

66  
2j.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIONES VIA SATELITE PARA PETROLEOS MEXICANOS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN COMPUTACION**

**P R E S E N T A:**

**LUIS MANUEL MENDOZA GARCIA**



**Director de tesis: Ing. Luis E. Silva Rodríguez  
Codirector de tesis: Ing. Mario A. Ibarra Pereyra**

**México, D.F.**

**Cd. Universitaria 1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

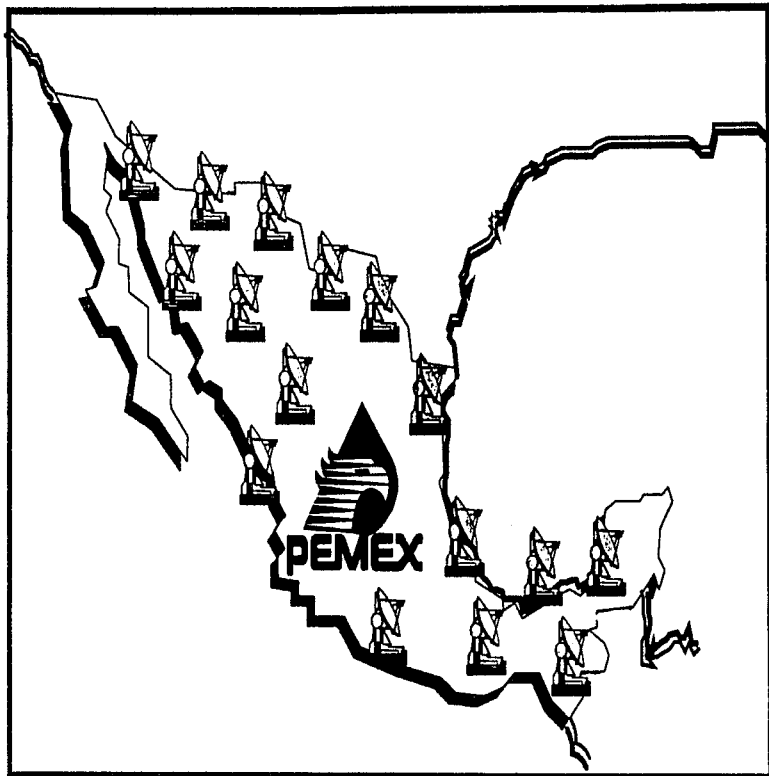


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios:**

Por permitirme llegar a la culminación de mis estudios, y que a pesar de los tropiezos que sufrí siempre ha estado a mi lado para levantarme. Gracias Dios mío por todas tus bendiciones, que me permites vivir y compartir esta satisfacción con mis seres queridos.

### **A la memoria de mi mamá Cari:**

Por todo lo que representa para mí su recuerdo, sus cuidados, cariño y bendiciones; las cuales están presentes conmigo. Y por la satisfacción de saber que no le fallé.

### **A mis padres:**

A mi mamá Margarita García Ávila, quien en ningún momento de este largo y difícil camino dudó de mí, que a pesar de las amargas experiencias que sufrimos tus oraciones, tu fe y confianza fueron mis aliados.

A mi padre Luis Mendoza Castañeda, por sus sabios consejos los cuales durante el paso del tiempo se han confirmado. Gracias por brindarme tu experiencia, y por tus críticas las cuales me han fortalecido.

A mis padres, mi respeto, cariño y admiración Dios los bendiga.

### **A mi esposa e hijo:**

A mi esposa Miriam, por su paciencia y comprensión. Gracias por saber esperar.

A mi hijo Luis Manuel, por venir a revitalizar mi vida y motivarme a ser cada día mejor.

### **A mis tíos:**

Victor Mendoza y Rafael Tosky por su valioso apoyo, sincero y desinteresado en situaciones verdaderamente difíciles para mi familia y para mí. Y a quienes les tengo un profundo respeto, admiración y cariño.

### **A los directores de este trabajo:**

Al Ing. Mario A. Ibarra Pereyra por aceptar dirigir este trabajo, por la gran paciencia que ha tenido conmigo, por la revisión de este trabajo y por el tiempo que le dedicó para consumarlo.

Al Ing. Luis E. Silva Rodríguez por su valioso tiempo para la dirección de este trabajo, por su tolerancia; así como también el compartir conmigo sus experiencias en el área de las telecomunicaciones, las cuales son de gran valía para mi formación profesional, y a su vez contribuyeron para poder elaborar un mejor trabajo.

**A mis amigos:**

Ernesto Monroy Flores y Luis Zamora Iglesias de PEMEX Telecomunicaciones Estación Terrena México, los cuales me abrieron las puertas hacia la experiencia y ejercicio profesional, compartiendo conmigo sus experiencias, permitiéndome participar en proyectos y comisiones de relevancia para la institución, y tomar parte de las decisiones. Gracias a los dos por su amistad y confianza.

A cada uno de los que durante este largo tiempo me apoyaron de alguna u otra forma, sería injusto de mi parte mencionar algunos cuantos; pero lo que sí es un hecho es que a todos los recuerdo con mucho respeto y cariño, por su valiosa y desinteresada colaboración.

# DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE PARA PETRÓLEOS MEXICANOS.

## ÍNDICE

	PÁGINA
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO DE LA TESIS.	2
1.2 BREVE HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA.	3
1.3 PANORAMA GENERAL DE LA GERENCIA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES. ( G.I.T.)	6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL DE LA G.I.T.	6
1.3.2 ORGANIZACIÓN DE LA G.I.T.	6
1.3.3 FUNCIONES DE LAS UNIDADES CORPORATIVAS DE LA G.I.T.	8
a) UNIDAD CORPORATIVA DE OPERACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.	8
b) UNIDAD CORPORATIVA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES.	8
c) UNIDAD CORPORATIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SISTEMAS TELEMÁTICOS.	9
d) UNIDAD CORPORATIVA DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN.	10
e) UNIDAD CORPORATIVA DE DESARROLLO ORGANIZACIONAL.	10
f) UNIDAD CORPORATIVA DE INGENIERÍA ECONÓMICA.	11

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE NECESIDADES Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

	<b>PÁGINA</b>
	<b>12</b>
<b>2.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.</b>	<b>13</b>
<b>2.2 INTRODUCCIÓN.</b>	<b>13</b>
<b>2.3 VISIÓN GLOBAL DE LA G.I.T.</b>	<b>13</b>
<b>2.4 LEVANTAMIENTO DE CENSOS.</b>	<b>15</b>
<b>2.5 ESTUDIO DE NECESIDADES.</b>	<b>15</b>
<b>2.6 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS YA EXISTENTES.</b>	<b>15</b>
<b>2.7 ANÁLISIS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.</b>	<b>18</b>
<b>2.8 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR CABLE.</b>	<b>18</b>
<b>2.9 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA FIBRA ÓPTICA.</b>	<b>20</b>
<b>2.10 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN.</b>	<b>22</b>
<b>2.11 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR MICROONDAS TERRESTRES.</b>	<b>23</b>
<b>2.12 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.</b>	<b>23</b>
<b>2.13 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA RADIO.</b>	<b>24</b>
<b>2.14 ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ADECUADO.</b>	<b>26</b>

**CAPÍTULO 3**

<b>ANÁLISIS DE LA COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE</b>	<b>34</b>
<b>3.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.</b>	<b>35</b>
<b>3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SATÉLITE DE COMUNICACIONES.</b>	<b>35</b>
<b>3.3 ASIGNACIÓN Y RANGO DE OPERACIÓN PARA BANDAS DE FRECUENCIAS PARA TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITE. BANDAS L, C y Ku RESPECTIVAMENTE.</b>	<b>36</b>
<b>3.4 LOS SATÉLITES MEXICANOS 1a. y 2a. GENERACIÓN, CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.</b>	<b>38</b>
<b>3.5 COBERTURA DE LOS SATÉLITES SOLIDARIDAD (HUELLAS DE LAS BANDAS L, C y Ku).</b>	<b>40</b>
<b>3.6 ESTACIONES TERRENAS.</b>	<b>43</b>
<b>3.6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.</b>	<b>43</b>
<b>3.7 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.</b>	<b>50</b>
<b>3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACCESO</b>	<b>50</b>
<b>a. FDMA</b>	<b>50</b>
<b>b. TDMA</b>	<b>51</b>
<b>c. SCPC</b>	<b>52</b>
<b>d. SDMA</b>	<b>52</b>
<b>e. CDMA</b>	<b>53</b>
<b>f. TDM / TDMA</b>	<b>53</b>
<b>g. SCPC / PAMA</b>	<b>53</b>
<b>h. SCPC / DAMA</b>	<b>54</b>
<b>3.7.2 MÉTODOS DE ASIGNACIÓN, PREASIGNADOS ( PAMA ) Y ASIGNADOS POR DEMANDA ( DAMA ).</b>	<b>54</b>



**CAPÍTULO 4**

<b>DIMENSIONAMIENTO DE LA RED</b>	<b>56</b>
4.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.	57
4.2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES.	57
4.3 DISEÑO DE LA RED.	58
4.4 SERVICIOS DE USUARIO.	61
4.5 SELECCIÓN DE LA BANDA DE OPERACIÓN.	62
4.6 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ACCESO.	63
4.7 ANÁLISIS DE TRÁFICO.	66
4.8 CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA PARA EL SISTEMA.	67
4.9 CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL.	69

**CAPÍTULO 5**

<b>EVALUACIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>78</b>
5.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.	79
5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	79
5.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA ADQUIRIDO POR PEMEX.	79
5.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR TELÉFONOS DE MÉXICO.	81
5.2.3 COMPARACIÓN DE COSTOS. SISTEMA ADQUIRIDO POR PEMEX CONTRA SERVICIOS RENTADOS A TELMEX.	83
5.2.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE COSTOS.	85
5.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA.	86
6. CONCLUSIONES GENERALES	88
7. BIBLIOGRAFÍA	90

# Capítulo 1

## Introducción

### **1. INTRODUCCIÓN.**

#### **1.1 OBJETIVO DE LA TESIS.**

#### **1.2 BREVE HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA.**

#### **1.3 PANORAMA GENERAL DE LA GERENCIA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES. ( G.I.T.).**

##### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL DE LA G.I.T.**

##### **1.3.2 ORGANIZACIÓN DE LA G.I.T.**

##### **1.3.3 FUNCIONES DE LAS UNIDADES CORPORATIVAS DE LA G.I.T.**

- a) UNIDAD CORPORATIVA DE OPERACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.**
- b) UNIDAD CORPORATIVA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES.**
- c) UNIDAD CORPORATIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SISTEMAS TELEMÁTICOS.**
- d) UNIDAD CORPORATIVA DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN.**
- e) UNIDAD CORPORATIVA DE DESARROLLO ORGANIZACIONAL.**
- f) UNIDAD CORPORATIVA DE INGENIERÍA ECONÓMICA.**

## **1. Introducción.**

Las principales actividades de Petróleos Mexicanos son la exploración, extracción, refinación, transporte y comercialización de productos derivados del petróleo.

Dichas actividades, que evidentemente abarcan todo el territorio nacional, requieren de una estricta coordinación que es proporcionada a través de diversos sistemas de comunicación. Estos sistemas están compuestos por enlaces de microondas tanto analógicos como digitales; además existen también los sistemas de radiocomunicación, telefonía, enlaces locales de fibras ópticas, el sistema de videoconferencia, y una red satelital. Por otra parte dentro de las instalaciones de la empresa existen redes locales de las que no se hablará en el presente trabajo.

A consecuencia del crecimiento acelerado de los diversos organismos de PEMEX, los sistemas antes mencionados no cubren todos los requerimientos actuales, ya que existen instalaciones de Petróleos Mexicanos dentro del territorio nacional, que no cuentan con sistemas de comunicación y que requieren ser integradas a los sistemas que componen la red privada de la empresa.

En función de las imperantes necesidades de comunicación, es como se realizan los estudios de estos sistemas, los cuales deben cumplir con las características de ser económicos y eficientes.

### **1. 1 Objetivo de la tesis.**

De esta manera el objetivo de esta tesis, es la de presentar la metodología que se emplea para la implementación de una red nacional de comunicación de voz y datos vía satélite, la cual debe satisfacer los requerimientos de una empresa extremadamente dinámica y de alto riesgo, en la que los puntos por comunicar se encuentran muy dispersos en toda la República Mexicana; y en cada uno, los requerimientos y necesidades de conectividad pueden variar sensiblemente.

## 1.2 Breve historia de la industria petrolera mexicana.

Para hablar de las telecomunicaciones en la industria petrolera en México, es necesario remontarse a sus inicios en la segunda mitad del siglo pasado, época en que las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo en nuestro país.

Uno de los servicios de telecomunicaciones más antiguos es el servicio de la telegrafía. Los sistemas de telegrafía alámbrica en México datan de 1849, año en que el gobierno federal, presidido por el general José Joaquín Herrera otorgó a don Juan de la Granja la primer concesión para construir líneas telegráficas en la República Mexicana. En 1867 ya se contaba en el país con una red telegráfica de 1924 Km. de longitud. Para ese entonces se empezaba a dar cierta coincidencia en el desarrollo del telégrafo y el de los ferrocarriles. La única ruta de importancia en el país era la del ferrocarril Mexicano (México - Veracruz ) que ya contaba con su propia línea telegráfica en dos tramos, entre México y Puebla y entre Veracruz y Paso del Macho. Para ese entonces no existía la industria petrolera, la cual inició su desarrollo hasta 1880, año en que los ingenieros Samuel Fairburn y George Dickson iniciaron en Veracruz la construcción de una pequeña refinería que fue terminada en 1886 y fabricaba productos que llevaban el nombre de El Águila.

Conviene destacar que en 1882 había un cable que comunicaba a los puertos de Coatzacoalcos, Veracruz, Tampico y Galveston, los cuales se muestran en la figura 1.1, este prestaba servicio público y por él cursaron comunicaciones telegráficas de larga distancia a las primeras compañías petroleras que operaban en esos lugares, así mismo había comunicación entre el D.F., Salina Cruz y Libertad.

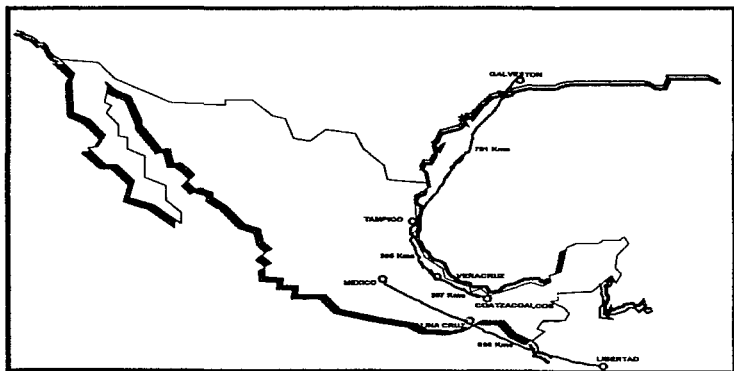


Fig. 1.1 Red cablegráfica existente en 1882.



En 1965 fué instalado el primer sistema de microondas. Este sistema se construyó en la trayectoria del gasoducto Ciudad Pemex - México - Salamanca, e inició su operación en enero de 1965 con 35 canales telefónicos, aunque fue diseñado con una capacidad inicial de 120 canales. El servicio que el sistema de microondas proporcionó a estas importantes instalaciones de la institución, no tenía precedentes en la industria petrolera mexicana.

En 1970 el sistema de microondas llegó a tener una capacidad de 300 canales. En 1974 mediante una inversión de 150 millones de pesos ( de aquella época ), fueron realizadas diversas obras notables. Fueron construidos 31 sistemas telefónicos y 18 ampliaciones, lo cual llevó a un total de 10200 extensiones, 250 troncales urbanas para la interconexión con el servicio público de Teléfonos de México y 215 troncales para la interconexión a los sistemas de larga distancia de la institución.

A partir de 1978 Petróleos Mexicanos entró en un proceso acelerado de desarrollo, motivado por el descubrimiento de los grandes yacimientos localizados en los estados de Chiapas y Tabasco, y posteriormente, en el Golfo de Campeche. La necesidad de contar con más y mejores medios de comunicación se hizo urgente; las posibilidades que el Departamento Central de Ingeniería de Telecomunicaciones tenía para satisfacer la demanda eran cada vez menores, pues la velocidad con la que crecían los sistemas era superior al crecimiento de sus recursos.

Es así como las telecomunicaciones han dejado de ser una simple necesidad; se han convertido en estrategia de operación, información y administración; y constituyen una de las infraestructuras más importantes para la promoción del desarrollo de la empresa, es así pues que se han convertido en una valiosa herramienta para agilizar la administración de sus recursos; que además facilita la coordinación de las actividades de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones petroleras.

De esta forma, Petróleos Mexicanos cuenta en nuestros días con una extensa y sofisticada red integral de telecomunicaciones, la cual está compuesta entre otros sistemas de : redes telefónicas, enlaces de microondas tanto analógicos como digitales, sistemas de radiocomunicación ( móviles, base y portátiles ) y enlaces locales de fibras ópticas. La institución cuenta también con una compleja red de transmisión y adquisición de datos.

Por otra parte, se han incorporado a los servicios que proporciona la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones el sistema de videoconferencia el cual opera vía microondas digitales. Este sistema cuenta con salas ya instaladas y en operación en las oficinas centrales de Marina Nacional No. 329 en México D.F. ( Nodo Maestro ), Coatzacoalcos, Ver., Veracruz, Ver., Villahermosa, Tab., y Cd. del Carmen, Camp., y a las cuales se han anexado salas del IMP ( Instituto Mexicano del Petróleo ), del Instituto Politécnico Nacional, así como también salas de la UNAM, y de TELMEX.

### **1.3 Panorama general de la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones (G.I.T.).**

La Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones es un organismo creado desde hace más de 40 años, para proveer los servicios de comunicación de voz y datos que Petróleos Mexicanos requiere para optimizar todas sus funciones. De esta manera, la misión gerencial es la de coadyuvar al mejoramiento continuo de la calidad y rentabilidad de las áreas de negocios de la institución.

#### **1.3.1 Objetivo general de la G.I.T.**

Contribuir a la optimización de los procesos productivos y de gestión de las áreas de negocios y unidades de apoyo de Petróleos Mexicanos para mejorar su productividad y competitividad, mediante la investigación, el desarrollo y la aplicación de las tecnologías de la información.

#### **1.3.2 Organización de la G.I.T.**

La organización de la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones, fue concebida bajo los criterios rectores de autonomía de gestión, evaluación de resultados, contabilización, costos de los servicios que se proporcionan ( precios de transferencia ), rentabilidad, descentralización, competitividad, eficiencia y productividad; así mismo incorpora criterios de calidad total y plantea la modernización y reconfiguración de sus servicios en el marco de las tecnologías de información.

La Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones, tiene una organización corporativa constituida por seis unidades centrales y siete unidades foráneas denominadas unidades de zona. En la figura 1.3 se presenta un plano que delimita cada una de las jurisdicciones de cada unidad de zona, las que tienen bajo su responsabilidad proporcionar a las dependencias de la industria petrolera los servicios telemáticos y optimización de procesos industriales que requieren para su operación y funcionamiento.

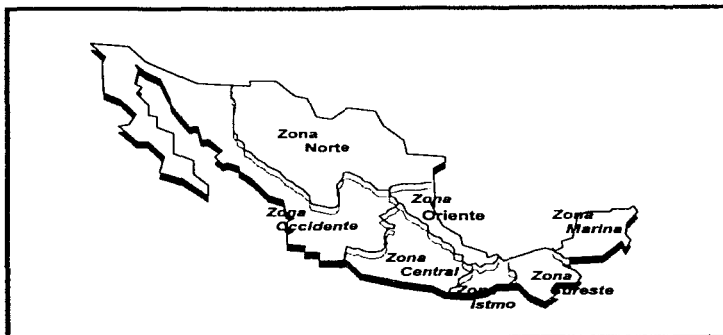


Fig. 1.3 Jurisdicciones de las unidades de zona que conforman la GIT.

En la figura 1.4 se muestra el organigrama estructural de la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones.

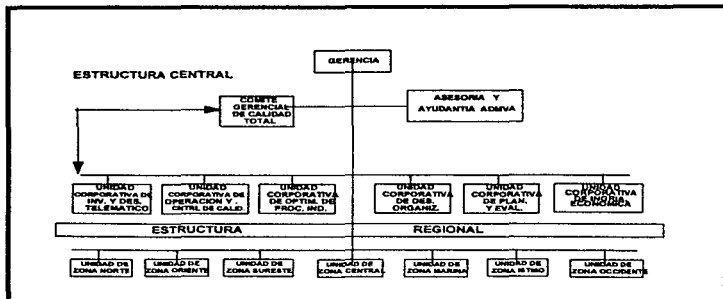


Fig. 1.4 Organigrama de la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones.



A continuación explicamos las funciones que llevan a cabo cada una de las unidades corporativas.

### **1.3.3 Funciones de las unidades corporativas de la G.I.T.**

#### **a) Unidad corporativa de operación y control de calidad.**

- Elaborar las estadísticas de los servicios telemáticos que se proporcionen en todas las redes.
- Normar, establecer las políticas gerenciales y coordinar los programas de alcance nacional, para el mantenimiento de los sistemas telemáticos de la institución.
- Normar y establecer las políticas gerenciales para la tarificación y determinación de los precios de transferencia de los servicios telemáticos que se proporcionan a las dependencias de la institución.
- Establecer, difundir y supervisar la aplicación de estándares de calidad para la prestación de servicios.
- Operar el centro de administración de las redes de servicios telemáticos, coordinar los programas nacionales para la operación de las redes y asesorar a las demás unidades en la materia.
- Consolidar y evaluar la información en materia de operación y comercialización de los sistemas telemáticos que se proporcionan en todas las redes.
- Realizar ante las dependencias y entidades que correspondan, las gestiones que se requieran para la operación de los sistemas y las redes de cobertura nacional.

#### **b) Unidad corporativa de optimización de procesos industriales.**

- Investigar y seleccionar nuevas tecnologías, para ofertar nuevos servicios de optimización de procesos industriales; elaborar y coordinar los programas de asimilación tecnológica en la materia.
- Planear y normar la elaboración de proyectos de ingeniería de sistemas de automatización de procesos industriales y de vigilancia y seguridad electrónica. Participar en los proyectos que estratégicamente se considere conveniente.
- Establecer la estrategia gerencial en materia de servicios de optimización de procesos industriales.

- Establecer las estrategias, normas y políticas para el aseguramiento de la calidad de los servicios al cliente; así mismo, para la elaboración de las especificaciones y estándares requeridos para la elaboración de proyectos de ingeniería y para la contratación de servicios especializados en la materia.
- Desarrollar modelos de optimización para la oferta de soluciones integrales a los clientes.
- Consolidar y evaluar la información corporativa en materia de optimización de procesos industriales.
- Dar asesoría y orientación en la materia, a las demás unidades de la organización.

**e) Unidad corporativa de investigación y desarrollo de sistemas telemáticos.**

- Investigar y seleccionar nuevas tecnologías para el desarrollo y modernización de la planta instalada.
- Elaborar y coordinar los programas de asimilación de nuevas tecnologías.
- Coordinar los proyectos de modernización y desarrollo de sistemas telemáticos de cobertura nacional.
- Realizar gestiones para la adquisición, recepción e instalación de los sistemas y coordinar los programas nacionales de instalación de los nuevos sistemas hasta su recepción de acuerdo con las especificaciones establecidas en los pedidos o contratos.
- Coordinar los proyectos de construcción de infraestructura para el soporte de los nuevos sistemas de cobertura nacional.
- Planear y normar el desarrollo de las redes de sistemas telemáticos de cobertura nacional.
- Normar y estandarizar la ingeniería e instalación de sistemas telemáticos y de su infraestructura, asesorar y apoyar a las zonas en los proyectos que se desarrollan a nivel regional.
- Consolidar y evaluar la información en materia de investigación y desarrollo de sistemas telemáticos y elaborar los informes gerenciales que correspondan; dar asesoría y orientación en la materia.
- Realizar las gestiones ante dependencias y entidades externas, para la autorización de los nuevos sistemas telemáticos de cobertura nacional.

**d) Unidad corporativa de planeación y evaluación.**

- Coordinar la formulación y consolidación de los planes gerenciales en el marco de un modelo de planeación estratégica.
- Realizar los diagnósticos estratégicos que en el marco del modelo de planeación estratégica, permitan definir las estrategias, los objetivos, planes y programas de corto, mediano y largo plazo para el cumplimiento de la misión.
- Dirigir y coordinar la elaboración del modelo de gestión y del plan de negocios de la organización.
- Establecer, normar y coordinar el desarrollo y operación de los sistemas de información gerencial que correspondan al modelo de gestión de la organización.
- Evaluar los resultados globales de la operación de la gerencia con base en su modelo de gestión y promover las medidas de mejoramiento correspondientes.
- Consolidar y evaluar la información en materia de planeación y evaluación.
- Dar asesoría y orientación en la materia.

**e) Unidad corporativa de desarrollo organizacional.**

- Establecer las estrategias, normas y políticas para el mejoramiento de la cultura y efectividad organizacionales y para el cambio planificado de la estructura y cultura organizacionales.
- Establecer las estrategias, normas y políticas para la administración de los recursos humanos de la organización, considerando entre otras, las correspondientes a la selección, inducción, integración y promoción del personal en los diferentes puestos de la organización.
- Establecer las estrategias, normas y políticas para el desarrollo integral de los recursos humanos; coordinar los programas nacionales de capacitación y desarrollo de carrera.
- Normar y coordinar la elaboración de proyectos de organización o reorganización, así como la aplicación de diagnósticos organizacionales; desarrollar aquellos que sean de alcance nacional.
- Establecer las normas y políticas para las relaciones obrero - patronales, en congruencia con las que se definan institucionalmente; participar en las negociaciones obrero-patronales para la gestión de asuntos laborales de alcance nacional.
- Consolidar y evaluar la información en materia de administración de recursos humanos y desarrollo organizacional; dar asesoría y orientación en la materia a las demás unidades de la organización.

**f) Unidad corporativa de ingeniería económica.**

- Establecer y difundir las estrategias y planes financieros de la organización en su conjunto.
- Normar y establecer las políticas y procedimientos gerenciales para la administración de los recursos presupuestales de la organización.
- Establecer la normatividad, políticas y procedimientos gerenciales para la operación y administración de los sistemas contables de la organización, con apego al marco normativo institucional correspondiente. Elaborar los estados financieros consolidados de la organización en su conjunto.
- Normar y establecer las políticas y procedimientos gerenciales para la administración de la tesorería en la organización. Realizar las gestiones para la administración del flujo de efectivo a nivel gerencial.
- Establecer la normatividad y las políticas gerenciales para la evaluación de los costos en el marco de los sistemas contables para optimizar la estructura de costos de la organización en su conjunto.
- Consolidar y evaluar la información en materia financiera.
- Dar asesoría y orientación en la materia.

# Capítulo 2

## Estudio de necesidades y alternativas de solución

- 2.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.
- 2.2 INTRODUCCIÓN.
- 2.3 VISIÓN GLOBAL DE LA G.I.T.
- 2.4 LEVANTAMIENTO DE CENSOS.
- 2.5 ESTUDIO DE NECESIDADES.
- 2.6 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS YA EXISTENTES.
- 2.7 ANÁLISIS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.
- 2.8 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR CABLE.
- 2.9 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA FIBRA ÓPTICA.
- 2.10 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN.
- 2.11 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR MICROONDAS TERRESTRES.
- 2.12 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.
- 2.13 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA RADIO.
- 2.14 ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ADECUADO.

## **2.1 Objetivo del capítulo.**

Establecer con precisión las necesidades de comunicación de los diversos organismos de Petróleos Mexicanos que no se encuentran integrados a la red institucional, y así mismo determinar la solución óptima que satisfaga tales necesidades.

## **2.2 Introducción.**

Petróleos Mexicanos, por su naturaleza tiene una gran cantidad y diversidad de instalaciones y desarrolla diversas actividades, que van desde la exploración en todo el territorio mexicano hasta la comercialización nacional e internacional del petróleo y sus derivados. Para la realización eficaz y eficiente de todas sus actividades, se hace imprescindible una comunicación expedita y confiable que integre centros de actividad productiva y administrativa, de modo que la información pueda fluir con calidad y confiabilidad hasta donde es requerida.

Las actividades de la empresa requieren de una estricta coordinación que es proporcionada a través de diversos sistemas de comunicación, compuestos, entre otros de sistemas de microondas tanto analógicos como digitales, enlaces locales de fibras ópticas, sistemas de radiocomunicación, sistemas telefónicos, redes de transmisión de datos (X.25, Frame Relay, ATM).

A consecuencia de la desincorporación y reorganización de PEMEX, los sistemas antes mencionados no cubren todos los requerimientos actuales, ya que se han creado nuevas dependencias, se han modificado las funciones de otras, se han reubicado y también han cambiado sus esquemas de conectividad.

## **2.3 Visión global de la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones ( G.I.T.).**

La Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones tiene un conocimiento actualizado de las diferentes y dispersas operaciones que lleva a cabo la empresa. Con la finalidad de brindar servicios de comunicación confiables, con un alto grado de confidencialidad, oportunos y de alta calidad, para el desarrollo de las actividades básicas de la empresa.

De tal forma la G.I.T. es la encargada de analizar las diversas vías de solución, y determinar en base a un análisis de viabilidad y costos el medio de comunicación óptimo que satisfaga las necesidades de conducción de señales.

Para el desarrollo de este capítulo se llevarán a cabo una serie de pasos básicos para determinar las necesidades de comunicación de la empresa. Se analizarán las posibles vías de solución, y se determinará el sistema de solución adecuado; para finalmente en un capítulo subsecuente llevar a cabo el diseño de la red.

**Paso 1.**

Levantar un censo de las dependencias de la empresa con requerimientos de telecomunicaciones no satisfechos, el cual debe incluir nombre y ubicación de los sitios a comunicar, responsables, coordenadas geográficas, elevación sobre el nivel del mar, croquis de localización, infraestructura disponible.

**Paso 2.**

Efectuar un estudio de necesidades de comunicación de los diversos organismos de la empresa, en cuanto a las demandas y tendencias a futuro de los servicios requeridos ya sean voz y/o datos si es el caso. Conocer también las interacciones entre los distintos departamentos o agencias dentro de la empresa ( topología a desarrollar ).

**Paso 3.**

Analizar y evaluar de manera general los sistemas de comunicación ya existentes, ya que estos pueden ser reemplazados o ampliados, y tener conocimiento claro de porqué se hacen estos cambios.

**Paso 4.**

Con los requerimientos de comunicación definidos, proponer el sistema de comunicaciones, analizando varios sistemas de comunicación posibles. Para nuestro caso particular se analizarán diversas vías de solución como lo son los sistemas de comunicación por cable, sistemas de comunicación por fibra óptica, microondas terrestres, y sistemas de comunicación vía satélite.

En este mismo punto se hará la elección de la solución que satisfaga los requerimientos de comunicación tomando en consideración aspectos importantes tales como la viabilidad desde el punto de vista técnico y económico; y así mismo se justificará el porqué de esta elección.

## 2.4

### Paso 1. Levantamiento de censos.

En este punto la Gerencia de Ingeniería de Telecomunicaciones se dió a la tarea de censar y recopilar los requerimientos de los centros de trabajo que serán en este caso los usuarios finales de la red, en cuanto a la demanda del tipo y número de servicios requeridos inicialmente y su tendencia a aumentar a futuro. Teniendo como resultado que los puntos a comunicar se enlistan en la tabla 2.a.:

**Tabla 2.a.**  
**Puntos a comunicar por zona, según estructura territorial de la G.I.T.**

Zona Occidente	Zona Norte	Zona Oriente	Zona Centro	Zona Istmo	Zona Sureste	Zona Marina
1 Guadalajara	1 Monterrey	1 Veracruz	1 México	1 Oaxaca	1 Chiapas	1 Mérida
2 Tepic	2 San Fernando	2 Jalapa	2 Pachuca		2 Tapachula	2 Cd. Carmen
3 Colima	3 Matamoros	3 Perote	3 Cuautla			3 Cayo Arcas
4 Urusapan	4 Aduana Juárez		4 Iguala			
5 Cullacán	5 Ductos Chik.		5 Miahuatlán			
6 Guasmochil	6 Jimémez		6 Acapulco			
7 Navojoa	7 Morelosva					
8 Cd. Obregón	8 Torreón					
9 Guaymas	9 Sabinas					
10 Hermosillo	10 A.Nvo.Laredo					
11 Nogales	11 Toluca					
12 Magdalena	12 Transportable					
13 Cananea	13 Cd. Valles					
	14 Cd. Maante					
	15 San Luis					
<b>Total 13 sitios</b>	<b>Total 15 sitios</b>	<b>Total 3 sitios</b>	<b>Total 6 sitios</b>	<b>Total 1 sitio</b>	<b>Total 2 sitios</b>	<b>Total 3 sitios</b>

## 2.5

### Paso 2. Estudio de necesidades.

De la tabla 2.a. observamos que son 43 sitios a comunicar, y para cada uno de ellos se ha contemplado como mínimo dos servicios de voz y un servicio de datos como una etapa inicial, y con tendencia a crecer en el futuro. Aquí las tendencias de crecimiento son en mayor grado a incrementar los servicios de datos. Para esto la G.I.T. utiliza sistemas de conmutación de paquetes con el protocolo X.25 por medio de concentradores que aceptan diversos protocolos tales como asíncrono SDLC y X.25. Otra tendencia es la transmisión de datos en redes de área local y de área amplia, usando ruteadores interconectados a velocidades mínimas de 64 Kbps.

## 2.6

### Paso 3. Análisis y evaluación de los sistemas ya existentes.

De los sistemas que conforman la red privada de comunicaciones de la institución, es de particular interés considerar lo siguiente:

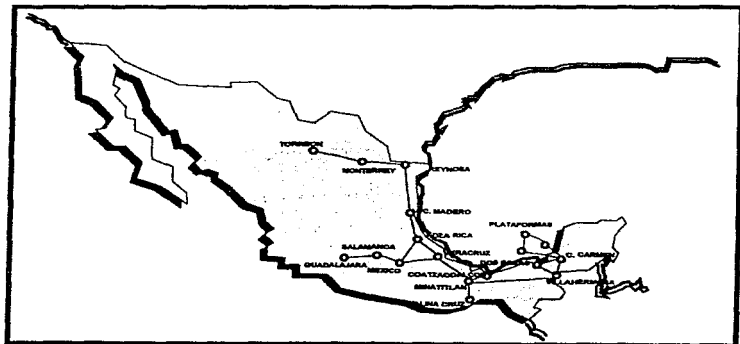
El sistema de transmisión digital, cuenta con enlaces de microondas, divididos en dos rutas principales:



El sistema troncal ductos Sur, que inicia en Cd. del Carmen, Campeche, y termina en Salamanca, Guanajuato, y el sistema troncal ductos Golfo, que inicia en Villahermosa, Tabasco, y termina en Gómez Palacio, Durango, con una derivación en Poza Rica, Veracruz hacia la Cd. de México.

Ante esta situación, observamos que la cobertura de los sistemas troncales de microondas terrestres es solo en la parte Sureste, Centro y Noreste del país como se puede apreciar en la figura 2.1. Esta cobertura es de vital importancia para el desarrollo del país; ya que con estos sistemas se proporcionan servicios de comunicación a las principales instalaciones de Petróleos Mexicanos como lo son los complejos petroquímicos de: Cosoleacaque, Pajaritos, La Cangrejera, Morelos, San Martín Texmelucan, Tula, Escobedo, así como también los centros petroquímicos compartidos con Pemex-Gas y Petroquímica Básica como lo son los de: Nuevo Pemex, Cd. Pemex, Cactus, Poza Rica, Matapichón, La Venta y Salina Cruz.

Por lo que respecta a la zona Centro, los sistemas troncales de microondas comunican a las refinerías de Tula, Hidalgo y la de Salamanca, Guanajuato; estas refinerías surten a diferentes terminales de almacenamiento y distribución. Por lo que respecta al D.F. están las terminales Satélite Oriente de Añil, la terminal Satélite Sur de Barranca del Muerto, así como la de Azcapotzalco Ex-refinería 18 de Marzo, y la terminal Satélite Norte en San Juan Ixhuatepec.



**Fig. 2.1 Cobertura de los sistemas troncales de microondas digitales.**

Como observamos, esta cobertura es solamente en la parte Sureste, Centro y Noreste del país; pero existen diversas y dispersas instalaciones dentro del territorio nacional, como lo son la parte Norte y Occidente de la República Mexicana, que requieren integrarse a la red de comunicaciones, lo que se puede apreciar en la figura 2.2. De tal forma los sistemas troncales de microondas no tienen la cobertura suficiente para satisfacer las necesidades de comunicación de las zonas, Norte y Occidente.

Por otro lado el empleo de fibra óptica en la institución, está restringido a pequeños anillos internos dedicados a redes de área local ( LAN ); y su capacidad es limitada.



Fig. 2.2 Sitios a comunicar.

#### Paso 4: Análisis de sistemas de comunicación.

Para el desarrollo de este paso, se analizarán diversos sistemas de comunicación, contemplando para cada uno de ellos sus características más importantes; así mismo se hará la elección del o los sistemas que satisfagan los requerimientos de comunicación y se justificará esta elección considerando los siguientes aspectos: viabilidad, rentabilidad, tiempo de instalación, velocidad de operación, capacidad de expansión, calidad y privacidad en los servicios, y principalmente los costos.

## **2.7 Análisis de sistemas de comunicación.**

Los sistemas de comunicaciones se pueden clasificar de diferentes formas, dependiendo del parámetro de comparación. Por ejemplo, los podemos clasificar por la forma en que se envía el mensaje ya sea digital o analógico, si el mensaje se envía en banda base o se monta en una portadora; por el valor de la frecuencia de la portadora, etc. Otro parámetro muy importante que se puede emplear para clasificar a los sistemas de comunicaciones es el medio o canal de transmisión que emplean. Dependiendo del medio o canal de transmisión empleado los sistemas pueden poseer alguna o algunas características insustituibles con respecto a otros sistemas que emplean diferentes medios de comunicación. Por el medio de transmisión los sistemas de comunicaciones se pueden clasificar en: Sistemas por cable, sistemas por fibras ópticas, y sistemas de radiocomunicación. A continuación se presentan las principales características de estos sistemas:

### **2.8 Sistemas de comunicaciones por cable.**

Los sistemas de comunicaciones por cable tienen una serie de características particulares; las más sobresalientes son:

- Requiere infraestructura (ductos, registros, repetidores, etc.)
- Se emplea tiempo en instalar el medio de comunicación.
- Mayor privacidad.
- Sensibilidad al medio ambiente, problemas en ductos húmedos, problemas de inducción.
- Es costoso, dependiendo de las longitudes, comparado con medios radioeléctricos.
- Permisos en algunos casos.

Entre los sistemas de comunicación por cable están por ejemplo los circuitos telefónicos, y entre sus principales características están:

## **1. Circuitos telefónicos**

### **1.a) Línea conmutada.**

Se le denomina línea conmutada al sistema telefónico de voz público. Se le llama así porque cuando hacemos una llamada esta es automáticamente conmutada al destinatario después de que el marcaje ha concluido. Tiene la enorme ventaja de que es universal, lo que significa que desde cualquier teléfono se puede comunicar a cualquier parte, a nivel local, nacional e internacional, además de que cuando su tráfico de datos es bajo resulta mucho más barata que una línea privada; y se puede comunicar con un destinatario distinto cada vez que uno quiera.

### **1.b) Línea privada.**

La línea privada es un circuito que se encuentra permanentemente asignado para uso exclusivo entre dos sitios. También se le llama línea dedicada. Cuando el tráfico de información es constante, el costo por utilizar las líneas privadas es más bajo que si se usara la red conmutada. Para algunas aplicaciones la gran ventaja de la línea privada es que no necesita del tiempo de conmutación para hacer una llamada; simplemente se descuelga el teléfono y la conexión esta hecha. Por otro lado, el costo de pedir a un operador el servicio de línea privada puede ser alto en comparación a las líneas conmutadas dependiendo de su utilización y distancia a cubrir, además que el tiempo de entrega puede ser de algunos meses o no ser posible dependiendo de la ubicación.

#### **Características:**

- se utiliza principalmente para transmitir voz.
- su ancho de banda va desde 300 a 3400 Hz.
- baja capacidad de manejo de canales.
- usa repetidores cada 3 Km.
- su costo lo hace útil en enlaces interurbanos.
- susceptible al ruido y a la inducción electromagnética.
- para transmisión de datos se requiere de modems, pero la velocidad esta limitada a las condiciones operativas de la línea.
- La transmisión de datos depende del tipo del enlace ( sincrónico ó asincrónico ), de las condiciones de la línea y de los modems que se utilizan.

#### **Conclusiones.**

Las líneas telefónicas, ya sea por línea conmutada o privada, son la solución más conocida, y aunque en general es la solución más sencilla, no siempre es posible contar con línea telefónica. Además, en muchos casos la calidad de las líneas hace que la transmisión de los datos se deba hacer a bajas velocidades sin ofrecer mucha seguridad y confiabilidad en los mismos. Además, de alguna manera la calidad de servicio que se brinde depende de Telmex, por lo que obviamente nos hace dependientes de sus instalaciones.

## 2.9 Sistemas de comunicación por fibra óptica.

Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica emplean también un medio físico como canal de transmisión. En este tipo de sistemas la información viaja direccionalmente a través de la fibra, pudiendo transmitir grandes cantidades de información en forma de pulsos luminícos, o sea en ondas electromagnéticas guiadas, la única diferencia con las ondas electromagnéticas de radio es la frecuencia de operación.

Algunas de las principales ventajas y limitaciones de los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas con respecto a los sistemas de radiocomunicación, y a los sistemas por cable se deben a las características inherentes al medio de transmisión. Para este caso de los sistemas de comunicación por fibras ópticas sus principales características y ventajas se muestran en la tabla 2.b.:

**Tabla 2.b.**  
**Ventajas de los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas.**

<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>
<b>a) Pérdidas pequeñas.</b>	* Espaciamiento grande entre repetidores.
<b>b) Gran ancho de banda.</b>	* Gran capacidad de transmisión. * Atenuación independiente del ancho de banda del mensaje transmitido.
<b>c) Diámetro y peso pequeños.</b>	* Cablesado de muchas fibras en un solo ducto.
<b>d) Estabilidad en medios severos.</b>	* Confiabilidad alta en la transmisión. * Eliminación de interferencias electromagnéticas.

### **Principales limitaciones:**

- Limitaciones para comunicaciones multipunto, aunque existe equipo para estas aplicaciones por ejemplo un multiplexor estadístico.
- Como en el caso de los enlaces por cable, requiere de ductos adecuados para su instalación y protección.
- Movilidad reducida en comparación con los sistemas de radiocomunicación.
- Manejo delicado.
- Altos costos por suministro e instalación.

Aprovechando que estamos analizando las características del uso de las fibras ópticas en los sistemas de comunicación, consideramos prudente presentar una breve exposición de la experiencia de Teléfonos de México ( Telmex ), en lo que se refiere a la implementación de la fibra óptica.

#### **Experiencia de Telmex en el uso de la fibra óptica.**

Telmex, en su carácter de empresa que detentaba el monopolio hasta 1996 de los servicios de telefonía alámbrica en el país, ha llevado a cabo inversiones millonarias para modernizar y mejorar el servicio telefónico, sin embargo, las necesidades del país rebasan por mucho a dichas inversiones.

En un país que cuenta con una población superior a los 90 millones de habitantes y que para inicios del siglo 21 contara con 110 millones de habitantes, el marco definido por el servicio telefónico es anacrónico. Es precisamente en la resolución de dichas necesidades donde el uso de fibra óptica tiene una importancia justificada; proveer de servicio telefónico a la población de manera efectiva y económica.

En cuanto a la implementación de fibra óptica se refiere, Telmex ha llevado a cabo enlaces de larga distancia entre centrales, teniendo una cobertura a nivel nacional en 5 años de más de 30,000 kilómetros.

Actualmente observamos la enorme competencia telefónica entre las empresas telefónicas. Debido a esto, Telmex está instalando innumerables cables de fibra óptica tanto para la red local como para sistemas de larga distancia, con lo que además de diversificar sus servicios, está adquiriendo una muy valiosa experiencia en la planeación y utilización de tan importante recurso tecnológico.

Desafortunadamente, aunque Telmex sigue siendo líder en telefonía en nuestro país, sus sistemas de comercialización siguen siendo deficientes, lo que ocasiona grandes retrasos en la puesta en operación de los servicios que se le solicitan.

## 2.10 Sistemas de radiocomunicación.

Todos los sistemas de radiocomunicación emplean el espacio como medio de transmisión. La información viaja en forma de ondas electromagnéticas. El hecho de que los sistemas de radiocomunicación no empleen un medio físico para la transferencia de energía desde el transmisor al receptor, hace que éstos posean una serie de características particulares para ellos y que en ciertas aplicaciones son insustituibles, y en otras sería más conveniente emplear sistemas con otros medios de transmisión. Las principales ventajas y limitaciones de los sistemas de radiocomunicación son:

### Ventajas:

- facilidad de comunicaciones móviles.
- facilidad de reconfiguración.
- facilidad de comunicaciones multipunto.
- facilidad de establecer enlaces en lugares de difícil acceso o con poca infraestructura.

### Limitaciones:

- susceptibilidad a interferencias electromagnéticas.
- espectro electromagnético limitado.
- privacidad reducida.
- dependencia de las condiciones ambientales, depende de la aplicación y de la banda de frecuencia.
- trámites de autorización de uso de espectro.
- pago por derechos de uso del espectro.

Dentro de los sistemas de radiocomunicación, están los sistemas de transmisión vía microondas terrestres, los sistemas de transmisión vía satélite y los sistemas vía radio, los cuales analizaremos a continuación.

Los sistemas de radiocomunicación emplean el espectro radioeléctrico para cumplir con sus funciones de enlace; y previo a analizar estos sistemas presentaremos en la tabla 2.c. el espectro radioeléctrico.

Tabla 2.c.  
Espectro de frecuencias.

Frecuencia	Longitud de onda (m)	Designación
3Hz - 30KHz	$10^8 - 10^4$	muy bajas frecuencias ( VLF )
30KHz - 300KHz	$10^4 - 10^3$	bajas frecuencias ( LF )
300KHz - 3MHz	$10^3 - 10^2$	frecuencias medias ( MF )
3MHz - 30MHz	$10^2 - 10^1$	altas frecuencias ( HF )
30MHz - 300MHz	$10^1 - 1$	muy altas frecuencias ( VHF )
300MHz - 3GHz	$1 - 10^{-1}$	ultra altas frecuencias ( UHF )
3GHz - 30GHz	$10^{-1} - 10^{-2}$	super altas frecuencias ( SHF )
30GHz - 300GHz	$10^{-2} - 10^{-3}$	extremadamente altas frecuencias. ( EHF )
$10^7$ GHz - $10^9$ GHz	$3X10^{-3} - 3X10^{-9}$	rayos infrarrojos, luz visible, rayos. ultravioleta

### **2.11 Sistemas de comunicación por microondas terrestres.**

Los enlaces por microondas se encuentran constituidos por enlaces de radio en altas frecuencias ( GHz ). Se les llama microondas por la pequeña longitud de onda que tienen. Por las características de la banda que utilizan, las torres donde se colocan las antenas que reciben y transmiten las microondas, se encuentran espaciadas típicamente cada 50 Km., o sea que deben de contar con línea de vista. Cada repetidor recibe y retransmite la señal hasta que llega a su destino.

Para los sistemas de microondas podemos decir que su aplicación principal son: la telefonía ( enlaces troncales entre conmutadores ) y/o enlaces tipo minilink ( para enlaces locales de tipo metropolitano ).

#### **Desventajas:**

En lo que se refiere a las microondas, éstas son un excelente medio por su eficiencia y capacidad de canal, pues se logran altas velocidades; pero desgraciadamente son muy caras y su precio no se justifica para enlaces con poco tráfico de información, y tampoco son prácticas cuando se requiere una red multipunto; aunque dependiendo de la aplicación se pueden tener repetidores de 5,10, 15 o más direcciones.

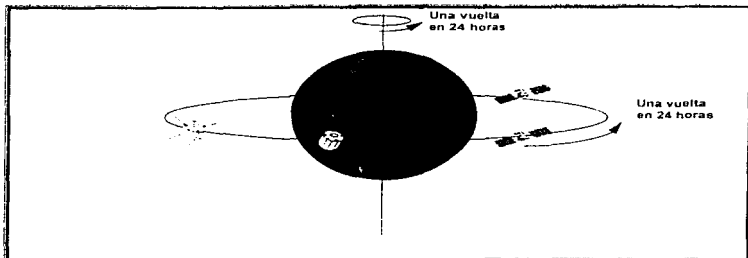
### **2.12 Sistemas de comunicación vía satélite.**

El satélite de comunicaciones es un dispositivo que actúa principalmente como un retransmisor de emisiones terrestres. Podríamos decir que es la extensión al espacio del concepto de repetidor.

Básicamente, la función de retransmisión se compone de un receptor y un transmisor, los cuales operan a diferentes frecuencias.

Físicamente, estos dispositivos de comunicación giran alrededor de la tierra en forma sincrónica a una altura de 35786 Km. en un arco directamente ubicado sobre el ecuador. Esto es por el hecho de que es la distancia requerida para que un satélite de una vuelta alrededor de la tierra en 24 hrs., coincidiendo entonces con la vuelta completa de un punto en el ecuador. Esta es la característica que en definitiva determina el objetivo geoestacionario que tienen los satélites de comunicaciones; ver figura 2.3.





**Fig. 2.3 El satélite de comunicaciones.**

**Ventajas:**

Podemos apreciar el uso de enlaces satelitales cuando se utilizan para comunicar puntos muy alejados entre sí, para lugares de difícil acceso, o que cuentan con poca infraestructura de comunicación, además de la facilidad que tienen para cubrir una amplia zona geográfica sin necesidad de unidades repetidoras.

**Desventajas:**

Sin lugar a duda, quizás la principal desventaja del uso de satélites es el costo del servicio y las atenuaciones que sufren los enlaces debido a las precipitaciones pluviales, en el caso de los sistemas operando en la banda Ku.

**2.13 Sistemas de comunicación via radio.**

Los sistemas de radio son un medio muy adecuado para hacer enlaces punto a punto, y las características de la banda de frecuencia en este caso la UHF la hacen útil en enlaces interurbanos. Tal vez estemos acostumbrados en pensar en el radio como un medio para transmitir voz, pero desde hace algún tiempo se ha usado también para mandar información digital en ciertas bandas asignadas para ello, con algunas ventajas que se enumerarán más adelante.

El rango de frecuencias usado para enlaces de radio es tan amplio que se ha clasificado en bandas, de acuerdo a sus características. Una de las bandas que se utiliza para transmitir información digital via radiofrecuencia es precisamente la banda UHF; de la cual se mencionan algunas de sus características:

- Rango de 300 a 3000 MHz.
- Propagación a través de la atmósfera y a lo largo de la superficie terrestre.
- Interferencias entre onda directa y reflejada.
- Ruido de efectos casi nulos.

Las características de propagación varían para cada banda. La banda UHF se propaga principalmente a través de la onda directa y reflejada.

## **2.14 Elección y justificación del sistema de comunicaciones adecuado.**

Habiendo analizado cada uno de los sistemas de comunicación con sus ventajas y desventajas, es necesario determinar cual de ellos satisface las necesidades de comunicación de la empresa tomando en consideración lo siguiente:

- El sistema debe ser viable desde los puntos de vista técnico y económico.
- El sistema debe proporcionar servicios de comunicación a puntos dispersos, puntos muy alejados entre sí dentro del territorio nacional, puntos que por su ubicación geográfica son de importancia para la institución; es decir que el sistema tenga capacidad de cobertura.
- Debe existir interconexión entre todos los puntos o nodos que conformaran la red de comunicación.
- El tiempo de instalación del sistema deberá ser a corto plazo.
- Considerar que en el sistema se tendrá un tráfico inicial bajo.
- El sistema debe tener la capacidad de expansión.
- La calidad y privacidad en los servicios debe ser total.
- Debe cumplir con la cualidad de tener flexibilidad y agilidad a cambios de configuración.

Es así pues, que descartaremos los sistemas que no cumplan con los requerimientos necesarios.

Veamos que significa cada uno de los aspectos anteriores para poder determinar cual sistema nos conviene elegir en base a las necesidades de comunicación de la empresa.

**Viabilidad.-** Lo podemos entender como la posibilidad que se tiene de llevar a cabo un sistema propuesto, desde los puntos de vista técnico y económico

**Tiempo de fabricación y puesta en operación.-** Es el tiempo que se lleva a cabo en fabricar, transportar, fijar, ajustar y probar el sistema.

**Rentabilidad.-** Podemos decir que un sistema es rentable cuando este es redituable, es decir que proporcione utilidades, por encima de una tasa prefijada por aquel que va a invertir sus recursos económicos.

**Velocidad de operación.-** La velocidad de operación se mide en Kbps; es aquella con la que salen los bits del transmisor; depende del ancho de banda permitido por el medio de comunicación. Como ejemplo la velocidad de operación de un enlace de fibra óptica es muy alta en comparación con la permitida por cable coaxial.

**Capacidad de expansión.-** Un sistema tiene capacidad de expansión cuando tiene la cualidad de poder crecer; esto es aumentar la cantidad y diversidad de sus servicios, según lo requiera el usuario.

**Calidad y privacidad en los servicios.-** Podemos decir que un servicio de comunicación es de calidad cuando el mensaje transmitido es recibido fielmente, es decir sin alteraciones, distorsiones, o ruido que den como resultado una comunicación deficiente o nula.

La privacidad en un servicio de comunicación es la garantía de que ninguna persona o sistema puede interferir o intervenir en una transmisión sin previa autorización.

**Flexibilidad a cambios de configuración.-** Un sistema de comunicación es flexible cuando se pueden hacer modificaciones de manera ágil y sencilla en la topología de la red, y en los parámetros de operación de los servicios de comunicación sin afectar la operación del resto del sistema.

## **Elección del sistema.**

### **Radio.**

El sistema de comunicaciones por radio permite comunicación omnidireccional y punto a punto. Estos sistemas son ideales para comunicaciones breves o discretas lo cual limita la transmisión de datos en grandes volúmenes; la comunicación no es del todo confidencial; se requieren repetidores cada 50 Km.; no se pueden realizar transmisiones simultáneas por una misma frecuencia (se requieren dos frecuencias por cada circuito que se desee establecer). Este tipo de comunicación esta diseñado para emplearse en pequeñas áreas o ciudades, generalmente los equipos son de tipo personal y se emplean ampliamente para comunicación de voz .La transmisión es dúplex y semi-dúplex .

A pesar de que el lapso de instalación es sumamente corto , la autorización de frecuencias es un trámite largo, que requiere un estudio técnico y que además depende de la aprobación y asignación de la SCT .

### **Fibra óptica.**

Para el análisis de la fibra óptica analizaremos dos puntos a comunicar; esto con el fin de ejemplificar el costo aproximado de su implementación, y de esta forma poder evaluar si es viable su implementación.

Por ejemplo los puntos Guadalajara y Colima entre los cuales existe una distancia relativamente corta, de aproximadamente 212 Km., y considerando solamente el costo del suministro de la fibra óptica que es de U.S. 8000 por Km., y el costo de instalación que es también de U.S. 8000 por Km.

Tenemos que  $212 \text{ Km. por U.S.8000} = \text{U.S. } 1,696,000$  costo del suministro del material, más la misma cantidad por su instalación U.S. 1,696,000 lo que nos da un total de U.S. 3,392,000 por suministro e instalación de fibra óptica entre los puntos Guadalajara y Colima. Además el tiempo de instalación que es en promedio de 5 Km. por día, donde estamos considerando terrenos planos y el caso extremo terrenos rocosos donde es necesario dinamitar, lo cual nos da aproximadamente 42.5 días para la instalación de 212 Km. de fibra óptica.

Es importante señalar que no estamos contemplando los costos de derecho de vía, los bienes distintos a la tierra, el costo del equipo el cual incluye los repetidores distanciados entre 80 y 90 Km. cada uno, y otros aspectos.

Por lo tanto tenemos que para este caso particular de comunicar a los puntos de Guadalajara y Colima con una distancia aproximada de 212 Km., tenemos que:

1. El costo total por el suministro e instalación de la fibra óptica es de U.S.3,392,000, más equipo de transmisión.
2. Su tiempo de instalación es de 42 ½ días aproximadamente.
3. Por lo que respecta a la calidad y privacidad en los servicios, la fibra óptica nos proporciona calidad total en las señales transmitidas; ya que es inmune a interferencias electromagnéticas.
4. Su velocidad de transmisión y su ancho de banda son enormes; prácticamente ilimitados, ya que se pueden lograr tasas de transmisión máximas de 2.5 Gbps, es decir 30000 canales telefónicos a 64 Kbps cada uno por un par de fibra, existiendo cables de 24 pares.

#### **Microondas terrestres.**

Dado que la cobertura de la red de microondas terrestres de Petróleos Mexicanos es en mayor grado en la zona Sureste del país, sería necesario extender esta red hacia el Centro, Norte y Occidente del país para satisfacer las necesidades de comunicación.

Debido a que necesitamos comunicar puntos muy alejados, el número de repetidores se incrementa proporcionalmente a la distancia, lo cual implica un tiempo de instalación extremadamente largo y el costo de la infraestructura implícita por la implementación de este medio nos resultaría muy elevado. Desde luego que las microondas son un excelente medio por su eficiencia y capacidad de canal; pero desgraciadamente su precio no se justifica para enlaces como en nuestro caso donde existe poco tráfico inicial.

Veamos a continuación los aspectos que se deben considerar para poder llevar a cabo un enlace vía microondas digitales:

Para el análisis de las microondas terrestres vamos a considerar dos puntos a comunicar Guadalajara y Colima, como en el caso de la fibra óptica.

Sabemos que existen 212 Km. de distancia entre estos dos puntos y para poder llevar a cabo un enlace vía microondas terrestres es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Determinar la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.
- Definir una trayectoria.
- Conocer las coordenadas geográficas de los sitios a comunicar.
- Efectuar un perfil topográfico con una escala de 1 : 50000

Sabemos que para distancias mayores de 50 Km. es necesario el uso de repetidores, ya que se requiere contar con línea de vista y para poder llevar la implementación entre los puntos Guadalajara y Colima se necesitarían de 2 equipos terminales y 3 repetidores; y previamente se debe determinar con que banda de frecuencias se van a operar los enlaces.

El tiempo de fabricación de los equipos es de 6 meses aproximadamente. Los trámites de importación y transporte son de 30 días. Teniendo ya los equipos se procede a la cimentación e instalación de las torres en un lapso de 2 meses. Posteriormente se procede a subir e instalar las antenas, amarrar las guías de onda así como también las líneas de transmisión, efectuar la orientación de las antenas, y llevar a cabo las pruebas para el correcto funcionamiento de los enlaces todo esto en un tiempo promedio de 6 semanas.

En las estaciones repetidoras se necesita montar casetas y se requiere energía comercial suministrada por la CFE, y energía de respaldo a base de bancos de baterías, o motogeneradores.

Por lo anterior notamos que el tiempo para poder llevar a cabo un enlace de microondas es demasiado; prácticamente de más de un año desde la fabricación de los equipos hasta su entrega. Aunado a esto el tiempo de instalación de antenas y pruebas de los enlaces que es de dos meses y medio en promedio. Y no olvidemos el tiempo para autorizar la banda de frecuencias por parte de la SCT, lo cual puede ser un trámite paralelo con respecto a la fabricación de los equipos; además de que es necesario adquirir terrenos, construir caminos de acceso (si se requiere), contratar la energía, etc.

## **Vía satélite.**

Para analizar la opción que nos da la comunicación vía satélite, y para el mismo caso de comunicar a los puntos de Guadalajara y Colima tenemos que independientemente de la distancia necesitamos solo dos estaciones y el satélite para poder tener un enlace por este medio. El uso de satélites nos ofrece la inigualable ventaja de poder comunicar puntos muy alejados entre si como es nuestro caso, para comunicar lugares de difícil acceso o de escasa infraestructura; es decir el alcance que tienen los satélites para cubrir una amplia zona geográfica sin necesidad de unidades repetidoras; esto aunado a que el costo por el servicio es independiente de la distancia; en otras palabras el costo que implica el comunicar a Guadalajara y Colima es el mismo por comunicar a Cd. Juárez, Chih. con Cd. del Carmen, Camp., por citar algún ejemplo.

A continuación se presentan algunos costos y aspectos a considerar para un enlace vía satélite:

Por ejemplo el costo del equipo y de la antena de 2.4m de diámetro es de U.S. 35800, el tiempo de cimentación es de un día, 2 días para la instalación de la antena y un día para efectuar pruebas y poner en operación los servicios.

Para el caso de una antena de 4.8m de diámetro el costo de su cimentación es de \$30000, 3 días de instalación de la antena, y 3 o 4 días para efectuar pruebas y poner en operación los enlaces. Y por lo que respecta a la antena de 5.6m de diámetro su cimentación cuesta \$60000, en un lapso promedio de 7 a 10 días; el armado requiere aproximadamente de 7 a 10 días, y finalmente para efectuar pruebas y poner en operación los servicios se necesitan 3 o 4 días.

No olvidemos también el tiempo de autorización y contratación para uso del espectro radioeléctrico por medio de Telecomunicaciones de México.

Bajo el esquema anterior notamos que el uso de los satélites satisface mas nuestras necesidades de comunicación, ya que nos permite comunicar puntos muy alejados entre si, lugares de difícil acceso como es nuestro caso, y el tiempo cimentación de las antenas, al igual que el tiempo de instalación del equipo y antenas así como las pruebas y la puesta en operación de los servicios es sumamente corto; además de que nos permite topologías de red en configuración malla, estrella o una combinación de ambas, lo que implica comunicaciones punto - multipunto dependiendo de la técnica de acceso al satélite.

Para poder determinar la justificación de la comunicación vía satélite se muestra en la tabla 2.d. las ventajas y desventajas de los sistemas de comunicación para nuestro caso particular; así como también su empleo como vía de solución a las demandas de comunicación de la empresa y su integración a la infraestructura de telecomunicaciones institucional.



**Tabla 2.d.**  
**Cuadro comparativo de los sistemas de comunicación**  
**para el caso particular de Petróleos Mexicanos.**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>RADIO</b>	<b>RADIO</b>
<p>El tiempo de instalación es sumamente corto, es viable para distancias cortas. Permite servicios de comunicación fijos y móviles. Las bandas de operación para este tipo de servicio son inmunes a cambios climatológicos. El equipo es económico comparado con otros sistemas</p>	<p>Para nuestro caso nos ofrece una red muy pobre en cuanto a cobertura, flexibilidad, agilidad, e interconectividad. Las comunicaciones son breves y discretas lo cual limita la transmisión de datos en grandes volúmenes y la comunicación no es del todo confidencial. Por lo tanto descartamos este medio como opción de solución.</p>
<b>FIBRA ÓPTICA</b>	<b>FIBRA ÓPTICA</b>
<p>El sistema de comunicación por fibra óptica es más estable que los sistemas de microondas terrestres y por vía satélite. El ancho de banda es muy amplio se pueden lograr tasas de transmisión de hasta 2.5 Gbps, es decir 30000 canales telefónicos a 64 Kbps cada uno por un par de fibra óptica, existiendo cables de 24 pares. Es inmune a interferencias electromagnéticas. La calidad es total en las señales transmitidas, existe menor necesidad de repetidores; entre 80 y 90 Km. de espaciamiento entre estos.</p>	<p>El costo del equipo asociado es sumamente elevado; así como también los costos por suministro e instalación. El tiempo de instalación es sumamente largo. Para nuestro caso donde el tráfico inicial es bajo, la implementación por fibra óptica no se justifica ya que sería un sistema sobrado en cuanto a ancho de banda. La tecnología existente no es económica; por lo tanto el sistema para este caso no es viable desde el punto de vista económico, por lo tanto descartamos este medio como vía de solución.</p>
<b>MICROONDAS DIGITALES TERRESTRES</b>	<b>MICROONDAS DIGITALES TERRESTRES</b>
<p>Excelente medio por su eficiencia y capacidad de servicio, excelente calidad en la señal transmitida. Se tiene disponible un gran ancho de banda.</p>	<p>El costo de la infraestructura se incrementa considerablemente en proporción a la distancia. El tiempo de instalación es largo, en promedio más de un año. Para una red con poco tráfico su implementación no se justifica. Susceptible a las condiciones climatológicas. Para nuestra aplicación este medio resulta muy costoso considerando las distancias a cubrir. Por lo que se descartan como medio de solución.</p>
<b>VÍA SATÉLITE</b>	<b>VÍA SATÉLITE</b>
<p>Capacidad de cubrir una amplia zona geográfica sin necesidad de unidades repetidoras. El tiempo de instalación es sumamente corto en comparación de los demás sistemas. Tiene capacidad de expansión. Nos permite comunicaciones móviles para situaciones de apoyo o de emergencia. Calidad total y privacidad en los servicios. Es flexible a cambios de configuración malla, estrella o una combinación de ambas. Facilidad de establecer enlaces en lugares de difícil acceso.</p>	<p>Espectro electromagnético limitado, el costo del servicio es elevado, la atenuación por lluvia es alta en la banda Ku.</p>

**Justificación del sistema de comunicación seleccionado.**  
**Justificación de la comunicación vía satélite.**

La justificación de la comunicación vía satélite y su empleo como vía de solución a las demandas de comunicación de la empresa, y su integración a la infraestructura de telecomunicaciones institucional tiene como fin cubrir las siguientes necesidades y es ahí donde encontramos su justificación.

- En primer lugar la limitación en la cobertura de la red de microondas de PEMEX. Existen regiones donde no se cuenta con ninguna infraestructura. El uso del satélite satisface esta carencia.
- Facilidad de establecer enlaces en lugares de difícil acceso.
- Carencia de medios de comunicación rápidos y eficientes para situaciones de emergencia, que se presenten en todo el territorio nacional. La comunicación vía satélite nos permite el uso de comunicaciones móviles.
- Carencia de medios alternos de comunicación que cumplan la función de respaldo mínimo para los sistemas terrestres existentes. Una red de comunicación vía satélite nos brinda alta tecnología lo que se refleja en calidad y privacidad en los servicios.
- Una red de comunicación vía satélite tiene capacidad de expansión, así como también presenta la cualidad de flexibilidad a cambios de configuración.
- Es competitiva en cuanto a su costo de inversión y de operación a largo plazo.
- Y por último podemos decir que el tiempo de instalación de la red vía satélite es sumamente corto en comparación de los demás sistemas.

# Capítulo 3

## Análisis de la comunicación vía satélite

### 3.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.

### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SATÉLITE DE COMUNICACIONES.

### 3.3 ASIGNACIÓN Y RANGO DE OPERACIÓN PARA BANDAS DE FRECUENCIAS PARA TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITE. BANDAS L, C y Ku RESPECTIVAMENTE.

### 3.4 LOS SATÉLITES MEXICANOS 1a. y 2a. GENERACIÓN, CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

### 3.5 COBERTURA DE LOS SATÉLITES SOLIDARIDAD (HUELLAS DE LAS BANDAS L, C y Ku).

### 3.6 ESTACIONES TERRENAS.

#### 3.6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.

### 3.7 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.

#### 3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACCESO.

- a. FDMA
- b. TDMA
- c. SCPC
- d. SDMA
- e. CDMA
- f. TDM / TDMA
- g. SCPC / PAMA
- h. SCPC / DAMA

#### 3.7.2 MÉTODOS DE ASIGNACIÓN, PREASIGNADOS ( PAMA ) Y ASIGNADOS POR DEMANDA ( DAMA ).

### 3.1 Objetivo del capítulo.

Presentar los conceptos básicos relacionados con la comunicación vía satélite.

### 3.2 El satélite de comunicaciones.

El satélite de comunicaciones es un dispositivo que actúa principalmente como un retransmisor de emisiones terrestres. Podríamos decir que es la extensión al espacio del concepto de repetidor activo.

Básicamente, la función de retransmisión se compone de un receptor y un transmisor, los cuales operan a diferentes frecuencias.

Físicamente, estos dispositivos de comunicación giran alrededor de la tierra en forma sincrónica a una altura de 35786 Km. sobre la superficie terrestre, en un arco directamente ubicado sobre el ecuador. Ver fig. 3.1. Esto es por el hecho de que es la distancia requerida para que un satélite dé una vuelta alrededor de la tierra en 24 hrs., coincidiendo entonces con la vuelta completa de un punto en el ecuador. Esta es la característica que en definitiva determina el objetivo geoestacionario que tienen los satélites de comunicaciones.

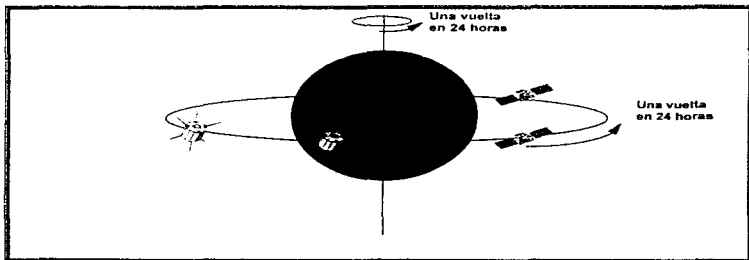


Fig. 3.1 El satélite de comunicaciones.

Para colocar un satélite en el espacio, se requiere de una serie de permisos expedidos por algunos organismos que regulen todo lo relacionado con los servicios de comunicaciones.

Entre estos organismos se encuentran el CCIR ( Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicación ) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones ( U.I.T. ), los cuales asignan las posiciones orbitales y las bandas de frecuencias para todas las comunicaciones geoestacionarias.

Al hacer esto, también regulan el espaciamiento entre satélites que operan a las mismas frecuencias para que no se interfieran entre sí. El espaciamiento orbital de la generación de satélites que operaban en las bandas C, X y Ku, fue establecido entre 4 y 5 grados de la órbita geostacionaria ( la distancia entre satélites era de 2800 a 3500 Km. ).

Actualmente, en los satélites de comunicaciones se esta utilizando la banda de frecuencias Ka, por lo que el espaciamiento orbital ha disminuido a 2 grados ( 1400 Km. de distancia entre satélite y satélite ); y próximamente tiende a ser de 1.5 grados.

El espaciamiento orbital depende del patrón de radiación de las antenas ( de los satélites y de las estaciones terrenas ), del ancho de banda y de la potencia de transmisión.

### **3.3 Bandas de frecuencias para telecomunicaciones por satélite.**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ( U.I.T. ) ha designado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 o 14/12 GHz, y 30/20 GHz respectivamente. Las bandas C y X son las que se utilizan comercialmente en la actualidad.

La banda L también es utilizada comercialmente, y es utilizada por estaciones móviles (barcos, aviones, submarinos, etc.) como se muestra en la figura 3.2. Su rango de operación para los enlaces ascendentes y descendentes es de 1.6 GHz y 1.5 GHz respectivamente.

La banda L presenta las siguientes ventajas:

- Permite enlaces entre unidades móviles de transporte (terrestres, marítimos, ferroviarios y aéreos), y sus respectivas bases.
- El equipo transceptor y las antenas son de tamaño compacto, dependiendo del tipo de servicio.
- No requiere de grandes cantidades de energía.
- Se pueden instalar en lugares de difícil acceso o que tienen poca infraestructura.

Al hacer esto, también regulan el espaciamento entre satélites que operan a las mismas frecuencias para que no se interfieran entre si. El espaciamento orbital de la generación de satélites que operaban en las bandas C, X y Ku, fue establecido entre 4 y 5 grados de la órbita geoestacionaria ( la distancia entre satélites era de 2800 a 3500 Km. ).

Actualmente, en los satélites de comunicaciones se esta utilizando la banda de frecuencias Ka, por lo que el espaciamento orbital ha disminuido a 2 grados ( 1400 Km. de distancia entre satélite y satélite ); y próximamente tiende a ser de 1.5 grados.

El espaciamento orbital depende del patrón de radiación de las antenas ( de los satélites y de las estaciones terrenas ), del ancho de banda y de la potencia de transmisión.

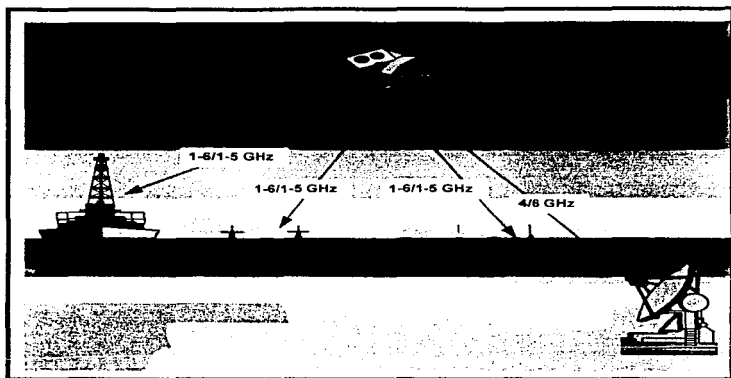
### **3.3 Bandas de frecuencias para telecomunicaciones por satélite.**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ( U.I.T. ) ha designado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 o 14/12 GHz, y 30/20 GHz respectivamente. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad.

La banda L también es utilizada comercialmente, y es utilizada por estaciones móviles (barcos, aviones, submarinos, etc.) como se muestra en la figura 3.2. Su rango de operación para los enlaces ascendentes y descendentes es de 1.6 GHz y 1.5 GHz respectivamente.

La banda L presenta las siguientes ventajas:

- Permite enlaces entre unidades móviles de transporte (terrestres, marítimos, ferroviarios y aéreos), y sus respectivas bases.
- El equipo transceptor y las antenas son de tamaño compacto, dependiendo del tipo de servicio.
- No requiere de grandes cantidades de energía.
- Se pueden instalar en lugares de difícil acceso o que tienen poca infraestructura.



**Fig. 3.2 Enlaces entre unidades móviles vía banda L.**

La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales. La banda Ku se encuentra aun en su etapa de experimentación, pero pronto se lanzarán los primeros satélites comerciales que la aprovechen; esta banda tiene un ancho de banda muy atractivo de 3500 MHz, pero su principal desventaja es que cuando llueve, los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en la banda Ku.

Existen también aplicaciones especiales para móviles en las bandas C y Ku; sin embargo su costo es elevado debido a que requieren de motores de sincronía más robustos y de mayor estabilidad, debido a la frecuencia de operación.

Cabe mencionar que la designación de bandas de microondas surge durante la segunda guerra mundial, y no corresponde el valor de la frecuencia con el orden alfabético de las letras que designan las bandas.

### 3.4 Sistema mexicano de comunicación vía satélite.

Entre los sistemas domésticos o nacionales, el que más nos interesa en particular es el sistema mexicano. Desde 1985, México cuenta con su propio sistema doméstico de comunicaciones por satélite. Inicialmente se integró mediante dos satélites híbridos (Sistema Morelos ), cuyas características se muestran en la tabla 3.a.

El satélite Morelos I fue lanzado en junio de 1985 y colocado en la posición orbital de 113.5° longitud oeste, pero su vida útil llegó a su fin en el año de 1993 por tal motivo esta posición orbital actualmente la ocupa el satélite Solidaridad II. El satélite Morelos II se lanzó en noviembre del mismo año y en 1989 se colocó en posición geostacionaria de 116.5° longitud oeste. Telecomunicaciones de México los opera y controla desde su propio centro en Iztapalapa, D.F.

Por medio de los satélites Morelos aproximadamente 400 estaciones terrenas públicas y privadas transmiten programas de radio y televisión, telefonía y datos a diferentes velocidades y con diversas técnicas de acceso.

La cobertura del territorio nacional es total, tanto con los haces de polarización ortogonal de banda C, como con el haz de banda Ku. Los satélites Morelos fueron adaptados para operar en forma híbrida ( bandas C y Ku, simultáneamente ).

**Tabla 3.a**  
**Principales características de los satélites Morelos.**

<b>Fabricante</b>	Hughes
<b>Estabilización</b>	por giro
<b>Masa en órbita (inicial)</b>	650 Kg
<b>Potencia eléctrica (inicial)</b>	940 W
<b>Vida útil</b>	8 años
<b>Bandas de frecuencia</b>	C y Ku
<b>Polarización</b>	lineal ortogonal en banda C lineal en banda Ku
<b>Número de transpondedores y ancho de banda de cada uno</b>	
<b>Banda C</b>	12 de 36 MHz
<b>Banda Ku</b>	6 de 72 MHz 4 de 108 MHz
<b>Potencia del amplificador de cada transpondedor</b>	
<b>Banda C</b>	7 Watts (36 MHz) 10.5 Watts (72MHz)
<b>Banda Ku</b>	19 Watts (108 MHz)



Para noviembre de 1993, entró en operación la segunda generación de satélites nacionales con el satélite Solidaridad I, y el 7 de octubre de 1994 el segundo de ellos el Solidaridad II. El Solidaridad I se ubica en la posición orbital de 109.2° longitud oeste, mientras el Solidaridad II esta posicionado a 113.5° longitud oeste.

A diferencia de los satélites Morelos, que sólo cubrían México, la frontera sur de los Estados Unidos, Guatemala y Belice, los satélites Solidaridad cubren México, su mar patrimonial y la mayor parte del continente americano. Los dos satélites manejan las bandas L, C, y Ku, lo que no se había dado en los satélites Morelos. La cobertura de los satélites se muestra en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 respectivamente.

Dichos satélites son operados también por Telecomunicaciones de México desde su centro de control en Iztapalapa, D.F., con el apoyo del centro de control de respaldo de Hermosillo, Sonora.

Los satélites Solidaridad tienen una potencia 4 veces mayor a la de los Morelos. Las características de los satélites Solidaridad se muestran en la tabla 3.b.

Actualmente los satélites mexicanos conducen las señales de datos de más de 340 redes privadas, 35 canales de televisión que enlazan a 500 estaciones; 120 sistemas de televisión por cable y 35 redes de radiodifusión que enlazan a 1530 estaciones de radio. La banda L ofrece servicios de comunicaciones móviles de voz y datos en forma digital para el transporte terrestre y marítimo en territorio nacional, así como telefonía rural a 20000 poblaciones anteriormente incomunicadas, también se proporcionará televisión educativa a 9000 escuelas del país.

**Tabla 3.b.**  
**Principales características de los satélites Solidaridad I y II.**

Fabricante	HUGHES COMM INTL.
Estabilización	triaxial
Masa en órbita (inicial)	2750 Kg.
Potencia eléctrica (inicial)	2500 Watts
Vida útil	14 años
Bandas de frecuencias	C (6/4 GHz) Ku (14/12 GHz) L (1.6/1.5 GHz)
Número de transpondedores y ancho de banda de cada uno	
Banda C	12 de 36 MHz
Banda Ku	6 de 72 MHz
Banda L	16 de 54 MHz
	1 de 29 MHz
Posiciones orbitales	
Solidaridad I	109.2° O
Solidaridad II	113.5° O



Fig. 3.3 Cobertura de la banda L.



Fig. 3.4 Cobertura de la banda C.

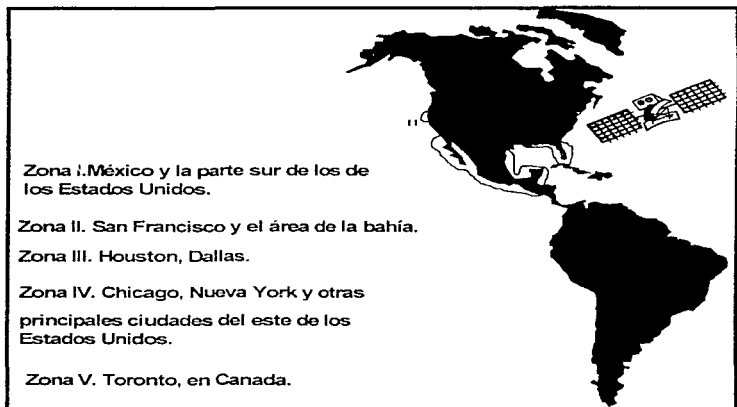


Fig. 3.5 Cobertura de la banda Ku.

### 3.6 Estaciones terrenas.

#### 3.6.1 Descripción general.

Se conoce como estaciones terrenas, a todos aquellos sistemas fijos en un punto de la superficie terrestre que tienen comunicación con el satélite. Las estaciones terrenas, proporcionan el punto inicial y final de una red de comunicaciones, que tiene como punto o nodo intermedio a los satélites.

Las estaciones terrenas pueden estar localizadas en un barco o en una aeronave, pero por lo general se les sitúa en tierra firme.

En una fotografía de una estación terrena, la parte que más sobresale es el plato y la estructura que lo soporta, sin embargo una estación terrena o terminal terrena es un sistema constituido por una antena o plato, el soporte de la misma, el equipo electrónico transmisor y/o receptor, así como el equipo de conexión de servicios.

Una estación terrena consiste de una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es la antena parabólica. Dependiendo de su aplicación particular, algunas estaciones son mucho más sencillas y carecen de uno o varios bloques. El diagrama de bloques de la figura 3.6 no muestra ningún módulo repetido o redundante, pero en la práctica, se acostumbra incluir la redundancia en estaciones principales, en donde se concentra gran cantidad de información o en donde se requiere de una confiabilidad muy alta.

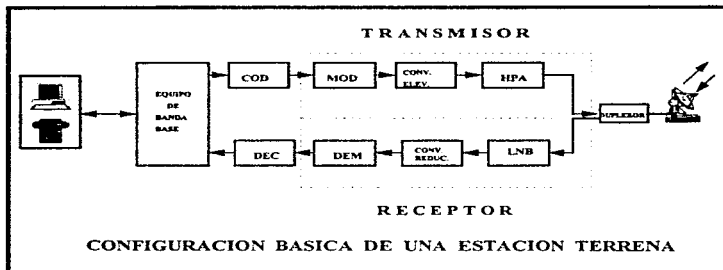


Fig. 3.6 Diagrama de bloques de una estación terrena.

#### **a) La antena.**

La antena es un dispositivo que generalmente se utiliza para transmitir y recibir señales, por lo que se conecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado duplexor. Si la antena está sobre terreno, su estructura debe ser suficientemente rígida para resistir el empuje del viento. Si la antena está en un edificio se presenta el problema adicional del movimiento de éste, que no puede ser compensado por la estructura soporte del plato. Por lo tanto es necesario poner la antena en un edificio " que no se mueva ".

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia de una antena es el cociente de la potencia que está envía en una dirección entre la potencia que envía una antena isotrópica ( antena ficticia que radia la misma potencia en todas las direcciones alrededor de ella ). Se puede expresar en dB.

Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor diferente en cada dirección, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación.

La ganancia depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como de la elevación y acimut.

Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco ( modo de recepción ); así mismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación ( modo de transmisión ).

#### **b) Equipo de banda base.**

En sus inicios, las transmisiones analógicas dominaron las comunicaciones satelitales. Aún hoy en día, diversos sistemas de satélite siguen transmitiendo señales de telefonía y televisión utilizando modulación en frecuencia ( FM ). Con el auge de la electrónica digital y las computadoras, muchas estaciones terrenas empezaron a utilizar la transmisión digital, obteniendo ventajas sobre la transmisión analógica. Dichas estaciones digitales pueden interconectarse a redes digitales terrestres, o a redes analógicas mediante equipo de conversión analógica digital ( A/D ). Una clara ventaja de la transmisión digital es que permite la integración de la información en diversas formas. Información analógica, tal como las señales de voz e imágenes, puede ser convertida a una forma digital y manejarse como datos para su transmisión, conmutación, procesamiento, etc.

El equipo de banda base se encarga del procesamiento primario de las señales (voz, datos y vídeo) que llegan a la estación terrena provenientes de los usuarios de la red terrestre. Si la estación en cuestión es de tipo digital y la señal de información llega en forma analógica, se realiza la conversión A/D. También cumple con la tarea de multiplexar (combinar varios canales de comunicación para crear uno solo) canales de voz y datos, que son procesados por la etapa transmisora. Dicho multiplexaje se puede realizar mediante FDM ( en frecuencia ), o TDM ( en tiempo ).

El equipo de banda base está compuesto de depósitos dosificadores de flujo de datos buffers, multiplexores, filtros, etc.

#### **c) Codificador.**

La transmisión de señales dentro de un sistema de comunicación vía satélite siempre resulta en cierta degradación en la calidad de la información. En los enlaces analógicos, la degradación afecta la relación señal a ruido. En los enlaces digitales se cuantifica el deterioro del contenido de la información en términos de la tasa de error de bit. Una diferencia fundamental entre las señales analógicas y las digitales es que podemos mejorar la tasa de error de una señal digital mediante el uso de técnicas de corrección de error. Dichas técnicas no están disponibles para las señales analógicas, debido a que si en éstas la información es contaminada con ruido, es extremadamente difícil eliminar esa contaminación, ya que no se puede distinguir electrónicamente entre la información y el ruido.

En un sistema digital, se pueden agregar bits de redundancia a la trama de datos, los cuales señalan si un error ocurre en el flujo de datos, e indica cual bit ( o bits ) ha sido alterado. Los sistemas que solo identifican alteraciones utilizan códigos detectores de errores. Los sistemas que pueden detectar y corregir utilizan lo que se denomina corrección de error por adelantado ( FEC ).

#### **d) Decodificador.**

Los decodificadores realizan la operación inversa a los codificadores. Debido a que la secuencia de símbolos recuperados por el demodulador puede contener errores, el decodificador debe utilizar la singularidad de los dígitos redundantes, introducidos por el codificador, para corregir los errores y recuperar los dígitos de información. El flujo de información es posteriormente entregado al equipo de banda base para su procesamiento y distribución a la red terrestre.

La probabilidad de que un símbolo sea correctamente interpretado depende de la relación portadora a ruido (  $C/N$  ) de la portadora modulada, y de las características del canal satelital.

### **e) Etapa transmisora.**

El equipo transmisor de las estaciones terrenas consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor ascendente y amplificador de alta potencia.

Después de que el usuario entrega su señal a la estación terrena ( teléfono, televisión o datos ), y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje, se requiere acondicionar la señal para que pueda ser radiada eficientemente hacia el satélite, sin que sufra interferencia o interfiera con otras señales. Este acondicionamiento permite también que se le pueda recuperar fielmente en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar.

#### **i) Modulador.**

Los moduladores combinan la señal de información original con la señal portadora, modificando el ancho de banda y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico. Existen diversos tipos de modulación de una portadora de comunicaciones vía satélite. Para señales analógicas la más utilizada es la modulación en frecuencia (FM), mientras que para transmisiones digitales se utiliza el desplazamiento de fase M-aria (MPSK ), donde la amplitud de la señal es constante y existen M fases diferentes para representar M conjuntos distintos de una secuencia binaria ( siendo  $M = 2, 4, 8$  etc. ).

La modulación M-aria más utilizada es la QPSK ( modulación por desplazamiento de fase cuaternaria ), donde  $M = 4$ , y los símbolos distintos son: 00, 01, 10 y 11. Cada uno de estos cuatro pares de símbolos es representado por una fase distinta de una portadora de amplitud constante.

Cuando los bits redundantes son agregados en la banda base y el flujo de bits compuesto (bits de información más bits redundantes) es utilizado para modular en fase una portadora y producir los símbolos transmitidos, la división entre modulador y codificador es obvia. Pero el modulador puede estar diseñado para agregar bits redundantes durante el proceso de modulación, haciendo la codificación y la modulación inseparables.

Para obtener una señal de microondas a partir de una señal de banda base, es necesario tener dos etapas de conversión, la primera se llama frecuencia intermedia aproximadamente 70 MHz, y la segunda es la frecuencia de transmisión dada en GHz .

#### **ii) El convertidor ascendente.**

El convertidor ascendente transfiere la señal de la frecuencia intermedia a una posición más alta dentro del espectro radioeléctrico. Esto se logra al mezclar la frecuencia de FI con la frecuencia del oscilador local ( LO ), dando como resultado una frecuencia de RF apropiada para realizar un enlace ascendente satelital.



Entre el modulador y el convertidor ascendente existe un filtro pasa banda, el cual permite limitar el ancho de banda de la señal modulada, eliminando o reduciendo el nivel de las componentes de frecuencia indeseables, para que así, el convertidor ascendente opere con mayor eficiencia. A la salida del convertidor ascendente, la señal tiene la frecuencia apropiada para ser radiada hacia el satélite. Hasta este punto, la señal tiene un nivel de potencia muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de radiarla por medio de la antena; para ello se utilizan los amplificadores de alta potencia ( HPA ).

### **iii) Amplificador de potencia.**

Los amplificadores de potencia aumentan el nivel de la señal y pueden ser de dos clases: amplificadores de alta potencia (HPA) y de baja potencia (LPA). Los primeros son los más utilizados en estaciones terrenas de mediano y gran tamaño porque su ancho de banda de transmisión es mayor, mientras que los segundos se emplean sólo en estaciones pequeñas que manejan poco ancho de banda.

### **f) Etapa receptora.**

La trayectoria de los satélites a las estaciones terrenas representa el segundo eslabón de un enlace vía satélite. En su trayecto de regreso hacia la tierra, la señal viaja un mínimo de 36000 Km. y por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. En las estaciones terrenas típicas, la antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite, es decir, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz. Sin embargo, lo común es que cada estación solamente tenga interés en recibir una pequeña porción de toda esa información que envía el satélite, por lo que después de amplificar todo el ancho de banda, debe de separar sólo aquella parte de la información que le corresponde para procesarla. Las señales de interés pueden provenir de distintos transpondedores.

### **h) Convertidor reductor.**

La señal de salida del amplificador de bajo ruido contiene toda la información radiada por un satélite dado, en una banda de operación situada aún en la misma región del espectro radioeléctrico. El convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información a una región más baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia ( FI ) de recepción, es decir, realizando la operación inversa a los convertidores ascendentes de las estaciones transmisoras.

La conversión - reducción de frecuencia puede realizarse en un solo paso, bajando de la frecuencia de llegada a la antena ( que es la misma frecuencia en la que opera el amplificador de bajo ruido ) hasta la frecuencia intermedia ( FI ) que se le debe entregar al demodulador. Generalmente, la frecuencia intermedia es 70 MHz, pero si las señales que se desean demodular ocupan un ancho muy grande ( por ejemplo 72 MHz ), entonces se bajan dichas señales a una frecuencia intermedia de 140 MHz.

El proceso también se puede realizar en dos pasos, y se prefiere así cada vez más en las estaciones terrenas modernas, porque es más fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier ancho de banda de transmisión del satélite. Esto último es importante, porque el plan original del uso de las frecuencias de transmisión del satélite puede variar con el tiempo, en uno o en todos sus transpondedores, y la frecuencia de trabajo del convertidor reductor se puede ajustar más fácilmente si se usa doble conversión.

Algunos fabricantes producen el amplificador de bajo ruido o LNA integrado al convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque, y ambos van contenidos dentro de una misma caja blindada. El producto se conoce como " convertidor de bajo ruido " (LNC), o como " convertidor reductor de bajo ruido " o LNB.

#### **ii) Demodulador.**

La señal de frecuencia intermedia, que sale del convertidor reductor, aún está modulada ya sea en FM, PSK o algún otro tipo de modulación y el paso siguiente para recuperarla en su forma original ( banda base ) es precisamente demodularla. En la práctica, la señal nunca se recupera exactamente como era su forma original, ya que diversos factores como el ruido térmico y el de intermodulación se encargan de distorsionarla. El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya utilizado, del nivel de potencia transmitida, de la ganancia de las antenas, y de otros parámetros del diseño del enlace. La relación señal a ruido es la medida de calidad para enlaces analógicos, por ejemplo televisión o telefonía con modulación en FM, y se cuantifica a la salida del demodulador, y resulta del cociente de la potencia de la señal de información dividida entre la potencia del ruido presente. En una transmisión digital no se emplea la relación señal a ruido como indicador de calidad, sino la probabilidad de error. Cuantos más errores se produzcan por efecto de la superposición del ruido, más difícil es reconstruir la señal en su forma original, y en consecuencia la calidad del servicio es degradada.

La proporción de bits que sean interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenía la señal original, es la medida de la calidad del enlace y se le conoce como probabilidad de error.

El demodulador es un bloque muy importante dentro de la cadena de recepción, ya que determina la calidad final del enlace, entregando a su salida la señal original con cierta relación S/N o una probabilidad de error Pe.

#### **iii) Alimentador ( duplexor ).**

Los alimentadores ( duplexores ) tienen la función de recoger las microondas reflejadas en la superficie de la antena y de suprimir el ruido y las señales indeseables. Esto se debe lograr con un mínimo de pérdida de señal.

El patrón de iluminación ( recepción de la señal ) describe el campo visual del alimentador. Un sistema de iluminación perfecta captaría sólo radiación proveniente del plato de la antena, rechazando toda radiación que proviniera de otras fuentes. En la práctica, los alimentadores iluminan más fuertemente la parte central del plato, y hacia los bordes pierden la capacidad de detectar microondas.

Lo ideal es que el alimentador abarque la superficie del plato y no capte nada que provenga del terreno circundante.

El duplexor interconecta simultáneamente los bloques de transmisión y recepción con la antena ( generalmente la misma antena se utiliza para transmitir y recibir ), pero separando las señales transmitidas y recibidas. Dentro de las comunicaciones satelitales modernas se utiliza el reuso de frecuencias, con el fin de aumentar la capacidad de cada satélite.

#### **Sistema de alimentación de energía.**

Los sistemas de alimentación de energía son vitales para el funcionamiento de los equipos de comunicación satelital. Una falla en la red eléctrica urbana resulta desastrosa en las comunicaciones digitales entre centros de computo, oficinas administrativas, centrales telefónicas comunicadas vía satélite, estaciones de TV, etc.

Por tal razón, muchas estaciones terrenas cuentan con sistemas de alimentación de energía ininterrumpida ( UPS ); es decir, cuando la energía eléctrica comercial se interrumpe, la conmutación o cambio al sistema de energía de respaldo debe ser suave y rápida, sin la interrupción de los servicios. Dichas UPS's cuentan con un sistema de respaldo, que entra en operación inmediatamente en caso de que la energía comercial falle; la potencia que dicho sistema de respaldo debe proporcionar es muy grande, entre 10 y 30 KVA.

Los sistemas de respaldo mas comunes son grandes bancos de baterías y motogeneradores diesel. Es muy importante que los equipos de respaldo de energía tengan un mantenimiento adecuado y que las reservas de diesel estén aseguradas en caso de utilizar motogeneradores.

### 3.7 Técnicas de acceso múltiple.

Cuando se tiene un número grande de usuarios y además separados por grandes distancias, los sistemas de comunicación vía satélite son el medio de comunicación más efectivo para el caso de radiodifusión o de transmisión de mensajes multidestino

Los métodos de transmisión de información simultánea por estaciones terrenas para compartir un recurso común que en este caso es el satélite de comunicaciones, en una red de comunicación, son conocidos como técnicas de acceso múltiple. Estas técnicas pueden ser clasificadas en tres sistemas de acceso considerándose como un sistema ortogonal con diferentes combinaciones entre ellas. Los esquemas básicos ortogonales se basan en la utilización simultánea de los tres recursos de un satélite los cuales son: espacio, tiempo y frecuencia.

Estos recursos originan los siguientes esquemas de acceso múltiple:

**SDMA** ( acceso múltiple por división de espacio )

**TDMA** ( acceso múltiple por división de tiempo )

**FDMA** ( acceso múltiple por división de frecuencia )

Por otra parte, un esquema de acceso múltiple por división de código (**CDMA** ), es un sistema de tiempo - frecuencia ( TF ), en el cual una señal de acceso puede ser representada por una colección de áreas espaciadas en una matriz T - F.

#### 3.7.1. Descripción de las técnicas de acceso.

##### \*) Acceso múltiple por división de frecuencia ( **FDMA** ).

Esta técnica divide el ancho de banda en pequeños anchos de banda, por lo que una estación terrena puede emplear una o mas de estas subdivisiones en su transmisión.

Toda estación terrena que opere en esta modalidad tiene que transmitir como mínimo una portadora al satélite. Cada portadora contiene tráfico dirigido a distintos destinos dentro de cada región atendida por el satélite. Estas portadoras multicanales tienen su propia frecuencia radiada preasignada en la banda del enlace ascendente. De ahí el nombre de división de frecuencias. Las asignaciones pueden cambiar de acuerdo a la demanda o a los cambios en los patrones de tráfico, de tal forma que cada estación terrena conoce, en cualquier momento, qué portadora puede utilizar para su transmisión.

En el enlace descendente, cada estación terrena recibe y demodula distintas portadoras FDMA provenientes de distintos puntos. De la banda total demodulada se extrae solamente el tráfico destinado a la estación terrena, haciendo caso omiso del resto ya que esta dirigido a otros puntos de destino.

## **b) Acceso múltiple por división de tiempo ( TDMA ).**

Este tipo de acceso es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas ocupan o accesan un transpondedor o parte de él. Todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, y se comparten entre ellas secuencialmente en el tiempo; esto es, consiste en utilizar una sola portadora de banda ancha que ocupe todo el transpondedor a máxima potencia o bien en saturación, aún cuando operen en una región no lineal, y no habiendo problemas de intermodulación, con la ventaja de que también las estaciones terrenas operen en saturación al transmitir. Sin embargo, en varias estaciones el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande cómo para justificar la ocupación total de un transpondedor; en estos casos el ancho de banda se comparte con otras modalidades como puede ser FDMA con video y telefonía SCPC, sin perderse la flexibilidad que brinda el sistema TDMA totalmente digitalizado.

A cada estación terrena se le asigna secuencialmente un intervalo de tiempo para que utilice todo el transpondedor o una parte del mismo. La estación puede transmitir dentro de éste intervalo una portadora saturada de 36 MHz ( o del ancho de banda que ocupe ) que contenga información digital mezclada de voz, datos y video.

En su forma más simple, a todas las estaciones se les asigna intervalos de tiempo de la misma longitud.

Para operar eficientemente, cada estación debe tener la flexibilidad de variar su velocidad de transmisión, de modo que las ranuras de tiempo asignadas deban ser de longitud variable ( de acuerdo a la demanda o solicitud de cada estación ), o bien, la estación que así lo necesite debe tener preferencia y poder transmitir con mayor frecuencia.

La mayoría de los sistemas operan bajo asignación por demanda. Para ello se tiene un control que informa a todas las estaciones sobre las asignaciones efectuadas y recibe nuevas solicitudes. A este canal se le denomina canal de control.

El sistema TDMA es muy atractivo, pero requiere de equipo totalmente confiable en el aspecto de sincronización.

### **Comparación entre la técnica TDMA y FDMA**

#### **Ventajas FDMA**

- No requiere de complejos mecanismos para sincronización y el uso de un sistema de reloj.
- Exceptuando cuando emplea técnicas de asignación por demanda, los sistemas de control y manejo son relativamente simples.
- Las estaciones terrenas con FDMA son menos costosas que una estación equivalente con TDMA.
- FDMA es menos sensible a factores externos y la señal original es más fácil de recuperar.

## **Desventajas FDMA**

- Debido a que emplean múltiples portadoras por transpondedor, se producen problemas de intermodulación, que se incrementan proporcionalmente con el incremento del número de portadoras.

### **e) Canal único por portadora ( SCPC ).**

En este sistema cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un sólo canal modulado.

Esta técnica tiene gran aplicación cuando se desea interconectar estaciones terrenas de muy baja capacidad de demanda de tráfico. Dado que las llamadas son aleatorias, el espectro del transpondedor se puede aprovechar eficientemente si las frecuencias portadoras de RF se asignan temporalmente a las estaciones terrenas, esto es, mientras tengan información que enviar.

La técnica SCPC es un derivado de los sistemas FDMA. Por lo tanto en SCPC, el ancho de banda del transpondedor es dividido de tal manera que, a cada canal se le asigna una de estas divisiones así como una portadora individual, de ahí el término canal único por portadora; por el contrario FDMA maneja múltiples canales por portadora. El modo de operación de esta técnica es la de enlaces punto a punto; es decir opera con enlaces dedicados

### **d) Acceso múltiple por división de espacio ( SDMA ).**

La técnica de acceso múltiple por división de espacio aprovecha la separación espacial de estaciones transmisoras para lograr el acceso múltiple. Este acceso se originó como un medio para lograr la reutilización de frecuencias, sin embargo, SDMA puede considerarse como una técnica más general.

En principio, SDMA mejora la utilización de los recursos del satélite pero a expensas de una mayor complejidad. Su aplicación aún no es obvia, pero a medida de que los recursos del satélite lleguen a agotarse, su uso podrá ser apreciado.

Actualmente, SDMA requiere el uso de antenas multihaz para dirigir mensajes separados simultáneamente a diferentes estaciones terrenas en la misma frecuencia o en la misma ranura de tiempo con una sola estructura de antena. Sin embargo, es concebible que una estructura múltiple de antenas multihaz puede ser construida a diferentes frecuencias. El propósito de tales estructuras múltiples es construir un gran número de haces pincel y reutilizar las bandas de frecuencia de una forma múltiple.

Los problemas asociados con SDMA para comunicaciones vía satélite no se comparten con los de otros sistemas de comunicación.

Estos problemas incluyen los arreglos de conmutación para seleccionar el haz apropiado para la transmisión de mensajes, el problema de aislamiento de los haces, consideraciones de cobertura y restricciones en el diseño de redes de información de haces.

#### **e) Acceso múltiple por diferenciación de código ( CDMA ).**

Una opción más en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo, es la técnica denominada CDMA. Es particularmente sensitiva a la interferencia; es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las estaciones terrenas pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean muy bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte, presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda ( un transpondedor completo ), pues cada bit de información se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo a un código determinado previamente.

Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits de identificación, y sólo la destinataria de la información conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se transmiten simultáneamente, pues estos últimos sólo los detecta como ruido tolerable.

Aquí es conveniente mencionar que este sistema no es aceptado en México. En resumen en este tipo de acceso todas las estaciones comparten simultáneamente el mismo ancho de banda y reconocen las señales por distintos procedimientos de identificación de códigos.

#### **f) TDM / TDMA**

Esta técnica está diseñada para lograr un uso eficiente del segmento espacial. Las redes que operan con TDM / TDMA poseen una topología estrella y están conformadas por una estación maestra y varias decenas o centenas de estaciones remotas. El tráfico principal que se cursa a través de éstas redes es datos, sin embargo también se puede manejar voz, y vídeo en la modalidad broadcasting.

En esta técnica la estación maestra utiliza una portadora en la cual toda la información hacia las estaciones remotas va multiplexada en tiempo, de ahí el nombre TDM. Esta portadora es recibida por todas las demás estaciones, decodificando cada una de ellas únicamente la información que le corresponde ( de acuerdo a la dirección especificada ).

Por otro lado, las estaciones remotas usan la técnica TDMA para comunicarse con la maestra, es decir una sola portadora es compartida en tiempo por un número dado de remotas para enviar su información hacia la maestra.

#### **g) SCPC / PAMA**

Esta es la técnica de acceso más sencilla y por lo tanto es la que requiere de un sistema de control poco sofisticado.

Está basada en las técnicas FDMA y SCPC explicadas anteriormente. Con éstas técnicas se pueden lograr topologías de red punto a punto. El número de portadoras requeridas es igual a dos veces el número de enlaces. Por ser una técnica FDMA es obvio que las portadoras están asignadas durante todo el tiempo, haya o no actividad, ésta característica hace que la técnica SCPC / PAMA no sea eficiente en lo que se refiere al uso del segmento espacial.

#### **b) SCPC / DAMA**

Esta técnica es usada para redes en donde se requiere una conectividad en malla para los canales de voz.

La técnica se basa en la existencia de un conjunto de portadoras satelitales que están disponibles para ser asignadas sobre demanda a las estaciones. Es decir, si se requiere la habilitación de un canal de voz entre dos estaciones, la estación que asigna la llamada avisa al centro de control que requiere de una comunicación de voz; el centro de control checa si la estación destino está disponible y manda una señal a ambas estaciones para asignarles las frecuencias a las que deben operar, una vez hecho esto las estaciones establecen la llamada telefónica haciendo uso de las frecuencias asignadas.

La transmisión de datos y vídeo en éste tipo de redes se hace a través de canales preasignados ( PAMA ).

#### **3.7.2 Métodos de asignación.**

En un sistema de acceso múltiple, ya sea usuarios asignados a canales de frecuencia (FDMA) o bien ranuras de tiempo (TDMA), se requiere emplear métodos de asignación.

Los métodos de asignación determinan cómo la capacidad es activamente asignada a usuarios en función de la cantidad, duración o demanda que estos presentan. Los principales métodos son:

- Preasignación fija.
- Acceso múltiple de asignación por demanda.

#### **Preasignación ( PAMA ).**

Es el acceso múltiple con asignación previa, en el cual los canales necesarios para la comunicación entre dos estaciones terrenas están asignados en forma permanente para su uso exclusivo. La preasignación puede ser empleada para acomodar la carga o exceso de tráfico en determinados lapsos. Los sistemas de asignación fija o continua son particularmente asociados con el exceso de tráfico en rutas fijas o predecibles en horarios fijos.



Los métodos de preasignación son eficientes y económicos cuando el flujo del tráfico es constante y predecible; para los casos en los cuales los volúmenes de tráfico varían y el flujo no es pronosticable, es necesario emplear otros métodos como el DAMA.

#### **Acceso múltiple de asignación por demanda ( DAMA ).**

El método DAMA tiene la habilidad de variar dinámicamente la capacidad asignada, a una estación terrena, de acuerdo a los cambios y demandas de tráfico y flujo que en ella se presenten.

El acceso múltiple con asignación por demanda, en el cual la atribución de canales se modifica de conformidad con las llamadas que se efectúan, el canal es seleccionado automáticamente y sólo permanece conectado mientras se mantiene la comunicación.

Este sistema aumenta considerablemente la eficiencia de la utilización de los transpondedores del satélite y en general de todo el sistema de comunicaciones, con respecto a la que se obtiene con el acceso múltiple con asignación previa. Para el acceso en DAMA se requiere el manejo de estadísticas de tráfico para determinar el número de canales necesario para el sistema.

# **Capítulo 4**

## **Dimensionamiento de la red**

- 4.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.**
- 4.2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES.**
- 4.3 DISEÑO DE LA RED.**
- 4.4 SERVICIOS DE USUARIO.**
- 4.5 SELECCIÓN DE LA BANDA DE OPERACIÓN.**
- 4.6 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ACCESO.**
- 4.7 ANÁLISIS DE TRÁFICO.**
- 4.8 CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA PARA EL SISTEMA.**
- 4.9 CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL.**

**4.1 Objetivo del capítulo.** Diseñar la red de comunicaciones.

**4.2 Ubicación de las estaciones.**

Con la ubicación de las estaciones determinaremos qué zonas son las que concentran mayor cantidad de sitios por comunicar, y por consiguiente esta localización nos ayudará en su momento a determinar la topología de la red, en base a las necesidades de conectividad de cada sitio.

En el estudio de necesidades descrito en el capítulo dos, manifestamos que las zonas que mas requieren comunicación son la Norte y Occidente; de tal manera se presenta la tabla 4.a donde se muestra la ubicación de las estaciones y además se comprueba la necesidad de comunicación en diversos sitios de estas dos zonas, ya que observamos que entre estas existen 28 sitios de los 43 por comunicar, es decir más del 60% del total de los sitios a comunicar en todo el territorio nacional.

**Tabla 4.a.**  
**Puntos a comunicar por zona, según estructura territorial de la G.I.T.**

Zona Occidente	Zona Norte	Zona Oriente	Zona Centro	Zona Istmo	Zona Sureste	Zona Marina
1 Guadaluajara	1 Monterrey	1 Veracruz	1 México	1 Oaxaca	1 Campeche	1 Mérida
2 Tepic	2 Ss. Fernando	2 Jalapa	2 Pachuca		2 Tapachula	2 Cd. Carmen
3 Colima	3 Matahuila	3 Perote	3 Cuautla			3 Cuyo Arcas
4 Uruapan	4 Adriana Juárez		4 Iguala			
5 Culiacán	5 Ductos Chih.		5 Michoacán			
6 Guasmuchil	6 Jiménez		6 Acapulco			
7 Navojoa	7 Moctlova					
8 Cd. Obregón	8 Torreón					
9 Guaymas	9 Salinas					
10 Hermosillo	10 A.Nvo.Laredo					
11 Nogales	11 Totonaca					
12 Magdalena	12 Transportable					
13 Cananea	13 Cd. Valles					
	14 Cd. Mante					
	15 San Luis					
<b>Total 13 sitios</b>	<b>Total 15 sitios</b>	<b>Total 3 sitios</b>	<b>Total 6 sitios</b>	<b>Total 1 sitio</b>	<b>Total 2 sitios</b>	<b>Total 3 sitios</b>

Señalando por porcentajes las necesidades de comunicación de cada zona; tenemos lo siguiente:

- Zona Occidente: 30%
- Zona Norte : 35%
- Zona Oriente : 7%
- Zona Centro : 14%
- Zona Istmo : 2%
- Zona Sureste : 5%
- Zona Marina : 7%

### **4.3 Diseño de la red.**

La configuración de redes es una de las partes más importantes para poder diseñar una arquitectura de comunicaciones. Para determinar la topología de la red, es necesario conocer cada uno de los enlaces requeridos, así como su capacidad. La topología de la red se refiere a la manera en que los nodos están conectados en este caso por medio del sistema vía satélite.

Previo a determinar la topología de la red de Petróleos Mexicanos se presentan a continuación algunos conceptos de las topologías de red que más se utilizan en la práctica.

**Estrella:** El diseño para una red en estrella es relativamente simple, ya que consta de una estación central o principal la cual controla el flujo de información a través de la red hacia todos los nodos. Esta es la estructura más sencilla de diseño de una red; la desventaja principal radica en el número de enlaces que se requieren para que haya comunicación entre dos sitios remotos. La red esta limitada a la capacidad de la estación central.

**Malla:** Esta topología es aquella en la cual cada uno de los nodos se encuentra conectado directamente a todos los demás nodos. Debido a su gran cantidad de interconexiones, la red tipo malla tiene un alto índice de confiabilidad y rendimiento ya que, en caso de falla en alguno de sus elementos, el resto de sus nodos pueden comunicarse a través de una gran variedad de rutas alternas.

**Híbrida:** Una topología de red es híbrida cuando tenemos una mezcla de topologías, es decir cuando en una red se presentan diferentes configuraciones por ejemplo estrella y malla, multiestrellas y pequeñas partes en malla, o viceversa; este tipo de topologías se originan básicamente por las necesidades de conectividad requeridas.

Hay configuraciones que no se aplican al caso de redes satelitales como son las estructuras de bus, árbol y anillo.

#### **Topología para la red de Petróleos Mexicanos.**

Sabemos que los puntos de México, Veracruz, Monterrey, y Guadalajara son los sitios que centralizan la mayor carga de información de sus respectivas unidades de zona, ya sea información de sus terminales de almacenamiento y distribución, centros de refinación, centros petroquímicos, complejos petroquímicos, oficinas etc., o como el caso del nodo México D.F. donde se concentra toda la administración de la institución en sus oficinas centrales de Av. Marina Nacional No. 329. Estos puntos permitirán la interconexión entre todas las dependencias y son los que llevarán la mayor carga del tráfico; es así que los puntos principales formarán una malla parcial para los servicios de voz.

Los enlaces para los servicios de datos serán todos centralizados hacia México, con lo cual se conformará una topología en estrella.

Dadas las necesidades de conectividad se requiere de una topología híbrida, es decir una mezcla de topologías malla y estrella para los servicios de voz y datos respectivamente; esta configuración permitirá tener un mejor control e igualmente brindará vías alternas de comunicación.

Es muy importante estimar un crecimiento a futuro del número de servicios, y de usuarios; esto con el fin de evitar problemas de saturación debido al aumento de la población, y así mismo evitar la actualización a corto plazo del sistema, así como también considerar interconexiones no contempladas en esta configuración.

Expuesto lo anterior mostramos las dos configuraciones de la red, una para los servicios de datos figura 4.1 y otra para los servicios de voz, figura 4.2.

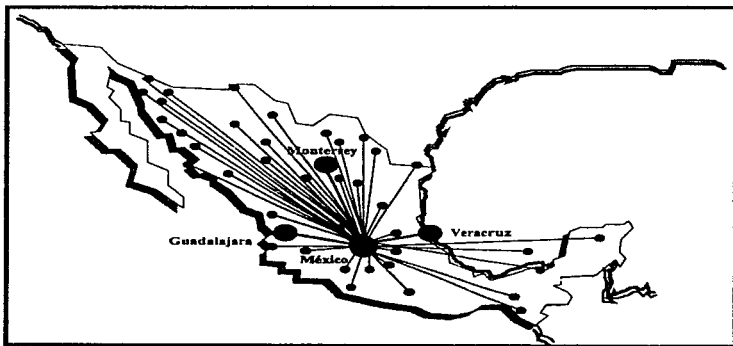


Fig. 4.1 Configuración de la red de datos.

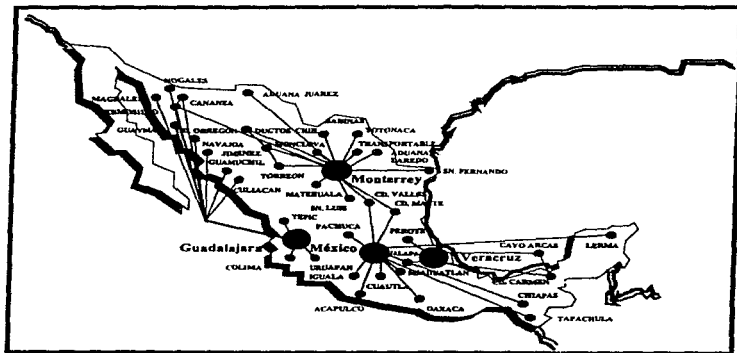


Fig. 4.2 Configuración de la red de voz.

#### **4.4 Servicios de usuario.**

Quando realizamos el estudio de necesidades observamos que de los 43 sitios a comunicar, para cada uno de ellos se ha contemplado como mínimo dos servicios de voz y un servicio de datos como una etapa inicial, y con tendencia a crecer en el futuro, donde en este punto es necesario hacer la observación que las tendencias de crecimiento son en mayor grado a incrementar los servicios de datos, para interconexión de redes de área local ( LAN ).

En resumen tenemos que son 43 estaciones por 3 servicios de comunicación, lo cual nos da un total de 129 servicios inicialmente; distribuidos de la siguiente forma:

#### **Distribución de servicios**

<b>86 Servicios de voz</b>	<b>43 Servicios de datos</b>	<b>Total 129 Servicios</b>
----------------------------	------------------------------	----------------------------

Para la operación de estos servicios se ha determinado que la velocidad de transmisión sea de la siguiente forma: para los servicios de datos la velocidad de transmisión de los nodos secundarios hacia México será de 9600 bps, y para los nodos principales (Monterrey, Veracruz y Guadalajara) la velocidad de transmisión será de 64 Kbps.

Para los servicios de voz la velocidad de transmisión será de 16 Kbps cada uno; aunque aquí debemos mencionar que existen en el mercado cuatro codificaciones diferentes para los servicios de voz, estas codificaciones son de 16, 24, 32 y 64 Kbps respectivamente; lo que implica que a mayor nivel de codificación obviamente la calidad del servicio es mejor, pero, por otro lado un nivel de codificación alto requiere un uso de ancho de banda mayor; es por tal razón que se optó por una velocidad de transmisión de 16 Kbps para los servicios de voz, la cual proporciona una calidad en el servicio muy aceptable.

#### **4.5 Selección de la banda de operación.**

Antes de seleccionar la banda de operación para la red satelital de Petróleos Mexicanos es necesario considerar lo siguiente: La Unión Internacional de Telecomunicaciones (U.I.T.) ha designado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 o 14/12 GHz, y 30/20 GHz respectivamente. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad.

Por lo que respecta a la banda X esta es una banda prohibida, ya que su uso es exclusivamente para fines militares y gubernamentales; aunque también es utilizada para radares, y enlaces de microondas metropolitanos, y no se tiene disponible en los satélites domésticos.

La banda Ka se encuentra aún en su etapa de experimentación, pero pronto se lanzarán los primeros satélites comerciales que la aprovechen; esta banda tiene un ancho de 3500 MHz que es muy atractivo, pero su principal desventaja es cuando llueve, ya que los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku; además de ser una banda que al igual que la X no se encuentra disponible en los satélites mexicanos.

Sabemos que la banda L, es utilizada por estaciones móviles (barcos, aviones, submarinos, etc.), y su rango de operación para los enlaces ascendentes y descendentes es de 1.6 y 1.5 GHz respectivamente. Para nuestro caso particular el uso de esta banda está descartado, ya que se requiere de una estación central que está controlada por Telecomunicaciones de México y su ancho de banda esta muy limitado, y no está diseñada para operar como las bandas C y Ku.

El uso de la banda C es ideal para comunicación vía satélite, ya que es casi inmune a los fenómenos meteorológicos y es totalmente comercial. La banda C era solo para T.V. actualmente esto ya cambió.

La banda Ku emplea para sus enlaces ascendentes y descendentes las frecuencias de 14 y 11 o 14 y 12 GHz respectivamente, esta banda es sensible a las variaciones climatológicas, especialmente a la lluvia, pero en menor grado que la banda Ka; además se encuentra disponible gran parte de su espectro. Inicialmente Telecomunicaciones de México dispuso que la banda Ku sería para la operación de redes privadas; por lo que en PEMEX se cuenta con estaciones que pueden ser útiles para esta aplicación.

Por todo lo anterior se determina que la banda de operación para la red satelital de Petróleos Mexicanos es la banda Ku, ya que implica un costo de inversión inicial menor que para la banda C.



#### **4.6 Selección de la técnica de acceso.**

Como vimos anteriormente la topología para la red de Petróleos Mexicanos es una topología híbrida, ya que tenemos una configuración en malla parcial para los servicios de voz, y una configuración en estrella para los servicios de datos; es por tal motivo que tenemos que buscar una técnica de acceso que se adecúe a las necesidades de conectividad de la empresa, que optimice el segmento espacial, y principalmente que sea flexible a cambios de configuración; en otras palabras que nos permita variar ágil y dinámicamente la configuración de la red, sin alterar el funcionamiento del resto del sistema.

#### **Parámetros mas importantes para la selección de las técnicas de acceso múltiple:**

**Necesidades de conectividad.** Estas determinarán la arquitectura de la red y proporcionaran un importante dato para la selección de la técnica de acceso múltiple mas eficiente. Por ejemplo, si se requiere que todas las estaciones se encuentren conectadas entre si, entonces se conforma una red tipo malla. La técnica TDMA proporciona inherentemente una conectividad de este tipo ya que todas las estaciones reciben la portadora TDMA, y por lo tanto estas se encuentran todo el tiempo enlazadas entre sí. Para cuando se tiene una ruta con baja densidad de tráfico en una red, la cual no necesita la habilidad de alterar la tasa de datos o la conectividad, la mejor elección es SCPC.

**El número de estaciones en la red.** Mientras mayor sea el número de estaciones en una red determinada, mayor será la eficiencia que proporciona TDM-TDMA. Si, por otro lado, el número de estaciones es reducido, la densidad de tráfico será alta y no habrá necesidad de una interconectividad total, por lo que la mejor alternativa sería utilizar FDMA. Cuando una red está constituida por más de 80 estaciones o nodos y el tráfico resulta ser relativamente bajo ( 9.6 Kbps) para cada localidad, entonces una red estrella puede ser la selección correcta.

Por lo que respecta a las combinaciones de las técnicas SCPC se puede tener, combinación de SCPC-DAMA para servicios de voz y SCPC-PAMA para servicios de datos. La técnica SCPC-DAMA optimiza el segmento espacial, y por lo que respecta a SCPC PAMA se ha comprobado que es poco flexible a cambios en la red y sobre todo se dificulta su operación al tener que controlar una gran cantidad de portadoras.

**Necesidades de crecimiento y expansión.** En la planeación de todo sistema, la expansión es a menudo una parte necesaria e imprescindible; sin embargo, nadie desea pagar por cierta capacidad que no va a ser ocupada inmediatamente o por aquella que no podrá ser utilizada si la proyección de tráfico no es predicha con precisión. En la selección de una técnica de acceso múltiple para una red, debe ser evaluada la necesidad de expansión. Esta puede tomar diversas formas, tales como: estaciones nuevas, tráfico adicional al existente, y nuevos tipos de tráfico para estaciones nuevas o ya existentes. Por ejemplo, si se necesita de flexibilidad como resultado de un futuro desconocido, entonces TDMA es la mejor opción por la facilidad que ofrece esta tecnología en cuanto a su flexibilidad de interconexión, y capacidad de crecimiento con el uso de el salto de portadora.

Sabemos que en un sistema TDMA convencional, cada estación terrena tiene un turno a un tiempo determinado para transmitir, no se permite la transmisión simultánea de más de una estación en un tiempo dado. El concepto de salto de portadora permite que una estación transmita durante el ciclo de duración de la trama más de una ocasión, pero en frecuencias diferentes; lo que permite que el sistema tenga la capacidad de crecimiento y expansión. Actualmente existen en el mercado sistemas con tecnología TDMA con salto de portadora en los que se puede dar de alta hasta 32 portadoras, esta técnica también es conocida con el nombre de FATMA (Acceso múltiple en tiempo y frecuencia). En la tabla 4.b mostramos una comparación de las técnicas de acceso más usuales, con el fin de seleccionar la técnica que más se apege a la solución de las demandas de la empresa.

**Tabla 4.b.**  
**Comparación de las técnicas de acceso.**

TÉCNICA DE ACCESO	NECESIDADES DE CONECTIVIDAD TOPOLOGÍA	TIPO DE TRÁFICO	CAPACIDAD DE CRECIMIENTO	OPTIMIZACIÓN DEL SEGMENTO ESPACIAL	FLEXIBILIDAD A CAMBIOS DE CONFIGURACIÓN	COSTO BENEFICIO
TDMA	Estrella y malla	Voz y datos	Si, número moderado de estaciones, pero existe la posibilidad del crecimiento del sistema debido al salto de portadora.	Si, utilizando operación en DAMA.	Total	La inversión inicial es elevada, se tienen beneficios a corto plazo, y se esta preparado a cambios no previstos.
SCPC/DAMA	Malla	Voz	Si	Si	Si	El beneficio depende de la magnitud de la demanda de los servicios de voz. En ambos casos se optimiza el segmento espacial, esto reduce a beneficios con un bajo costo de operación.
SCPC/FAMA	Estrella	Datos	Si, pero existe el inconveniente al tener que controlar un gran número de portadoras. Limitado el número de canales por el sistema de RF, provocando posibles problemas de intramodulación.	No, por ser en cada punto a punto el aprovechamiento del segmento depende de la utilización permanente de los canales.	Si, es flexible pero en cada cambio se puede generar reestructuraciones de la red.	No optimiza el segmento espacial. Los enlaces son puntuales.
TDMA/TDMA	Estrella	Datos	Si, número muy amplio de estaciones, varias decenas o	Si	No, limitada a solo configuración en estrella.	Al ser una técnica similar a la TDMA, la inversión inicial resulta ser elevada, pero el inconveniente de esta técnica es que no ofrece configuraciones en malla.

**Analizando la tabla anterior observamos que la técnica TDMA es la que más satisface las necesidades de la empresa, por ser una técnica de comprobada flexibilidad que optimiza el recurso espacial utilizando operación en DAMA y compresión de voz, al contrario de las técnicas SCPC en las cuales existe un desperdicio de ancho de banda al tener que utilizar bandas de guarda para evitar traslapes.**

**La relación costo - beneficio que ofrece la técnica TDMA es considerable a corto y largo plazo; lo cual en estos momentos resulta ser de enorme trascendencia, ya que no es posible prever la configuración de la red que satisfaga las nuevas necesidades derivadas de la nueva estructura de la empresa, razón por la cual se debe implantar un sistema que esté preparado para adaptarse a cambios no previstos.**

**Por todo lo anterior podemos elegir a la técnica TDMA como solución a las demandas de la empresa.**

#### 4.7 Análisis de tráfico.

El análisis de tráfico es una herramienta que nos permite determinar la demanda del servicio telefónico en un cierto sistema, así como la capacidad requerida que permita satisfacer dicha demanda. Para darle dimensión a la red se intenta realizar un análisis de tráfico, con el cual se obtendrán características tales como la densidad del tráfico, el grado de servicio del sistema, el factor de bloqueo, y la longitud de llamada entre otros parámetros.

Las medidas que se obtengan permitirán dar una estimación sobre el número de servicios y del número de troncales requeridas; esto con el fin de proporcionar un servicio eficiente y libre de saturación; es por tal motivo que se considera conveniente tomar en cuenta para la estimación del número de servicios, el crecimiento que se pudiera tener en usuarios en un tiempo futuro; esto es, para mantener el equipo funcionando sin problemas de saturación por el aumento de la población y así mismo evitar la actualización a corto plazo del sistema debido a dicho aumento.

##### **Planteamiento del problema:**

Para el planteamiento del problema tenemos que considerar que deseamos manejar dos servicios de voz por cada estación: 43 estaciones por 2 servicios de voz nos da un total de 86 servicios; consideraremos una longitud promedio de llamada de 4 ½ minutos, o sea 270 segundos, y que exista en el sistema una probabilidad de bloqueo del 1% es decir una de cada 100 llamadas será rechazada ( 0.01 en forma decimal ).

##### **Parámetros del problema:**

**A = Tráfico total ofrecido a un grupo de servicios en Erlangs**

**NT= Número de troncales**

**NS= Número de servicios**

**P = Probabilidad de bloqueo**

##### **Solución:**

Para nuestro caso conocemos  $NS= 86$ ,  $P= 0.01$ , y donde  $NT$  es nuestra incógnita por lo tanto tenemos lo siguiente:

$$A = ( 86 \times 270s ) / 3600s = 6.45 \text{ Erlangs}$$

De acuerdo con las tablas de Erlang (ver anexo A) donde  $A= 6.45$ , y  $P= 0.01$  tenemos que necesitamos de  $NT = 14$  Troncales.

A continuación presentamos un ejemplo de análisis de tráfico considerando los mismos parámetros del análisis anterior, pero ahora con un factor de bloqueo del 0.01%; es decir con una eficiencia del sistema del 99.99%.

Como antes:  $A= 6.45$  Erlangs y de acuerdo a las tablas donde  $A= 6.45$ , y  $P= 0.0001$  tenemos que necesitamos de  $NT = 18$  Troncales.

Con lo anterior concluimos que mientras menor sea el factor de llamadas rechazadas (factor de bloqueo) el número de troncales aumenta.

#### **4.8 Cálculo del ancho de banda para el sistema.**

Para calcular el ancho de banda del sistema hay que considerar que los servicios de datos están configurados en una topología en estrella con todos los enlaces centralizados hacia México, en donde los nodos principales estarán enlazados hacia México a 64 Kbps; y los nodos secundarios a 9.6 Kbps.

Para determinar el ancho de banda del sistema tenemos lo siguiente:

##### **Servicios de datos:**

Tenemos 3 estaciones principales y cada una necesita de un servicio de datos a 64 Kbps, por ser de ida y vuelta tenemos lo siguiente:

$$\text{V.T.} = 3 \times 2 \times 64 \text{ Kbps} = 384 \text{ Kbps}$$

De igual forma para las 39 estaciones secundarias, en donde cada una requiere de un servicio de datos a 9.6 Kbps tenemos lo siguiente:

$$\text{V.T.} = 39 \times 2 \times 9.6 \text{ Kbps} = 748.8 \text{ Kbps}$$

Si sumamos las velocidades de transmisión de los servicios de datos a sus diferentes velocidades tenemos que:

$$\text{V.T. de datos a 64 Kbps} + \text{V.T. de datos a 9.6 Kbps} = 1132.8 \text{ Kbps}$$

##### **Servicios de voz:**

Cada estación requiere de dos servicios codificados a 16 Kbps, por lo tanto se necesita la siguiente velocidad de transmisión:

$$\text{V.T.} = 14 \times 2 \times 16 = 448 \text{ Kbps}$$

Si sumamos la velocidad de transmisión para cada tipo de servicio tenemos un total de:

$$\text{V.T. datos} + \text{V.T. voz} = 1132.8 + 448 = 1580.8 \text{ Kbps}$$

De lo anterior concluimos que requerimos un total de 1580.8 Kbps neto, pero para fines de monitoreo, control y mantenimiento, se considera anejarle un excedente del 10%, es decir anejarle 158.08 Kbps, lo que nos da una velocidad de transmisión total de:

$$\text{Velocidad de transmisión total} = 1132.8 + 448 + 158.08 = 1738.88 \text{ Kbps}$$

Considerando que por convención, el ancho de banda de la señal binaria (que teóricamente tiende a infinito) es igual a la velocidad de transmisión, el ancho de banda total requerido por el sistema es de 1739 KHz.

Tomando como referencia el ancho de banda total que requiere el sistema, consideramos que con cuatro portadoras de 512 Kbps el sistema puede ser soportado; es decir **4 X 512 Kbps nos da un total de 2048 Kbps, quedando un remanente de 309 Kbps** el cual puede ser utilizado para incrementar el número de canales de datos.

En la tabla 4.c presentamos una comparación del ancho de banda que se necesitaría para proporcionar los servicios de comunicación, contemplando las diferentes codificaciones de voz existentes en el mercado, así como también el costo por uso de segmento espacial según la tarifa 0016 de Telecomunicaciones de México.

**Tabla 4.c.**  
**Comparación del ancho de banda y costos, contemplando las diferentes codificaciones de voz existentes en el mercado.**

Servicio	Codificación			
	16 Kbps	24 Kbps	32 Kbps	64 Kbps
Voz	16 Kbps	24 Kbps	32 Kbps	64 Kbps
86 Servicios de Voz	448 Kbps	624 Kbps	832 Kbps	1664 Kbps
39 Servicios de datos a 9600 bps, y 3 a 64 Kbps	1132.8 Kbps	1132.8 Kbps	1132.8 Kbps	1132.8 Kbps
AB Total (AB datos + AB voz) + M&C	1739 KHz	1932 KHz	2161 KHz	3076 KHz
Cuota mensual en D.A. (portadora mas cercana)	15,708 D.A. portadora de 2048 Kb	15,708 D.A. portadora de 2048 Kb	26,052 D.A. portadora de 3200 Kb	26,052 D.A. portadora de 3200 Kb
Remanente	309 KHz	116 KHz	1039 KHz	124 KHz

#### **4.9 Cálculo del enlace satelital.**

En un sistema de comunicaciones vía satélite se utilizan el espacio vacío y la atmósfera como medios físicos de transmisión. La información se transmite a través de ondas electromagnéticas de muy corta longitud. El espacio vacío y la atmósfera limpia no ocasionan daños a la señal electromagnética. Los factores perjudiciales son la lluvia, el ruido, y la dispersión de las señales ocasionada por la construcción imperfecta de los reflectores parabólicos. A continuación se explicarán brevemente estos aspectos.

##### **- Atenuación por lluvia.**

La evaluación de atenuación por lluvia para el diseño de enlaces vía satélite requiere del conocimiento de estadísticas de atenuación. En el estudio estadístico de los eventos meteorológicos se deben considerar diversas variables para poder conformar, posteriormente un modelo específico.

El factor de la precipitación pluvial no es determinable ni siquiera con alguna precisión razonable, de modo que hay que conformarse con las estadísticas de varios años atrás para poder hacer algún tipo de predicción.

Según estas estadísticas el territorio nacional quedó dividido de acuerdo a estudios efectuados por la S.C.T., en siete regiones hidrometeorológicas, ver figura 4.3, según la intensidad de precipitación pluvial.

Las zonas hidrometeorológicas definidas son:

- I Noroccidente**
- II Norte centro**
- III Golfo norte**
- IV Centro**
- V Pacífico centro**
- VI Istmo**
- VII Yucatán**

Estas zonas tienen un correspondiente margen de atenuación por lluvia a diferentes confiabilidades. En la tabla 4.d se presentan estos márgenes por precipitación pluvial para la banda Ku.

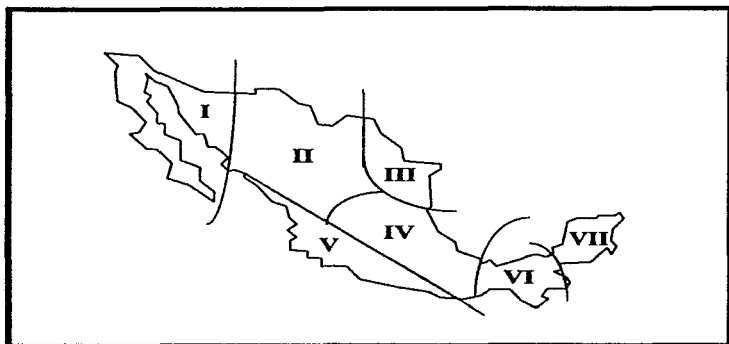


Fig. 4.3 División del territorio nacional según la intensidad de precipitación pluvial.

Tabla 4.d.  
Márgenes de confiabilidad basado en lluvia

Zona Geográfica	Confiabilidad					
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.80	99.50
I. Noroccidente	TX 8.0	6.6	5.3	3.5	3.0	1.5
	RX 6.0	4.6	3.3	1.5	1.0	-----
II. Norte centro	TX 5.4	4.5	2.5	1.3	1.0	-----
	RX 3.4	2.5	0.5	-----	-----	-----
III. Golfo norte	TX 12.7	11.0	10.0	9.2	6.8	3.6
	RX 10.7	9.0	8.0	7.2	4.8	1.6
IV. Centro	TX 11.6	10.2	8.2	6.3	4.2	2.2
	RX 9.6	8.2	6.2	4.3	2.2	0.2
V. Pacífico centro	TX 12.5	11.2	10.7	8.5	5.9	3.6
	RX 10.5	9.2	8.7	6.5	3.9	1.6
VI. Istmo	TX 12.2	11.3	10.5	8.2	5.8	2.6
	RX 10.2	9.3	8.5	6.2	3.8	0.6
VII. Yucatán	TX 13.9	12.3	11.1	8.9	6.0	2.9
	RX 11.9	10.3	9.1	6.9	4.0	0.9



#### **- Ruido.**

Para que una transmisión pueda considerarse perfecta, habría que considerar que la señal recibida fuera idéntica a la señal transmitida, y que no mostrara ningún tipo de perturbación debida a otras señales parásitas. En la práctica, esta condición ideal no existe y es necesario evaluar la potencia de ruido que se adiciona en el enlace, para poder compararla con la potencia de la señal portadora de información y obtener la relación portadora a ruido ( $C/N$ ), la cual resulta un indicador de calidad del enlace. Dentro de este contexto se puede hacer una clasificación de las más importantes fuentes de ruido para un sistema de satélites:

- a) Ruido externo: Este tipo de ruido se debe en gran parte a la radiación térmica proveniente de la atmósfera y de la tierra, y además a fuentes cuyo origen es extraterrestre.
- b) Ruido interno: Sabemos que la generación de ruido se inicia desde la misma fuente que proporciona las señales, y que los equipos de telecomunicaciones por los cuales transita la señal se encargan de agregarle una cantidad adicional de ruido, a la cual denominaremos con el nombre de ruido interno.

#### **- Atenuación en el espacio.**

Este fenómeno se debe a que el haz de microondas enviado por el transmisor se va "abriendo" de manera que si originalmente tenía un diámetro de digamos un metro, al llegar al extremo receptor puede tener un diámetro de varios cientos de metros y la densidad de potencia en  $\text{watts/m}^2$  que se reciba, evidentemente será mucho menor que la transmitida, de modo que la potencia total colectada por la parábola del receptor será extremadamente pequeña. La potencia recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre estaciones.

### **Ecuaciones para el cálculo del enlace satelital.**

El cálculo de enlace permite determinar la calidad de un enlace de comunicaciones, además de ser un trabajo numérico que se debe efectuar en enlaces radioeléctricos y en particular en enlaces vía satélite, cuyo objetivo primordial es obtener una relación de potencia en señal con respecto al ruido; dentro de ciertos niveles que nos ofrezcan una alta confiabilidad y a la vez no saturemos nuestros equipamientos de RF tanto de la estación como del satélite y así mismo conozcamos las características ideales que deben guardar todos los equipos involucrados para lograr este fin.

Para poder efectuar el cálculo de enlace se deben considerar las características de los equipos de transmisión y recepción, y en general todas las pérdidas y ganancias y las fuentes de ruido que existen en el sistema.

El cálculo de enlace involucra diferentes variables y parámetros, y es por tal motivo que se han desarrollado diferentes y muy complejos estudios para realizarlo. Para nuestro caso particular presentaremos un ejemplo del cálculo con los parámetros básicos que requiere Telecomunicaciones de México para poder autorizarlo.

Empezaremos definiendo la ganancia  $G_t$  de una antena como el incremento de potencia logrado mediante el enfoque de la antena, y una radiación isotrópica con una potencia  $P_t$  que se desplaza en ondas esféricas y concéntricas.

De tal forma podemos determinar la ganancia de una antena si aplicamos la fórmula general, la cual es:

$$G_{\max} = \eta(\pi D/\lambda)^2$$

donde :

- $G_{\max}$**  = ganancia máxima de la antena.
- $\eta$**  = eficiencia de la antena
- $D$**  = diámetro de la antena
- $\lambda$**  = longitud de onda
- $c$**  = velocidad de la luz (  $3 \times 10^8$  m/s )
- $f$**  = frecuencia de operación

La ganancia máxima de la antena expresada en decibeles es  **$[G_{\max}]_{dB} = 10 \log [G_{\max}]$**

Otro parámetro muy importante en el cálculo del enlace es la PIRE que se define como la potencia que debería ser transmitida si la potencia radiada fuera dispersada uniformemente en todas direcciones a partir de la fuente transmisora, y esta dada por la ganancia de la antena y la potencia de transmisión es decir:

$$PIRE = P_t G_{\max} \text{ o también } PIRE [dB] = 10 ( \log P_t + \log G_{\max} )$$

Las siguientes variables y constantes intervienen en el cálculo del enlace y a continuación los explicaremos brevemente.

[C/N] ⇒ dB	Relación señal a ruido
[PIRE] ⇒ dBW	Potencia isotrópica efectiva radiada
[Ls] ⇒ dB	Pérdidas de espacio libre
[G/T] ⇒ dB/K	Figura de mérito
[K] ⇒ 228.6 dBJ/K	Constante de Boltzman

[C/N].- Es una relación de potencia de señal con respecto al ruido la cual nos determina la calidad del enlace.

[Ls].- A este parámetro se le conoce como atenuación o pérdidas en el espacio libre; y es un debilitamiento sufrido por las señales transmitidas considerando que estas viajarán en el espacio perfecto. Para la banda de operación de los enlaces, Ls tiene un valor ya definido; para el caso de la banda Ku este valor es de -207.3 dB y -205 dB para los enlaces ascendentes y descendentes respectivamente.

[G/T].- La figura de mérito es una relación entre la ganancia de la antena y su temperatura.

[K].- La constante de Boltzman es un valor ya definido para el cálculo satelital, y su valor es de  $K = 1.380 \times 10^{-23}$  WS/K, expresado en dB  $\Rightarrow 10 \log (1.380 \times 10^{-23} \text{ WS/K}) = 228.6$  dBJ/K.

[BOi].- Nivel de potencia mínimo para excitar al satélite.

[BOo].- Margen de potencia antes de saturar al amplificador del satélite.

[M].- Es un nivel de atenuación por precipitación pluvial a determinado margen de confiabilidad en la transmisión y recepción.

[SFD].- La densidad de flujo en saturación es la relación de cantidad de potencia por unidad de área, antes de saturar al satélite y este valor varía dependiendo de la zona hidrometeorológica y los sitios a enlazar.

[dB].- El decibel es la unidad para expresar atenuación y/o ganancia y mide diferencias entre intensidad de señal (no intensidad absoluta), es una unidad logarítmica.

Finalmente la expresión para calcular la relación C/N del enlace de subida esta dada por la suma algebraica de los parámetros recién definidos; es así que la expresión es:

#### Ecuación del enlace ascendente

$$[C/N]_{ASC} = [PIRE]_{ASC} - [Ls]_{ASC} + [G/T]_{ASC} - [K] - [BOi] - [M]_{ASC} \quad [dB]$$

En la ecuación del enlace ascendente casi todos los parámetros están establecidos, y dependiendo de los sitios a comunicar y de la zona hidrometeorológica a la que pertenecen. La confiabilidad del enlace, la densidad de flujo de saturación, la PIRE de saturación, la figura de mérito son datos ya definidos por Telecomunicaciones de México; por lo que los parámetros restantes se tienen que calcular como lo son la ganancia, la PIRE y por último la relación C/N.

A continuación presentamos un ejemplo de un cálculo de enlace entre los puntos de Cayo Arcas y Cd. del Carmen, Campeche respectivamente. En la figura 4.4 se ilustra este enlace. Estos sitios se han elegido premeditadamente para efectuar el cálculo, ya que se encuentran en una región donde existen altos niveles de precipitación pluvial y es por tal razón que las condiciones de operación de enlace para estos dos puntos son críticas; también se seleccionaron estos puntos porque la cobertura del satélite se encuentra en el borde, donde la potencia es menor, es decir, se busca que los enlaces críticos sean los que presenten la mínima condición de operación, y así se asegura que los demás enlaces operen normalmente.

De acuerdo a la figura 4.2 de la división del territorio nacional y según la intensidad de precipitación pluvial los sitios de Cayo Arcas y Cd. del Carmen Campeche se ubican en la zona VII, la de Yucatán.

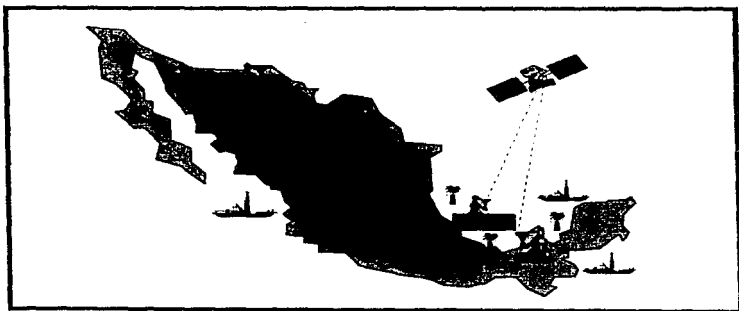


Fig. 4.4 Enlace vía satélite Cayo - Arcas - Cd. del Carmen.

**CÁLCULO DE ENLACE  
CAYO ARCAS - CD. DEL CARMEN**

**Datos del transmisor:**

**Transmite** : Cayo Arcas, Campeche  
**Diámetro de la antena** : 3.5 m  
**Eficiencia de la antena** : 73%  
**Salida máxima del HPA** : 16 Watts

**Cálculo de la ganancia de la antena transmisora:**

$$G_{max} = \eta(\pi D/\lambda)^2$$

**Gmax** = ganancia máxima de la antena.  
 **$\eta$**  = eficiencia de la antena  
**D** = diámetro de la antena  
 **$\lambda$**  = longitud de onda  
**c** = velocidad de la luz (  $3 \times 10^8$  m/s )  
**f** = frecuencia de operación ( 14.25 GHz )

$$\lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 14.25 \times 10^9 = 0.2110$$

$$G_{max} = 0.73 ( 3.1416 * 3.5 / 0.2110 )^2 = 20013458$$

expresada en decibeles es:

$$[ G_{max} ]_{dB} = 10 \log [ 20013458 ] = 53 \text{ dBW}; \text{ ganancia de la antena transmisora.}$$

$$\text{PIRE} = P_t G_t, \text{ la potencia expresada en dB} \Rightarrow 10 \log (16 \text{ watts}) = 12.04 \text{ dBW}$$

por lo tanto la PIRE expresado en dB:

$$[\text{PIRE}]_{dB} = P_t + G_t = 12.04 \text{ dBW} + 53 \text{ dBW} = 65.04 \text{ dBW}; \text{ PIRE de la estación transmisora.}$$

De igual forma para la estación receptora:

**Datos del receptor:**

**Recibe** : Cd. del Carmen, Campeche  
**Longitud** : 49°12'10"  
**Latitud** : 48°38'91"  
**Diámetro de la antena** : 4.6 m  
**Eficiencia de la antena** : 73%  
**Salida máxima del HPA** : 16 Watts  
**Ganancia de la antena** : 55.4 dBW

**Cálculo de la ganancia de la antena receptora:**

$$G_{\max} = \eta(\pi D/\lambda)^2$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 14.250 \times 10^9 = 0.0210$$

$$G_{\max} = 0.73 (3.1416 \times 4.6 / 0.0210)^2 = 345700.2387$$

expresada en decibeles es:

$$[G_{\max}]_{\text{dB}} = 10 \log [345700.2387] = 55.38 \text{ dBW}; \text{ ganancia de la antena receptora.}$$

$$\text{PIRE} = P_t G_t, \text{ la potencia expresada en dB} \Rightarrow 10 \log (16 \text{ watts}) = 12.04 \text{ dBW}$$

por lo tanto la PIRE expresado en dB:

$$[\text{PIRE}]_{\text{dB}} = P_t + G_t = 12.04 \text{ dBW} + 55.38 \text{ dBW} = 67.42 \text{ dBW}; \text{ PIRE de la estación receptora.}$$

Se requiere que el enlace tenga una confiabilidad del 99.90%, por tal motivo el margen de atenuación por precipitación pluvial (M) según la tabla de confiabilidad editada por TELECOMM es de 8.9 dB a la transmisión para la zona VII.

Por lo tanto, finalmente podemos calcular la relación C/N ascendente sustituyendo los parámetros respectivos:

**Ecuación del enlace ascendente**

$$[C/N]_{\text{ASC}} - [\text{PIRE}]_{\text{ASC}} - [L_s]_{\text{ASC}} + [G/T]_{\text{ASC}} - [K] - [\text{BOi}] - [M]_{\text{ASC}} \text{ [dB]}$$

$$[C/N]_{\text{ASC}} = 65.05 \text{ dBW} - 207.3 \text{ dB} + 4.3 \text{ dB/K} + 228.6 \text{ dB/K} - 8 \text{ dB} - 8.9 \text{ dB} = 74.2 \text{ dB}$$

Como mencionamos anteriormente existen parámetros que no se calculan, ya que están establecidos por Telecomunicaciones de México, dependiendo de los sitios a comunicar y su respectiva zona hidrometeorológica.

Estos parámetros son: la densidad de flujo de saturación del satélite, la figura de mérito del satélite, el BOi, el BOo, las constantes de pérdidas por trayectoria de enlace ascendente y descendente, y la constante de Boltzman.

Lo que queremos señalar con lo anterior es que los parámetros no son los mismos para un enlace como este, donde los puntos a enlazar se encuentran en una zona extremadamente lluviosa, que los que se requieren para enlazar sitios donde el promedio de precipitación pluvial anual es muy bajo. Para el caso de sitios con escasez de lluvia el diámetro de las antenas es típicamente de 2.4 m, y por consiguiente de menor ganancia.

Telecomunicaciones de México diseñó un formato para el cálculo de enlace, conocido como memoria de cálculo de enlace, en el cual se manifiestan los parámetros de enlace más necesarios y representativos. Para nuestro ejemplo a continuación mostramos la memoria de cálculo de enlace.

**MEMORIA DE CÁLCULO DE ENLACE  
CAYO ARCAS - CD. DEL CARMEN, CAMPECHE**

<b>Datos generales</b>	
<b>Diámetro de la antena transmisora</b>	<b>3.5 m</b>
<b>Frecuencia de operación</b>	<b>14.250 GHz</b>
<b>Ganancia de la antena de transmisión</b>	<b>53.0 dBW</b>
<b>Ganancia de la antena de recepción</b>	<b>55.38 dBW</b>
<b>Densidad de flujo de saturación</b>	<b>-97.3 dBW/m<sup>2</sup></b>
<b>Figura de mérito del satélite</b>	<b>4.3 dB/°K</b>
<b>Back - off de entrada</b>	<b>8.0 dB</b>

<b>Enlace ascendente</b>	
<b>Back - off de entrada en el transpondedor</b>	<b>8 dB</b>
<b>PIRE / portadora desde la estación terrena</b>	<b>60.5 dBW</b>
<b>Pérdidas por espacio libre</b>	<b>207.3 dB</b>
<b>Pérdidas por apuntamiento</b>	<b>0.5 dB</b>
<b>Constante de Boltzman</b>	<b>228.6 dBJ/°K</b>
<b>Margen por precipitación</b>	<b>8.9 dB</b>
<b>Relación C / N ascendente</b>	<b>74.2 dB</b>

<b>Datos del satélite</b>	<b>Solidaridad I</b>
<b>Localización</b>	<b>109.2° W</b>
<b>PIRE de saturación</b>	<b>48.6 dBW</b>
<b>Figura de mérito</b>	<b>4.3 dB/°K</b>
<b>SFD</b>	<b>- 97.3 dBW/m<sup>2</sup></b>
<b>Ganancia del transpondedor</b>	<b>193.9 dB</b>
<b>AB del transpondedor</b>	<b>54 MHz</b>
<b>Back - off de entrada</b>	<b>8.0 dB</b>
<b>Back - off de salida</b>	<b>4.5 dB</b>
<b>Frecuencia de subida</b>	<b>14.250 GHz</b>
<b>Frecuencia de bajada</b>	<b>11.950 GHz</b>

# **Capítulo 5**

## **Evaluación del sistema**

### **5.1 OBJETIVO DEL CAPÍTULO.**

### **5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

#### **5.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA ADQUIRIDO POR PEMEX.**

#### **5.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR TELÉFONOS DE MÉXICO.**

#### **5.2.3 COMPARACIÓN DE COSTOS. SISTEMA ADQUIRIDO POR PEMEX CONTRA SERVICIOS RENTADOS A TELMEX.**

#### **5.2.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE COSTOS.**

### **5.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA.**



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

### **5.1 Objetivo del capítulo.**

Determinar los beneficios del sistema de comunicaciones vía satélite de Petróleos Mexicanos, por medio de una evaluación cuantitativa y cualitativa.

La evaluación del sistema de comunicaciones vía satélite de Petróleos Mexicanos consistirá de dos partes: una evaluación económica y una evaluación técnica. Presentaremos una comparación de costos a 10 años, entre el sistema de comunicaciones adquirido por PEMEX; y los costos que resultarían si Teléfonos de México proporcionara la instalación, la renta y el mantenimiento de los servicios de comunicación para satisfacer las necesidades de PEMEX; así mismo evaluaremos los aspectos más importantes de operación del sistema, con la finalidad de mostrar los beneficios del sistema adquirido por PEMEX.

### **5.2 Evaluación económica.**

#### **5.2.1 Análisis de costos del sistema adquirido por PEMEX.**

Para poder evaluar los costos de la red se consideran los siguientes aspectos más significativos:

- Equipo de comunicaciones ( Inversión inicial )
- Renta del segmento espacial
- Personal especializado ( Operación )
- Equipo de Medición
- Refacciones

Para efectuar el análisis de costos en lo referente a la adquisición de equipo se llevó a cabo una recopilación de información económica reciente de algunos proveedores de sistemas satelitales, y de esta recopilación se obtuvieron precios promedio que son los que aparecen en el desarrollo siguiente:

Los siguientes datos están expresados en dólares americanos ( considerando \$ 8.00 por dólar en septiembre de 1997 ).

Como inversión inicial se considera la adquisición del equipo de comunicaciones, por ejemplo el costo de una estación principal es de 200,000 D.A., y el de una estación remota es de 50,000 D.A. Tomando en cuenta que la red esta conformada por 43 estaciones en total, donde 4 de ellas son principales y las 39 restantes son remotas tenemos que:

**4 Estaciones principales X 200,000 D.A. = 800,000 D.A.**  
**39 Estaciones remotas X 50,000 D.A. = 1,950,000 D.A.**

**Lo que nos da un total de 2,750,000 D.A.**

Por lo que respecta al costo de renta mensual del segmento espacial, según la tarifa 0016 de Telecomunicaciones de México tenemos el siguiente dato:

Para una portadora de 512 Kbps la cuota mensual es de 3,597 D.A.  
por las cuatro portadoras requeridas para soportar el sistema, tenemos que para 10 años:

**4 portadoras de 512 Kbps X 3,597 D.A. cada una = 14,388 D.A. renta mensual**

**10 años X 12 meses X 14,388 D.A. = 1,726,560 D.A.**

Para determinar el costo de refacciones, se considera un 10% del costo total del equipo de comunicaciones, por lo tanto tenemos que **(2,750,000)10% = 275,000 D.A.**

En lo referente a los gastos de operación se considerará un técnico por cada punto principal; es decir se necesitan 4 técnicos los cuales obtienen un ingreso anual de \$ 60,000 cada uno, por lo tanto tenemos lo siguiente:

**4 técnicos X \$ 60,000 X 10 años = \$ 2,400,000 = 300,000 D.A.**

Para calcular el costo del equipo de medición, se consideran necesarios los siguientes equipos y sus respectivos costos en D.A., los cuales son:

3 bert, 6,000 cada uno, por lo tanto el costo de los tres es de 18,000 D.A.

3 analizadores de espectros, 15,000 cada uno, por lo tanto el costo de los tres es de 45,000.

3 equipos de medición de niveles de audio 2,000 cada uno, por lo tanto el costo de los tres es de 6,000 D.A.

3 medidores de potencia 4,000 cada uno, por lo tanto el costo de los tres es de 12,000 D.A.

Finalmente el costo total del equipo de medición es de 81,000 D.A.

En la tabla 5.a. presentamos un resumen de los costos en D.A. de los aspectos anteriores:

**Tabla 5.a.**

**Resumen de costos para el sistema de comunicación adquirido por PEMEX.**

<b>Concepto</b>	<b>Costo ( D.A. )</b>
<b>Equipo de comunicaciones</b>	<b>2,750,000</b>
<b>Renta segmento espacial</b>	<b>1,726,560</b>
<b>Operación</b>	<b>300,000</b>
<b>Instrumentos de medición</b>	<b>81,000</b>
<b>Refacciones</b>	<b>275,000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,132,500</b>

### 5.2.2 Análisis de costos para los servicios proporcionados por Teléfonos de México.

Las modalidades que ofrece TELMEX para la conducción de señales vía satélite de voz y datos son las siguientes: para voz permite la formación de redes privadas en configuración mallada a una velocidad de información de 19.2 Kbps. Para las señales de datos se tiene la posibilidad de formar redes privadas en configuración estrella ( punto-multipunto ) con velocidades de 9.6 y 19.2 Kbps.

Para este análisis hay que considerar la cotización actual de TELMEX, para sus servicios.

A continuación presentamos la tabla 5.b. los servicios proporcionados por TELMEX y sus respectivos costos en moneda nacional, los cuales ya incluyen el IVA:

**Tabla 5.b.**  
**Costos de servicios ofrecidos por TELMEX.**

TIPO DE SERVICIO	COSTO (M.N.)
Contratación	\$ 12,593
Renta mensual de un canal de datos 9.6 Kbps	\$ 2,885
Renta mensual de un canal de voz 19.2 Kbps	\$ 5,200
Renta mensual de un canal a 64 Kbps	\$ 13,196

Antes de realizar el análisis de costos de los servicios que proporciona TELMEX, hay que considerar lo siguiente: aunque las reparaciones y mantenimiento de la red están a su cargo, la supervisión de la operación de los sistemas está a cargo de PEMEX, por lo que se toma un 25% de los costos de operación y equipo de medición calculados para la red de Petróleos Mexicanos. Es decir este porcentaje se carga a los costos de instalación, y renta de los servicios de TELMEX.

### **Análisis de costos por TELMEX.**

**\* Gastos de instalación:**

Instalación de VSAT = 43 estaciones X \$ 12,593 = \$ 541,499 = 67,688 D.A.

**\* Gastos de renta para los canales de datos a 9.6 Kbps:**

39 estaciones X 1 canal de datos = 39 canales de datos

Renta de mensual de 39 canales de datos

39 X \$ 2,885 = \$112,515

Renta anual para 39 canales de datos:

39 X \$ 2,885 X 12 meses = \$ 1,350,180 = 168,772 D.A.

Por lo tanto, el costo a 10 años de 39 canales de datos a 9.6 Kbps es de:

39 X \$ 2,885 X 12 meses X 10 años = \$ 13,501,800 = 1,687,720 D.A.

**\* Gastos de renta para los canales de datos a 64 Kbps:**

4 estaciones X 1 canal de datos = 4 canales de datos

Renta de mensual de 4 canales de datos

4 X \$ 13,196 = \$52,784

Renta anual para 4 canales de datos:

4 X \$ 52,784 X 12 meses = \$ 633,408 = 79,176 D.A.

Por lo tanto, el costo a 10 años de 4 canales de datos a 64 Kbps es de:

4 X \$ 52,784 X 12 meses X 10 años = \$ 6,334,082 = 791,760 D.A.

**\* Gastos de renta para los canales de voz a 19.2 Kbps:**

43 estaciones X 2 canales de voz = 86 canales de voz

Renta mensual de 86 canales de voz

86 X \$ 5,200 = \$ 447,200

Renta anual de 86 canales de voz

86 canales de voz X \$ 5,200 X 12 meses = \$ 5,366,400 = 670,800 D.A.

Por lo tanto, el costo a 10 años de 86 canales de voz es de:

86 X \$ 5,200 X 12 meses X 10 años = \$ 53,664,000 = 6,708,000 D.A.

**\* Costos por concepto de operación para 10 años 75,000 D.A.**

**\* Costos por concepto de equipo de medición para 10 años 20,250 D.A.**

### 5.2.3 Comparación de costos. Sistema adquirido por PEMEX contra servicios rentados a TELMEX.

A continuación presentamos en la tabla 5.c. una comparación de costos acumulados en dólares americanos por año entre los servicios proporcionados por TELMEX, y los costos por adquisición de la red por parte de PEMEX; haciendo la observación que el año 0 es la inversión inicial y los años subsiguientes son una estimación del costo para cada caso, tomando en consideración los costos a valor presente neto; así mismo, se presenta en la tabla 5.d. una consignación de costos globales a 10 años.

**Tabla 5.c.**  
Costos acumulados en 10 años para los servicios proporcionados por TELMEX, y los costos por adquisición por PEMEX.

AÑO	TELMEX costos acumulados (D.A.)	Sistema adquirido por PEMEX costos acumulados (D.A.)
0	67,888	2,750,000
1	996,161	2,988,256
2	1,924,434	3,226,512
3	2,852,707	3,464,768
4	3,780,980	3,703,024
5	4,709,253	3,941,280
6	5,631,256	4,179,536
7	6,565,799	4,417,792
8	7,494,072	4,656,048
9	8,422,345	4,894,304
10	9,356,618	5,132,560

**Tabla 5.d.**  
Comparación de costos globales a 10 años entre los servicios rentados a TELMEX y los de adquisición de PEMEX ( Dólares americanos ).

Concepto	Costos de los servicios rentados a TELMEX	Costos del sistema adquirido por PEMEX
Equipo de comunicaciones	67,888	2,750,000
Renta de servicios	9,187,480	00000000
Renta de segmento espacial	Incluido	1,726,560
Operación	75,000	300,000
Equipo de medición	20,250	81,000
Refacciones	Incluido	275,000
<b>TOTAL</b>	<b>9,356,618</b>	<b>5,132,560</b>

Miles de Dolares

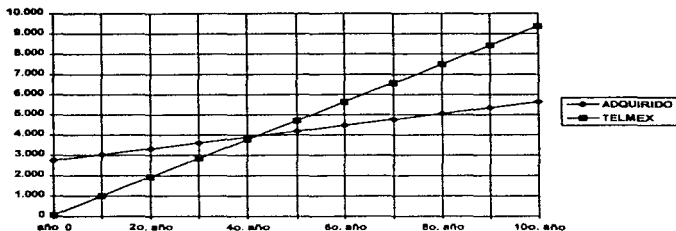


Fig. 5.1 Comparación de costos entre los servicios rentados a TELMEX y los de adquisición de la red por parte de PEMEX.

La gráfica de la figura 5.1 nos revela que el punto de balance se encuentra al cuarto año de operación; lo que indica que a partir del cuarto año resulta más rentable trabajar con infraestructura propia, que rentar los servicios. Es decir aunque el costo de la inversión inicial sea sumamente elevado es más conveniente para PEMEX hacer la adquisición de su propio sistema; ya que la contratación y mantenimiento de los servicios por parte de TELMEX en un inicio resultan bajos los costos, pero conforme avanzan los años la tendencia de los costos de la renta de los servicios es a la alza.

Por otra parte PEMEX obtiene enormes ventajas al contar con un sistema propio; por ejemplo, la de contar con estaciones con mayor capacidad de servicios y poder tener la capacidad de expansión y mayor cobertura dentro del territorio nacional. Lo que implica un aspecto muy importante para la empresa al tener el control total y absoluto de sus sistemas y no tener la dependencia de terceros.

Caso contrario con TELMEX la adición de un nuevo servicio, o de nuevas estaciones genera costos adicionales muy elevados que se reflejan en las rentas de los servicios, lo cual es una limitante para PEMEX ya que se contempla a futuro incrementar los servicios de datos de las terminales de almacenamiento y distribución; pero al contar PEMEX con su propio sistema satelital esto no es ningún inconveniente, ya que con un estudio previo se puede solicitar a Telecomunicaciones de México mayor ancho de banda para poder resolver esta situación, y así poder satisfacer las exigencias de la institución con mas y mejores servicios.

#### **5.2.4 Conclusiones del análisis de costos.**

Como resultado del estudio económico se concluye que, la adquisición de los servicios de comunicación de la red a través de la renta a terceros y su crecimiento futuro, resulta muy costosa independientemente de que el costo de la inversión inicial sea muy bajo. Aunado a todo lo anterior, al tener dependencia de terceros en sistemas de la institución, se corre el riesgo de tener cortes en los servicios por situaciones de conflicto en TELMEX; por lo que esta opción no es recomendable; además de que no se tendría capacidad de crecimiento.

Estas características no son recomendables para PEMEX, debido a que la empresa se encuentra en una etapa de cambios continuos que seguramente modificarán la configuración del sistema para cumplir con las necesidades de la nueva estructura, y además con los sistemas de comunicaciones adquiridos por la institución se tiene un control total y absoluto de la operación y mantenimiento de los mismos.

### **5.3 Evaluación técnica del sistema.**

Para la evaluación técnica del sistema, recordemos que en el capítulo dos estudiamos diferentes sistemas de comunicación con sus ventajas y desventajas para posteriormente elegir uno de ellos; fue así, que la elección del sistema de comunicaciones vía satélite se hizo cumpliendo con las apremiantes necesidades de la empresa, tomando en consideración que el sistema a elegir debía cumplir con aspectos muy precisos como:

- La cobertura del sistema, el cual debe proporcionar servicios de comunicación a diversos puntos, los cuales están muy alejados entre si dentro del territorio nacional; puntos que por su ubicación geográfica son de importancia para la institución. Así como también comunicar sitios de difícil acceso.
- La viabilidad del sistema desde el punto de vista económico y técnico.
- Interconexión entre todos los puntos.
- El tiempo de instalación del sistema deberá ser corto.
- El sistema debe tener capacidad de expansión.
- La calidad y privacidad en los servicios deben ser máximos.
- Debe cumplir con la cualidad de tener flexibilidad y agilidad a cambios de configuración.

Tomando como referencia los aspectos anteriores podemos efectuar la evaluación técnica del sistema.

A continuación presentamos la justificación de la comunicación vía satélite como solución a las demandas de la empresa, y su integración a la infraestructura de telecomunicaciones institucional:

- Se establece una red de comunicación vía satélite, que junto con la red actual de microondas terrestres, y los enlaces locales de fibra óptica conformen un sistema de amplia cobertura nacional, de alta calidad y continuidad para el servicio de PEMEX.
- Se proporciona comunicación de voz y datos a brigadas de exploración, a terminales de recibo y distribución y terminales marítimas y a otras instalaciones que actualmente no cuenten con servicios de comunicación o que se encuentren en proyecto.



- PEMEX posee diversas instalaciones que por su importancia en la producción y riesgo en sus actividades, requieren de una alta confiabilidad y calidad de sus servicios de comunicación; el sistema de comunicación vía satélite se presenta como un sistema de respaldo para los servicios de comunicación que proporciona el sistema terrestre de microondas digitales a tan importantes instalaciones.
- Se presenta la posibilidad de adquirir un equipo móvil, el cual puede proporcionar comunicación de voz y datos en situaciones de emergencia, en forma oportuna y eficiente en cualquier lugar de la república mexicana.
- Por ultimo podemos decir que el tiempo de instalación de la red via satélite está entre los mas cortos en comparación de los demás sistemas.
- Por lo que respecta a la técnica de acceso al satélite, la tecnología TDMA es una técnica de comprobada flexibilidad con la cual se puede visualizar mas claramente la solución a presente y a futuro, que satisfaga las necesidades de PEMEX, tomando en cuenta la situación actual.
- Por su gran flexibilidad la técnica TDMA permite hacer cambios de configuración de manera ágil en la topología de la red, lo cual presenta enormes ventajas, ya que no es posible prever la configuración de la red que satisfaga las nuevas necesidades derivadas de la nueva estructura de la empresa, razón por la cual se debe implantar un sistema que esté preparado para adaptarse a cambios no previstos.
- Con el uso de la técnica TDMA en la red, se optimiza el uso del segmento espacial aunado a la operación en DAMA y compresión de voz.
- Presenta gran capacidad de crecimiento a nivel de sistema debido al salto de portadora.
- Se pueden adicionar al sistema nuevas estaciones, así como incrementar el número y velocidad de los servicios; lo cual se ve reflejado en una mayor cobertura del sistema y en las ventajas económicas como vimos en su momento.

# Conclusiones generales

Las telecomunicaciones dentro de cualquier empresa, son parte medular para su adecuado desempeño. El manejo de la información que se lleva a cabo dentro y fuera de ella, en forma eficiente y rápida, proporciona bases firmes para la toma de decisiones desde los altos niveles administrativos hasta los niveles operativos dentro del proceso de producción.

El avance hacia la modernización obliga a las empresas de toda índole a buscar la rentabilidad como objetivo principal. Para alcanzar este objetivo las tecnologías idóneas se presentan en este caso en el intercambio de información, lo cual es muy importante para el proceso de toma de decisiones.

PEMEX es una de estas empresas que necesita contar con información oportuna y confiable para que el proceso de toma de decisiones sea exitoso, por lo que es necesario fortalecer los sistemas de comunicaciones que integran la red privada de la empresa; para así poder brindar mas y mejores productos para consumo interno y de exportación.

PEMEX al poseer diversas instalaciones a lo largo y ancho del territorio nacional, y que por su importancia en la producción y riesgo en sus actividades, requieren de una alta confiabilidad y calidad de sus servicios de comunicación. El sistema de comunicaciones vía satélite se presenta como la solución ante estas necesidades; así mismo soluciona las demandas de las instalaciones que carecen de los servicios de comunicación, o que se encuentran en proyecto como una solución de bajo costo.

Al integrarse el sistema de comunicación vía satélite a los sistemas privados de la institución, se establece un sistema de amplia cobertura nacional, de alta calidad y continuidad para el servicio de PEMEX.

Así mismo el sistema vía satélite se presenta también como un sistema de respaldo para los servicios que proporciona el sistema terrestre de microondas digital, al menos en los puntos de cruce de los mismos.

La red satelital presenta enormes ventajas en comparación a otros sistemas al operar con tecnología TDMA , ya que por su flexibilidad permite ofrecer la solución a requerimientos actuales y permite crecimientos a futuro para la dinámica de PEMEX.

Es así que la tecnología TDMA permite hacer cambios de configuración de manera ágil en la topología de la red, lo que nos permite estar preparados para adaptarnos a cambios futuros.

Al utilizar el recurso espacial como vía de transporte de las señales se hace de vital importancia optimizar y utilizar adecuadamente este recurso; de tal manera con el uso de la técnica TDMA en la red, se optimiza el uso del segmento espacial aunado a la operación en DAMA y compresión de voz. El sistema al proporcionar estas ventajas puede incorporar nuevas estaciones, así como modificar el número y velocidad de los servicios; lo cual se ve reflejado en una mayor cobertura del sistema, y en las ventajas económicas al tener el control total y absoluto de la operación y mantenimiento de estos.

De tal forma el objetivo de esta tesis fue la de presentar la metodología para implementar una red nacional de comunicación de voz y datos via satélite. Aplicado como solución de las necesidades de una empresa de gran magnitud como lo es PEMEX dando buenos resultados.

En el manejo de información, siempre ha sido estudiada la manera de facilitar su transportación, manteniéndola íntegra y oportuna, intentando evitar vicios de estancamiento. Es por ello que las empresas han empezado a investigar la implementación de tecnologías que satisfagan sus necesidades de información.

Aquella empresa que tenga los recursos para obtener tecnologías avanzadas, debe primero hacer un estudio de lo que realmente necesita; si planea crecer a futuro, cuales serian los requerimientos inmediatos y a futuro y cuales serian las alternativas de solución.

# Bibliografía

- \* **Las telecomunicaciones en Petróleos Mexicanos. 50 Aniversario**
- \* **Curso de Telecomunicaciones Digitales \*. D.G.S.C.A. U.N.A.M.  
Septiembre de 1993.**
- \* **Satellite Communications Engineering**  
Miya, Kenichi  
Edit. Lattice Co.
- \* **Telecommunications Transmission Systems**  
Winch, Robert G.  
Edit. Mc Graw Hill  
1a. Edición  
Nueva York, E.U.A. 1993
- \* **Satélites de Comunicaciones**  
Neri Vela, Rodolfo  
Edit. Mc Graw Hill  
1a. Edición  
México, 1989
- \* **Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones**  
Freeman, Roger L.  
Edit. Limusa  
1a. Edición  
México, 1989

\* **Redes de computadoras. Protocolos, Normas e Interfaces**

**Uyless Black**

**Edit. Macrobit Editores, S.A. de C.V.**

**México, 1991**

\* **Introduction to teletraffic engineering**

**Ramses R. Mina.**

