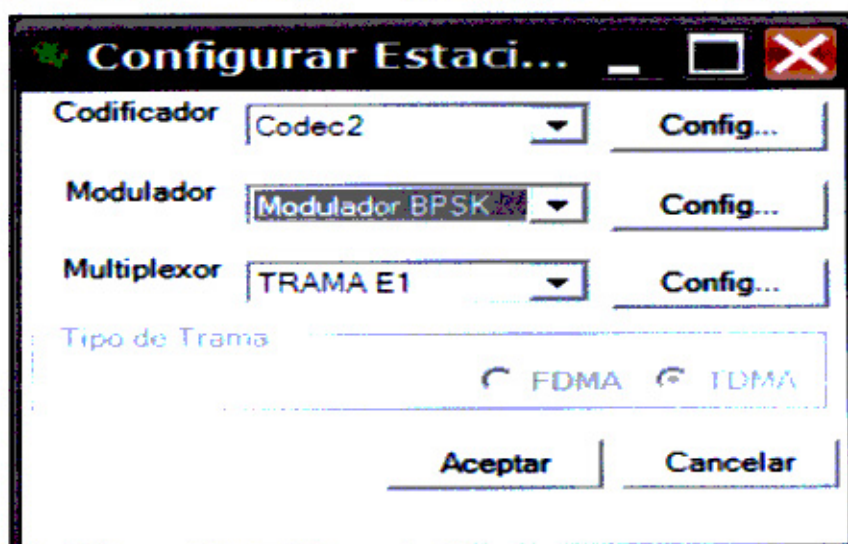


Figura 7.22: Configuración del acceso de subida

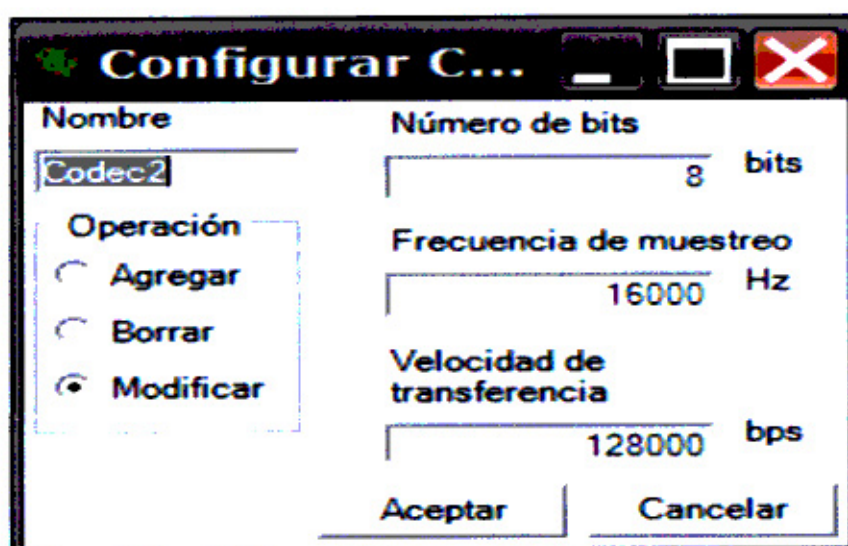


Figura 7.23: Configuración de los parámetros del codificador

Para poder responder a esta pregunta primero hay que calcular el ancho de banda con los modelos tradicionales, para posteriormente calcular el ancho de banda con el modelo propuesto pero para hacer esto se requiere saber como es que calculan el ancho de banda para las comunicaciones rurales en los modelos tradicionales es decir descifrar o averiguar que es lo que hizo FITEL por medio de los operadores rurales de telecomunicaciones para poder obtener el ancho de banda que usan en los proyectos de comunicaciones rurales en el Perú.

7.7.1. Modelo tradicional

Con los modelos tradicionales de tráfico telefónico se puede llegar a calcular el ancho de banda partiendo de la intensidad de tráfico promedio por una población determinada considerando que la intensidad de tráfico esta atada a un número de canales que al final el número de canales esta atado a un ancho de banda determinado.

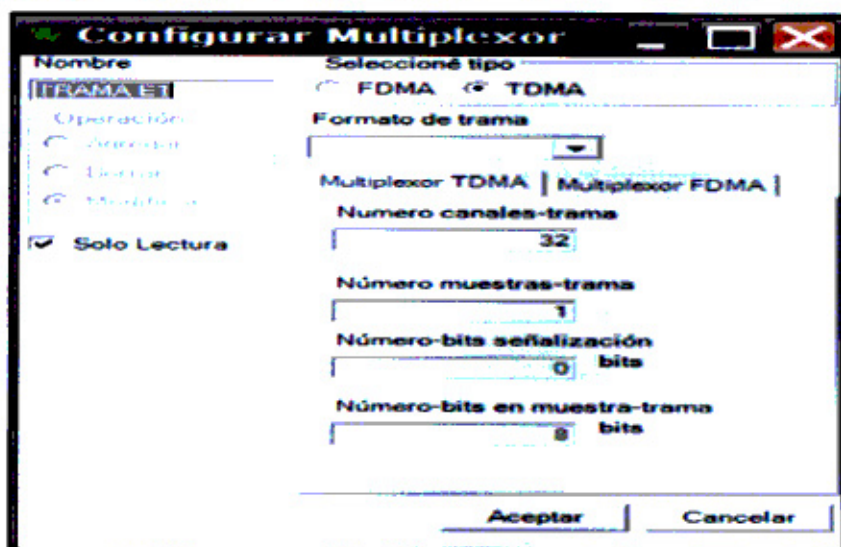


Figura 7.24: Configuración de los parámetros del trama digital

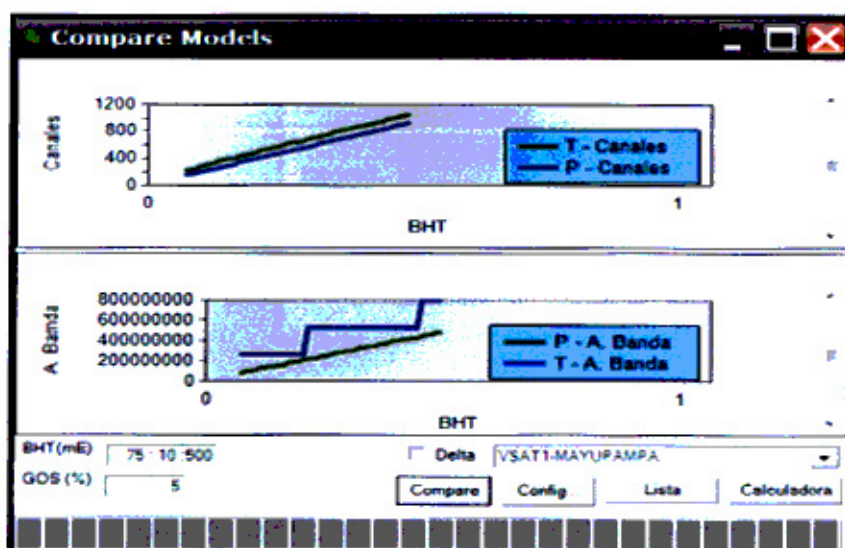


Figura 7.25: Número de canales y ancho de banda para la estación VSat 1

Es decir una determinada población tiene habitantes, entonces por medio del modelo Erlang-B a pérdida y considerando un determinado grado de servicio y una intensidad de tráfico promedio tenemos calculado del número de canales requeridos para la diseñar el sistema de comunicaciones, luego dependiendo del sistema de técnica de multi-acceso se determina el número de canales a usar y por ende el ancho de banda necesario a usar. Véase la Figura 7.27.

7.7.2. Modelo propuesto

El modelo de tráfico propuesto, esta basado en considerar la distancia de acceso universal como un parámetro adicional, para determinar el número de canales y por ende el ancho de banda. Véase la Figura 7.28.

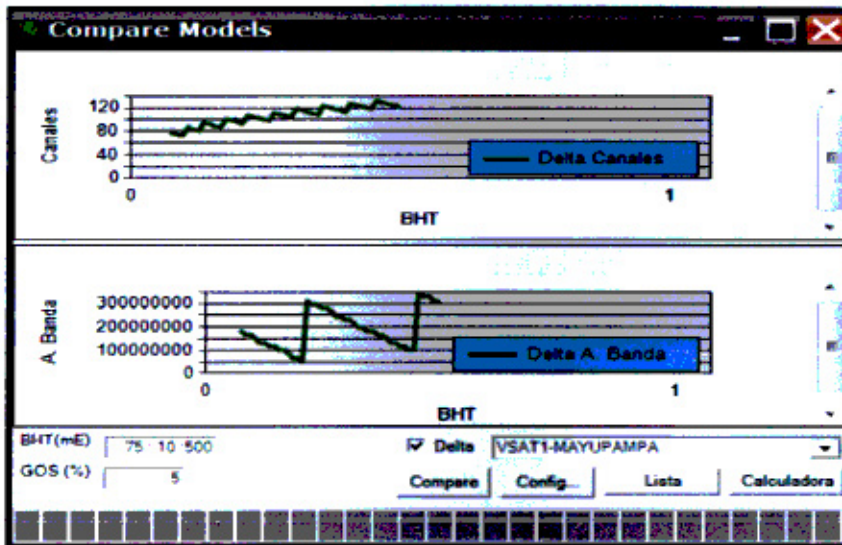


Figura 7.26: Delta del número de canales y ancho de banda

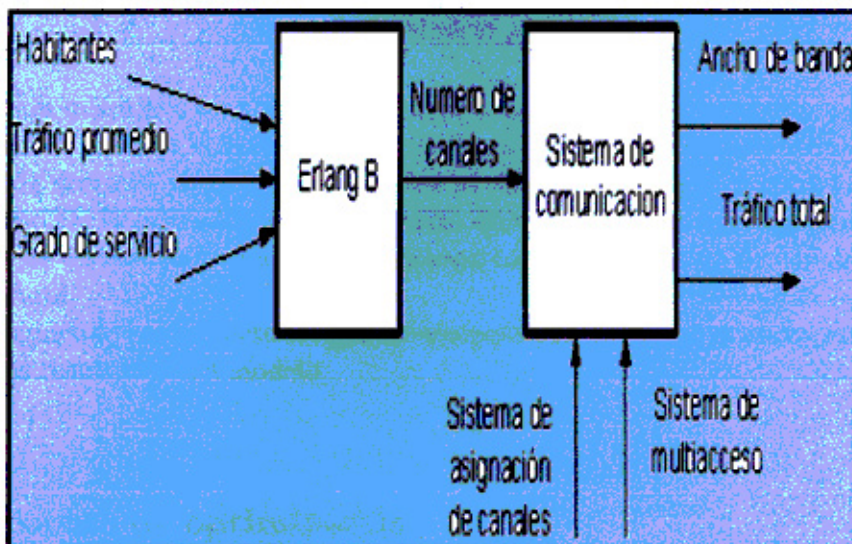


Figura 7.27: Modelo tradicional

7.7.3. Comparación de los modelos

Para poder comparar los modelos, es necesario modificar un poco nuestro modelo propuesto originalmente para considerar variables en común. Estas variables en común son de entrada como la población en CCPP, grado de servicio y adicionalmente la distancia en el caso del modelo propuesto. Véase la Figura 7.28.

Se planea hacer un análisis de los modelos considerando las CCPPs rurales en un distrito en particular, analizando como salidas el número de líneas y el ancho de banda en ambos casos, esto solo nos arroja una fotografía de la situación en ese contexto, lo cual nos es de poca utilidad, por tal motivo nos proponemos analizar los modelos rural bajo la suposición que la intensidad del tráfico esta creciendo en una tasa constante.

El contexto en el que realizamos la comparación consiste en partir seleccionando un

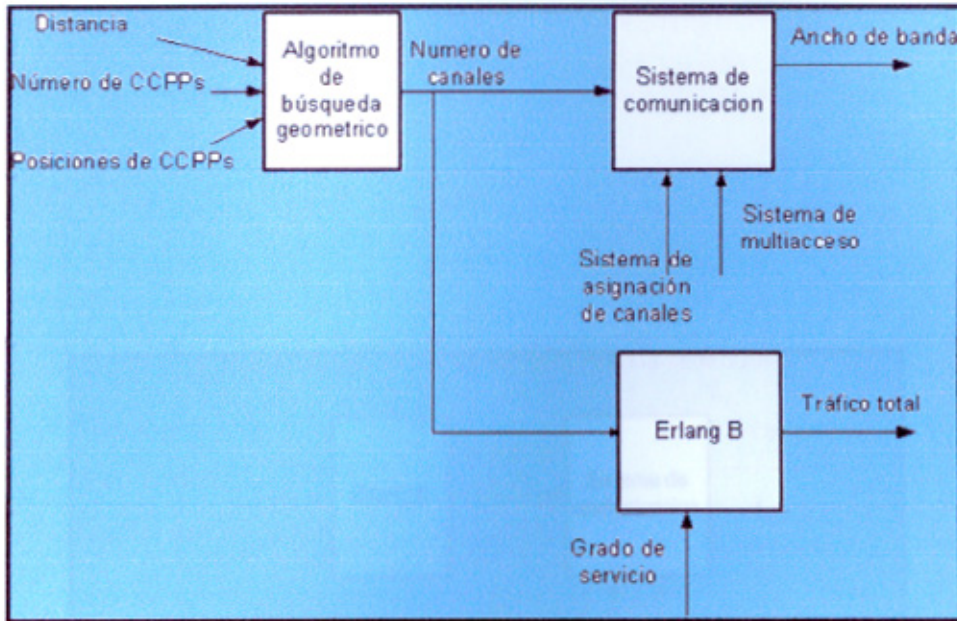


Figura 7.28: Modelo propuesto

distrito, después buscamos los CCPPs rurales pertenecientes a este distrito, una vez cerrado nuestro ámbito de análisis, consideramos el número de habitantes para determinar por medio de un grado de servicio, el número de canales la variante que hace el modelo propuesto es introducir como parámetro adicional la distancia, que por medio de una algoritmo geométrico considerando las distancias y ubicaciones relativas calcula un número de canales más óptimo para el caso rural.

Además siguiendo con la metodología de comparación entre los modelos en el cuadro 7.2 se aprecian los resultados del modelo.

7.7.4. Proceso de optimización

Partiendo del valor de BHT propuesto por el FITEL en su proyecto frontera Norte (75mE), procedemos a evaluar el modelo propuesto frente al modelo tradicional, considerando un análisis a nivel de distrito donde encontramos los valores de tráfico promedio totalizado por CCPP esto considerando su población, después asumiendo un grado de servicio del 5%, encontramos el valor de tráfico promedio total por distrito, y después calculamos el valor del número de canales y el ancho de banda es según la tecnología usada.

7.7.5. Ventajas del modelo propuesto

Aquí listamos algunas de las ventajas del modelo propuesto frente al modelo tradicional:

- El modelo propuesto toma en cuenta la distancia hacia un teléfono (acceso universal) esto es útil en las comunicaciones rurales, debido que el servicio en áreas relativamente extensas es necesario garantizar accesibilidad a las comunicaciones.
- Reduce el número de canales necesarios frente al modelo tradicional, bajo iguales condiciones de entrada (BHT y GoS) debido al agrupamiento en base a una distancia hacia un teléfono.

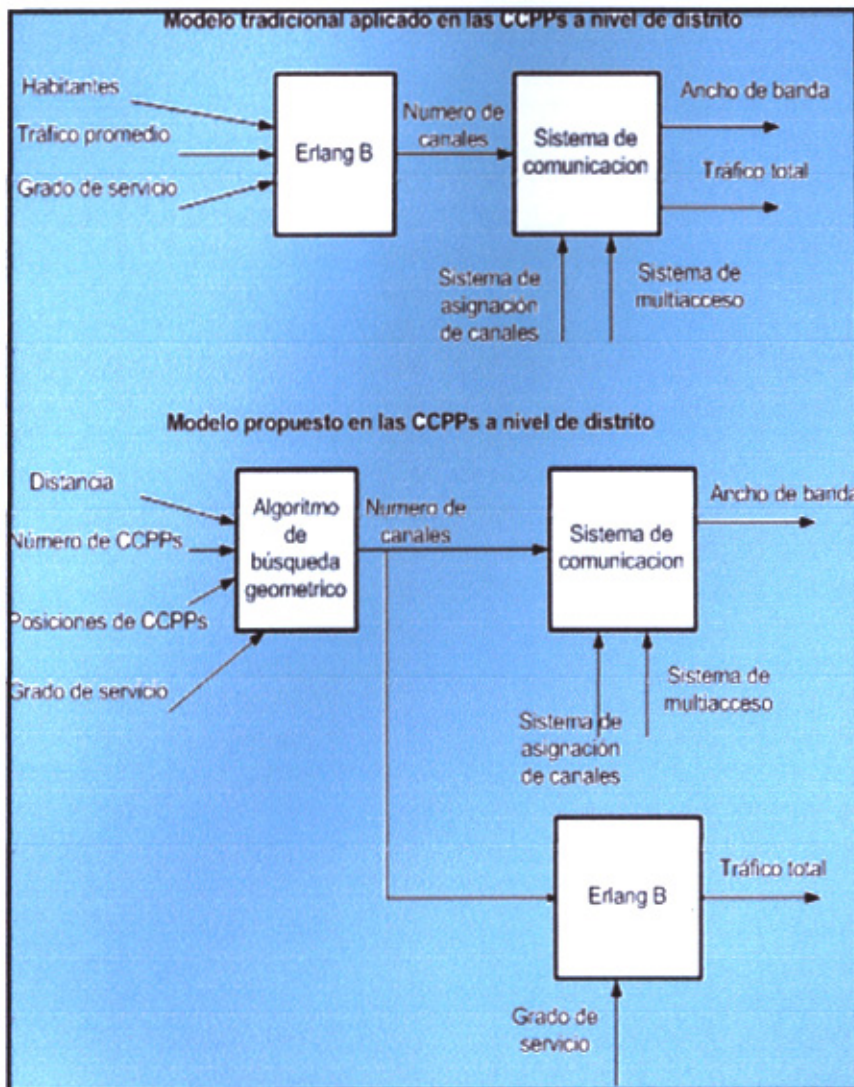


Figura 7.29: Comparacion entre los modelos

- Reduce el ancho de banda de un sistema comparado con el modelo tradicional bajo iguales condiciones de entrada (protocolo de multi-acceso al medio, codificador y modem), esto es consecuencia debido a que el número de canales también disminuye.

BHT	Canales (Trad.)	BW (Trad.)	Canales (prop.)	BW (prop.)	Delta Canales	Delta BW
0.075	224	262144000	148	81920000	76	180224000
0.085	240	262144000	166	98304000	74	163840000
0.095	256	262144000	185	98304000	71	163840000
0.105	288	262144000	203	114688000	85	147456000
0.115	304	262144000	222	131072000	82	131072000
0.125	320	262144000	240	131072000	80	131072000
0.135	352	262144000	259	147456000	93	114688000
0.145	368	262144000	277	147456000	91	114688000
0.155	384	262144000	296	163840000	88	98304000
0.165	400	262144000	314	163840000	86	98304000
0.175	432	262144000	332	180224000	100	81920000
0.185	448	262144000	351	196608000	97	65536000
0.195	464	262144000	369	196608000	95	65536000
0.205	480	262144000	388	212992000	92	49152000
0.215	512	524288000	406	212992000	106	311296000
0.225	528	524288000	424	229376000	104	294912000
0.235	544	524288000	443	229376000	101	294912000
0.245	560	524288000	461	245760000	99	278528000
0.255	576	524288000	479	245760000	97	278528000
0.265	608	524288000	498	262144000	110	262144000
0.275	624	524288000	516	278528000	108	245760000
0.285	640	524288000	534	278528000	106	245760000
0.295	656	524288000	553	294912000	103	229376000
0.305	688	524288000	571	294912000	117	229376000
0.315	704	524288000	589	311296000	115	212992000
0.325	720	524288000	608	327680000	112	196608000
0.335	736	524288000	626	327680000	110	196608000
0.345	752	524288000	644	344064000	108	180224000
0.355	784	524288000	663	344064000	121	180224000
0.365	800	524288000	681	360448000	119	163840000
0.375	816	524288000	699	360448000	117	163840000
0.385	832	524288000	717	376832000	115	147456000
0.395	848	524288000	736	393216000	112	131072000
0.405	880	524288000	754	393216000	126	131072000
0.415	896	524288000	772	409600000	124	114688000
0.425	912	524288000	791	409600000	121	114688000
0.435	928	524288000	809	425984000	119	98304000
0.445	944	524288000	827	425984000	117	98304000
0.455	976	786432000	845	442368000	131	344064000
0.465	992	786432000	864	458752000	128	327680000
0.475	1008	786432000	882	458752000	126	327680000
0.485	1024	786432000	900	475136000	124	311296000
0.495	1040	786432000	919	475136000	121	311296000

Cuadro 7.2: Comparación de los modelos dentro de un rango de BHT

Capítulo 8

Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

1. Se desarrolló una metodología para el cálculo del número de líneas en las zonas rurales.
2. Una herramienta de análisis para la puesta en marcha de proyectos de comunicaciones rurales o verificación del impacto de los existentes.
3. Se mostró un algoritmo para calcular la magnitud del ancho de banda real que se utiliza.
4. Según la hipótesis planteada se demostró por medio de varias simulaciones, que el sistema mas conveniente para obtener un ancho de banda optimo resulta ser un sistema a pérdida Erlang B, con una técnica de multi-acceso en subida FDMA - TDMA, en bajada FDMA-MCPC, usando una asignacion del canal bajo demanda(DA).
5. En el cálculo de análisis del tráfico se debe tener especial cuidado al utilizar las fórmulas de dimensionamiento de Erlang, a diferencia del tráfico urbano, para el tráfico en sector rural se debe tomar en cuenta una consideración especial para su análisis, debido a que el número de líneas se debe entender más como un concepto de acceso universal que de un concepto de teoría de tráfico clásico.
6. Se diseñó e implementó un software con el Framework .NET¹, que modela una red de comunicaciones estrella compartida satelital, como el propósito que nos interesa estudiar aquí, en este programa se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Un sistema a pérdida Erlang B.
 - Un sistema de multi-acceso en subida FDMA - TDMA / en bajada FDMA-MCPC.
 - Un sistema de asignación del canal bajo demanda (DA).
 - Un Algoritmo de compresión de voz o datos.
 - Un codificador FEC.
 - Un Ancho de palabra de 8 bits.

¹Plataforma de desarrolló de Microsoft

8.2. Recomendaciones

Se consideró la simulación de la red estrella VSAT homogénea, se deja este trabajo como base para su mejora, considerando más parámetros que ayuden a calcular el ancho de banda de una manera mas proxima a la realidad cambiante de las necesidades de los abonados rurales.

El diseño del simulador se considero, varias entidades de una red de comunicaciones satelitales estrella, como las estaciones VSATs y HUB, codificador, modulador, etc. Se recomienda usar como punto de partida para el análisis de tráfico en casos más específicos que consideren más variables o si se tiene otro enfoque de la situación.

Este trabajo podra ser usado en el sector como una herramienta que estima número de canales y el ancho de banda presente o futuro, frente a un incremento constante del la intensidad de tráfico para una amplio rango de tecnologías.

Las funcionalidades de este trabajo resultan ser útiles por:

1. Un modelo que simule el estado actual de las comunicaciones en determinados CCPPs.
2. Permite pronosticar los requerimientos del número de canales y el ancho de banda frente a un incremento constante de tráfico.

Bibliografía

- [1] Fondo de Inversion en Telecomunicaciones FITEL. Universal Service and Development of Rural Telephony in Peru. FITEL, 1996.
- [2] Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. Acceso Universal y Telecomunicaciones rurales en el Perú: El Rol del Osiptel. OSIPTEL - Fatima Ponce Regalado, 1996.
- [3] Fondo de Inversion en Telecomunicaciones FITEL. Documento de organización. Memoria FITEL, 2000-2001.
- [4] Guillermo Daniel Romani Martínez. Estudio de la Aplicación de VSAT, CDMA450 y MAR al Transporte y Distribución de Servicio de Telecomunicaciones Rurales en el Entorno Nacional, volume Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2007.
- [5] Fondo de Inversion en Telecomunicaciones FITEL. Documento de proyectos Memoria FITEL, 2000-2001.
- [6] Patricia Pérez. Políticas públicas y marco regulatorio orientadas al acceso universal en el Perú. Tercera Conferencia ACORN-REDECOM, Ciudad de México, 2009
- [7] Andrew S. Tanenbaum. Cuarta Edición - Redes de computadoras. Pearson Prentice Hall.
- [8] Matthew N.O. Sadiku. Optical and Wireless Communications - Next Generation Network. CRC Press.
- [9] Grupo Temático 7 del UIT-D. Nuevas Tecnologías para Aplicaciones Rurales, volume Application Of Computer Networking Using Neuronal. Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2000.
- [10] Frances P. Coakley y Barry G. Evans Michael H. Hadjitheodosiou. Next Generation MultiService VSAT Networks. Center for Satellite & Hibrid Communication Networks University of Maryland , College Park MD 20742, USA.
- [11] John Everett. VSATs - Very Small Aperture Terminals, IEE Telecommunications series 28. Peter Pergrinus Ltd. on Behalf of the Institution of Electrical Engineers.
- [12] Gérard Maral. VSAT Networks, volume Application Of Computer Networking Using Neuronal of John Wiley & Sons Ltd. Nationale Supérieure des Télécommunications, Site de Toulouse France, 2001.
- [13] José Manuel Huidodro Moya, Rafael Conesa Pastor. Sistemas de Telefonía. Thomson-Parafino

-
- [14] Lillian Goleniewski. **Telecommunications Essentials**. Addison Wesley, Caudex 2002
- [15] Carles Farré, Mónica Gorriacho Moreno, Antoni Olivé, Juan Luis. **Comunicaciones Móviles**. Addison Wesley, Caudex 2002
- [16] Andy Valdar. **Understanding Telecommunication Networks**. IET IET Telecommunications Series 52.
- [17] Alberto Sedín Escalona. **Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles**. McGraw-Hill Serie de Telecomunicaciones, 2004.
- [18] John C. Bellany. **Digital Telephony**. CRC Press, 2002.
- [19] Richar Parkinson. **Traffic Engineering Techniques in Telecommunications**. Infotel Systems Corp.
- [20] Colección Temarios Generales. **Telefonistas, Temario y Test para Oposiciones**. MAD, Sevilla, 2002.
- [21] Cisco Systems Inc. **Traffic Analysis for Voice over IP**. Cisco Systems Inc, 2001.
- [22] Perambur S. Neelakanta. **A Textbook on ATM Telecommunications: Principles and Implementation**. CRC Press, 2002.
- [23] Vishal Misra y Wei-Bo Gong. **A Hierarchical Model for Teletraffic**. Deptt. of Comp. Department of Electrical and Computer Engineering University of Massachusetts, Amherst MA 01003.
- [24] Homayoun Yousefizadeh. **Intelligent Control Systems Using Soft Computing Methodologies volume Application Of Computer Networking Using Neuronal**. Cisco Systems Inc, 2001.
- [25] Georges Fiche & Gérard Hébuterne. **Communicating Systems & Networks: Traffic & Performance**. HPS, an imprint of Kogan Page Science, 2003.
- [26] Licitación OSIPTEL/FITEL/001-2000. **Especificaciones Técnicas, Proyecto Centro Norte**.
- [27] MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones. **Plan Nacional de Asignación de Frecuencias-PNAF**.