



44  
Zejen  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE  
COMUNICACIONES DIGITALES ENTRE UNA  
UNIDAD DE PROCESO DE COMPUTO Y TRES  
UNIDADES TRANSMISORAS REMOTAS (UTR)**

**FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA ELECTRICA ELECTRONICA**

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

**JOSE EDUARDO CANSECO GARCIA  
GABRIEL ESCALONA SEGURA  
IBRAHIM OMAR JANNER GUADARRAMA RIVAS  
MARIO ANTONIO PALOMARES NOGALES**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. ERNESTO SUAREZ SPORT**



**MEXICO, D. F., CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1995**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por haber abierto sus puertas a través de su Facultad de Ingeniería, brindándonos la oportunidad de adquirir los conocimientos que nos han formado, a través del mundo de la Ingeniería.*

*Un reconocimiento especial al Ingeniero Ernesto Suárez Sport, al Ingeniero Humberto Flores González y al Ingeniero José Luis Legorreta García, que nos dieron su apoyo para la realización de este trabajo, y que con su orientación nos condujeron a obtener los mejores resultados.*

*A nuestros profesores y a todos aquellos que con su vocación de servicio nos dedicaron parte de su tiempo y las experiencias que nos transmitieron.*

*A nuestros compañeros y amigos que en su momento nos respaldaron de alguna forma.*

*Eduardo  
Gabriel  
Mario  
Omar*

*A Dios:*

*Que con su infinita sabiduría iluminó mi camino y me dió unos padres maravillosos.*

*A mis padres:*

*Eduardo y Natividad que con sacrificios y mucho amor hicieron de mi lo que hoy soy.*

*A mis hermanos:*

*Leonel y Malena que me brindaron su apoyo siempre.*

*A mis amigos y compañeros:*

*Mario, Omar y Gabriel que con su esfuerzo y apoyo se logró realizar este trabajo.*

*A mi amiga Marisol:*

*Gracias por tu amistad y apoyo.*

*A mi amiga Ma. De La Luz:*

*Gracias por tu amistad y comprensión que ultimamente de ti he recibido.*

*José Eduardo Canseco García*

*A la memoria de mi madre:*

*Petra Segura García*

*Siempre te guardaré en mis pensamientos, por lo que dejaste en mí,  
gracias por los enormes esfuerzos que hiciste.*

*A mi padre:*

*Amansio Escalona y Castillo*

*Por brindarme su apoyo, impulso, interés partidario y por todo lo  
que de alguna forma he aprendido.*

*A mis hermanos:*

*Joaquín, Héctor, Sergio, Griselda, Amado y Alejandra*

*Por su respaldo y motivación.*

*A mi numerosa familia:*

*Por sus alicientes incondicionales.*

*A todos aquellos que hoy no están y que dejaron una huella en mi  
vida.*

*Gabriel Escalona Segura*

*A mis padres:*

*Laudino Guadarrama López*

*Margarita Rivas De Guadarrama*

*Porque con su esfuerzo, apoyo y dedicación logré  
alcanzar una de mis más grandes metas.*

*A mis tíos:*

*Ing. Eduardo Guadarrama López*

*Enf. Emma Rivas P.*

*Profr. Hilda Rivas de G.*

*Téc. en Citología Judith Rivas P.*

*Profra Ma. Magdalena Rivas P.*

*Enf. Guillermina Rivas P.*

*Por su interés y respaldo a lo largo de mis estudios.*

*A mi hermana:*

*Nelly Gabriela*

*Por su apoyo moral durante mi carrera.*

*A mis primos:*

*Joaquín, Iván, Karina, Hiram, Maida y Albania*

*Por haber estado conmigo siempre.*

*A mis abuelos:*

*Enrique Rivas Letina*

*Sara Padilla de Rivas*

*Por su cariño e interés que me han brindado.*

*Ibrahim Omar Janner Guadarrama Rivas.*

*A mi madre.*

*Guadalupe.*

*La mujer que me dio la vida y me enseñó a vencer cualquier obstáculo en la vida.*

*A mis tíos.*

*Angel, Margarita, Ernestina, José, Manuel, Felipe.*

*Les agradezco su apoyo, que tuve siempre cuando los necesite.*

*A mis primos.*

*Fernando, Guadalupe, Guisela, Rafael, Gloria, Rosaura*

*Les agradezco por su apoyo y motivación para lograr llegar hasta aquí.*

*A mi mejor amigo.*

*Anselmo.*

*Por que fué y ha sido una parte importante en mi vida y se que sin su apoyo no estaría aquí.*

*A mi novia y mejor amiga.*

*Diana.*

*Le agradezco por ayudarme en los momentos difíciles por los que pase, alentándome siempre a seguir.*

*Mario Antonio Palomares Nogales.*

# Indice

<b>Introducción.....</b>	<b>IX</b>
<b>I Requerimientos de un sistema de comunicaciones. ....</b>	<b>1</b>
I.1 Ubicación Geográfica.....	1
I.2 Condiciones Atmosféricas.....	2
I.3 Determinación de Frecuencia.....	3
I.3.1 Nomenclatura de las bandas de frecuencias.....	3
y de las longitudes de onda empleadas en las radiocomunicaciones.....	3
I.3.2 Denominación de las emisiones.....	4
I.3.2.1 Sección I Ancho de banda necesario.....	4
I.3.2.2 Sección II Clases.....	4
I.3.3 Características técnicas de las estaciones.....	5
I.3.4 Reglas generales para la asignación de frecuencias.....	5
I.3.5 Atribución de bandas de frecuencia.....	6
I.4 Selección del medio de transmisión.....	7
I.4.1 Par trenzado.....	7
I.4.2 Cable Coaxial.....	9
I.4.3 Comunicación óptica.....	11
I.4.3.1 Fibra Óptica.....	11
I.4.4 Sistemas de radio.....	14
<b>II Teoría de comunicaciones. ....</b>	<b>15</b>
II.1 Elementos de un sistema de comunicación.....	15
II.1.1 Elementos funcionales.....	15
II.1.2 Contaminaciones.....	16
II.1.3 Subsistemas de comunicación.....	16
II.1.4 Sistemas multiplex.....	18
II.2 Modulación.....	22
II.2.1 Causas por las cuales se modula.....	22
II.2.2 Tipos de Modulación.....	23
II.2.3 Modulación Analógica.....	24
II.2.4 Modulación en amplitud.....	24
II.2.5 Modulación por pulsos.....	28
II.2.6 Comparación entre los métodos de modulación analógica.....	28
II.2.7 Modulación Digital.....	29
II.2.8 Comparación de los métodos de modulación digital.....	31
II.2.9 Técnica Spread Spectrum.....	32
II.3 Tipos de Transmisión.....	33
II.3.1 Transmisión serie y paralelo.....	33
II.3.2 Protocolos e Interfases.....	34
II.3.2.1 Elementos de un protocolo.....	34
II.3.2.2 Clasificación de protocolos.....	35

<b>III Análisis de los tipos de enlaces.....</b>	<b>36</b>
III.1 Radiación y propagación de radio-ondas.....	36
III.1.1 Inducción y radiación.....	36
III.1.2 ¿Por qué una antena irradia?.....	36
III.1.3 Recepción.....	37
III.1.4 Longitud de onda y frecuencia.....	37
III.1.5 Polarización.....	37
III.1.6 Reflexión.....	37
III.1.7 Refracción.....	38
III.1.8 Difracción.....	38
III.1.9 Zona de sombra.....	39
III.1.10 Índice de intensidad para el campo de radiación.....	39
III.1.11 Recorrido de las ondas de radio.....	39
III.1.11.1 Ondas de tierra.....	40
III.1.11.2 Ondas de espacio.....	40
III.1.12 Refracción y reflexión en la troposfera.....	40
III.1.13 Ondas ionosféricas.....	41
III.1.14 Capas ionosféricas.....	41
III.1.15 Absorción.....	42
III.1.16 Frecuencia crítica.....	43
III.1.17 Variaciones normales en la ionosfera.....	43
III.1.18 Variaciones diurnas en la ionosfera.....	43
III.1.19 Ciclo solar rotacional.....	43
III.1.20 Variaciones geográficas.....	43
III.1.21 Absorción excesivamente prolongada.....	44
III.1.22 Desvanecimiento (fading).....	44
III.1.22.1 Desvanecimiento por absorción.....	44
III.1.22.2 Desvanecimiento por saltos.....	44
III.1.22.3 Desvanecimiento por interferencia.....	44
III.1.23 Atenuación.....	45
III.1.24 Antenas.....	46
III.1.24.1 Clasificación de las antenas.....	47
III.1.24.2 Parámetros de las antenas.....	47
III.2 Características de las bandas de frecuencia.....	49
III.3 Análisis de los enlaces.....	55
III.3.1 Introducción.....	55
III.3.2 Enlaces satelitales.....	55
III.3.2.1 Estaciones terrenas.....	56
III.3.2.2 Órbitas.....	58
III.3.2.3 Desventajas de un sistema satelital.....	60
III.3.2.4 Conclusión.....	61
III.3.3 Microondas.....	62
III.3.3.1 Microondas (SHF).....	62
III.3.3.3 Interferencia de radiofrecuencia (IRF).....	63
III.3.3.1.1 Consideración del ancho de banda.....	65
III.3.3.1.2 Conclusión.....	65
III.3.4 Radiomodems (UHF).....	66
III.3.4.1 Modems.....	66

III.3.4.2	Aplicaciones de radio-modems	68
III.3.4.3	Ventajas y desventajas	70
III.3.4.4	Conclusiones	71
<b>IV. Estudio comparativo de los diferentes equipos</b>		<b>72</b>
IV.1	Introducción	72
IV.2	Tipos de equipos existentes en el mercado	73
IV.2.1	Ultradata	73
IV.2.2	Airlink	75
IV.2.3	Ran (Radio Area Networks)	78
IV.2.4	DM2000	80
IV.3	Análisis costo-desempeño	82
IV.4	Selección del equipo	83
<b>V Implementación del enlace</b>		<b>84</b>
V.1	Diseño del enlace	84
V.1.1	Diseño del sistema de comunicación	85
V.1.1.1	Tipo de comunicación	85
V.1.1.2	Tipo de modulación	95
V.1.1.3	Selección del equipo a utilizar	85
V.1.2	Estudio de propagación	86
V.1.2.1	Curvatura de la tierra	86
V.1.2.2	Zonas de Fresnel	88
V.1.2.3	Punto de reflexión	90
V.2	Diseño de obra	91
V.2.1	Edificio para la estación	91
V.2.1.1	Planos arquitectónicos	91
V.2.1.2	Subsistemas que integran el edificio	92
V.2.2	Selección de la torre de transmisión	105
V.2.2.1	Ruta de enlace	105
V.2.2.2	Cálculo de la altura de las torres	106
V.2.3	Cálculo de ganancias	111
V.3	Pruebas	115
V.3.1	Pruebas al equipo de telecomunicaciones	115
V.3.2	Pruebas a la estación	116
V.3.3	Pruebas al enlace total	116
<b>Conclusiones</b>		<b>117</b>
<b>Apendice A</b>		<b>XII</b>
A.1	Interfaz RS232-C	XII
A.2	Nivel mecánico	XII
A.3	Niveles eléctricos y funcional	XIII
A.4	Análisis de las patillas del RS-232C	XIV
A.5	Interfaz V.35	XV
<b>Bibliografía</b>		<b>XVII</b>

---

## **Introducción.**

A lo largo de la industrialización en México, y la entrada de compañías maquiladoras de capital extranjero en la zona noroeste del país, durante los últimos 20 años, se ha hecho necesario el incrementar el suministro de energía eléctrica en dicha región. De esta manera la Comisión Federal de Electricidad (CFE) conciente de esta necesidad instalará una planta termoeléctrica capaz de satisfacer estas necesidades.

El proyecto esta basado primordialmente en los recursos naturales que ofrece el lugar, de esta manera se extraerá agua del Río Bravo y el Río Escondido respectivamente, por medio de plantas de bombeo las cuales tendrán que ser controladas desde la central termoeléctrica con el fin de mantener un flujo constante del liquido. Para la Comisión Federal de Electricidad surge entonces la necesidad de diseñar, encontrar o construir un medio de comunicación que permita establecer dicho contacto con las plantas de bombeo. Este mismo deberá ser el más adecuado a las condiciones generales de la región sin perder de vista un aspecto de vista importante, los costos de investigación, diseño e implementación.

Con el fin de contribuir en el proyecto de Comisión Federal de Electricidad por ofrecer una infraestructura atractiva para las industrias del país, así como satisfacer las necesidades de suministro eléctrico para la población de la zona noreste del país. El presente trabajo da una propuesta del sistema de comunicación a emplear, este mismo se tuvo cuidado fuera el más adecuado para las condiciones geográficas, atmosféricas y meteorológicas existentes, de igual manera se cuidó que fuera de fácil instalación, operación y mantenimiento, así como un costo total atractivo.

El trabajo se dividió en cinco capítulos. En el primero se exponen los conceptos básicos y generales de cualquier medio de transmisión de información, seleccionando de manera general el más adecuado a las necesidades del proyecto. En el segundo, se analizan los elementos que conforman a los sistemas de radiocomunicación así como sus diferentes tipos de transmisión. En el tercero se analiza la teoría de la radiación y propagación de señales de radio, de igual manera las alteraciones a que se ven sometidas debido a fenómenos geográficos, meteorológicos, atmosféricos, etc. También se someten a discusión y análisis los diferentes tipos de enlaces de radiocomunicación hasta encontrar el más adecuado a las necesidades del proyecto, seleccionando el tipo de enlace a utilizar. En el cuarto se analizan en particular cada uno de los sistemas de comunicación que se ofrecen en el mercado mexicano, seleccionando de ellos el que no únicamente pueda proporcionar una adecuada comunicación, además su adquisición, instalación y mantenimiento, deberán ser económicamente factibles. En el quinto y último capítulo se presenta el caso práctico, donde se evalúan las condiciones geográficas, atmosféricas, y se realiza el desarrollo matemático y las condiciones necesarias para implementar en su totalidad el enlace de datos.

Para este trabajo el concepto de diseñar un sistema de comunicaciones tiene un significado más práctico que teórico. Ya que se tendrá que manejar términos y definiciones. Las cuales no se encuentran disponibles en libros de texto, únicamente consultando manuales exclusivos de fabricantes y/o distribuidores. por lo cual una parte consiste en ponerla disponible en un solo documento, información técnica que se encuentra desperdigada o que no es de fácil acceso.

### **Antecedentes.**

La idea de realizar un estudio que contenga conceptos, definiciones, y manejos técnico del área, surge de la inquietud de un grupo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería por conocer el trabajo de campo

---

que es necesario realizar al diseñar e implementar un enlace de comunicaciones. El ingeniero no debe concretarse única y exclusivamente al diseño teórico y al proceso matemático propiamente dicho, deberá aplicar su criterio, conocimientos, y capacidad para implementar en su totalidad el proyecto.

De esta manera llega a conocimiento de la División de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Computación (DIEEC) departamento de electrónica y comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería -UNAM- el diseño y construcción de un sistema de comunicaciones, para la Comisión Federal de Electricidad, el cual deberá ser parte de un sistema de control de flujo de agua para una termoeléctrica, el proyecto fue dividido en tres partes, una parte es la de resolver las cuestiones de control, una segunda parte es la de asistir los problemas de software, dado que los datos serán manejados desde una computadora, y una tercera parte es la de intercomunicar el sistema de control con la computadora.

El primer paso a seguir fue el de hacer una visita a la región en particular, con objeto de conocer las condiciones imperantes, así como las características físicas del lugar. Posteriormente se inició una detallada documentación sobre el tema así como consultas y visitas periódicas a compañías y especialistas en el tema.

El interés de cuatro personas en un área hasta la fecha poco conocida, dio origen al desarrollo de la presente tesis, con el propósito de ofrecer a la comunidad de la Facultad de Ingeniería una guía sencilla, con descripción de cada paso necesario en la implementación de un enlace de comunicaciones.

#### **Objetivo:**

Diseñar, implementar y construir un sistema de comunicaciones digitales entre una unidad central y tres unidades de transmisión remota (UTR), para el control de abastecimiento de agua a la planta termoeléctrica. La implementación estará sujeta a la decisión de CFE.

Ofrecer una guía práctica sobre los pasos necesarios en la implementación de un sistema de comunicaciones.

Dar a conocer las marcas y modelos que se pueden encontrar disponibles en el país.

Poner disponible en un solo documento información técnica que se encuentra normalmente desperdigada o que no es de fácil acceso.

#### **Metodología.**

El trabajo que se presenta, se inició con una investigación que va de lo general a lo particular, considerando y cumpliendo los requerimientos definidos.

La investigación teórica se apoyó en literatura especializada (libros y revistas) catálogos especificaciones etc. Finalizando con la selección teórica del equipo a utilizar.

Una vez definido el tipo de enlace a utilizar, dio inicio la etapa de investigación de campo, la cual consistió básicamente en visitas a los diferentes fabricantes, distribuidores y compañías de venta e instalación de equipo de telecomunicaciones disponibles en México. Seleccionando de entre ello el adecuado para el proyecto.

---

La culminación del trabajo consiste en una guía sencilla de como implementar el enlace de comunicación. La cual se discutió durante largas sesiones de trabajo definiendo cual seria su estructura más adecuada, siempre con la asesoría de especialistas en la materia. Todas y cada una de las conclusiones a las que llegaron se presentan en esta tesis.

# Capítulo I

## **Requerimientos de un sistema de comunicaciones.**

Ubicación Geográfica

Condiciones Atmosféricas.

Determinación de Frecuencia.

Selección del medio de transmisión.

## I Requerimientos de un sistema de comunicaciones.

### I.1 Ubicación Geográfica.

En esta sección se describen las condiciones geográficas del lugar en donde se instalara el sistema de comunicaciones, se ha hecho de esta forma porque este es un factor importante como se explicara más adelante cuando se hable sobre la radiación de las emisiones; se describe además el clima y las características de la ubicación geográfica ya que son también de primordial importancia.

La central Termoeléctrica de Carbón II se encuentra localizada a la altura del kilómetro 31.6 de la carretera federal # 57 Piedras Negras-México dentro del municipio de Nava Coahuila, limitada por la central Río Escondido, carretera federal # 57 y el ejido La Saucedá del mismo municipio.

Sus terrenos son atravesados por la vía de Ferrocarriles Nacionales de México que enlaza la ciudad fronteriza de Piedras Negras con el interior del país. El aeropuerto local más cercano se localiza a 32 Km y es exclusivo para la navegación aérea de pequeña escala. La altura sobre el nivel del mar es de 305 m.

La central Termoeléctrica Carbón II formará parte de la región de generación termoeléctrica noreste a la cual entregará la energía a través de las líneas de transmisión de 400 KV. Lampazos I, Lampazos II, y un enlace con la subestación de Río Escondido en el mismo nivel de voltaje.

El proyecto cuenta con una capacidad total de 1,400,000 KW. en dos etapas de dos unidades de 350,000 KW. cada una y una generación anual posible de 10,300,000 MW/hora, (considerando un factor de planta de 0.84).

Como combustible se utilizará carbón sub-bituminoso<sup>1</sup> de flama larga no coquisable<sup>2</sup>, con altos porcentajes de materia volátil, cenizas y bajo contenido de azufre.

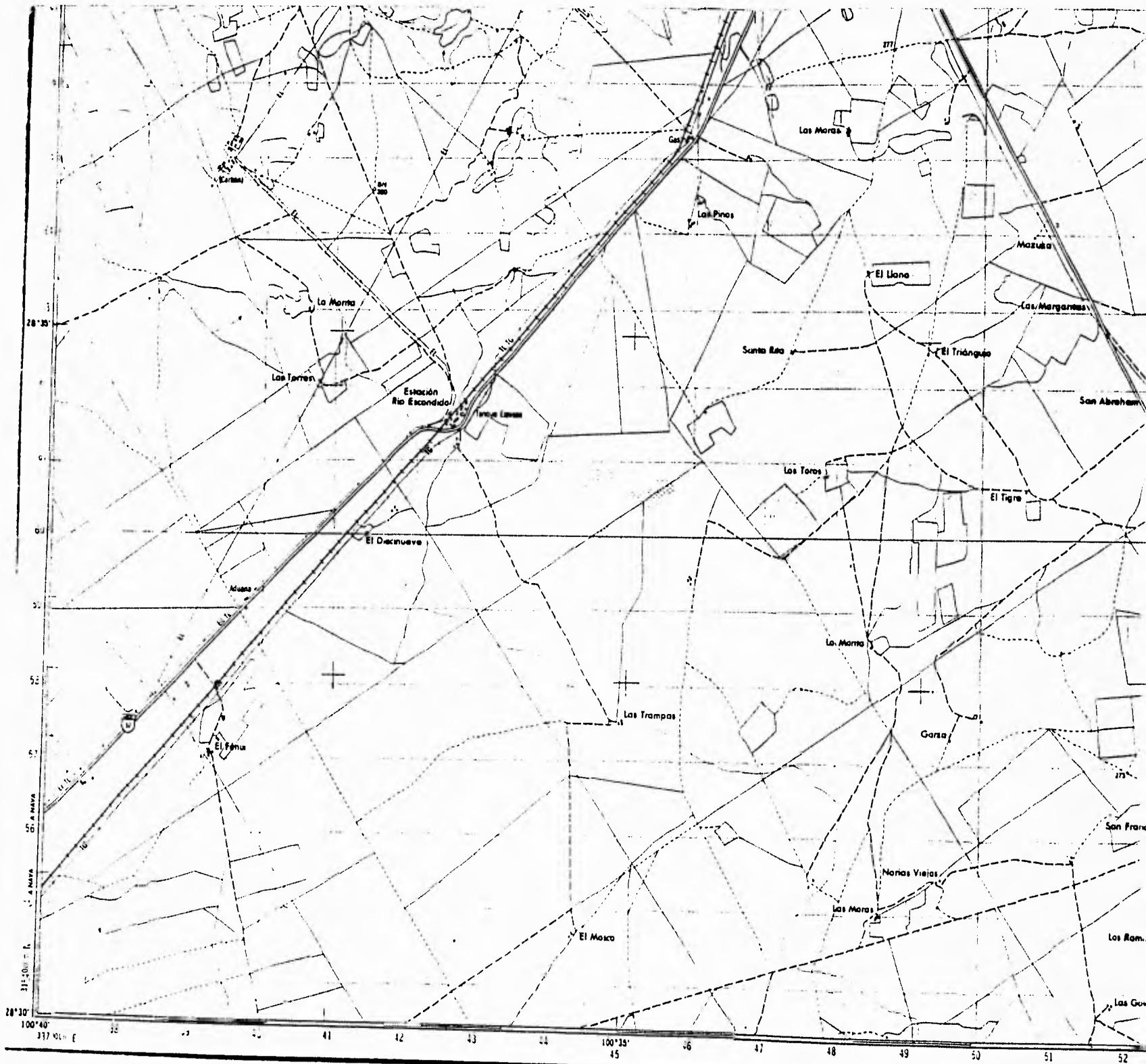
La central consumirá 14,000 toneladas diarias aproximadamente, mismas que serán suministradas tanto de Minera Carbonífera Río Escondido (MTCARE), mediante la explotación de sus minas 4, Tajo III, así como una cantidad de carbón que habrá de importarse. La ceniza volante<sup>3</sup> será colectada de los gases de combustión por medio de precipitadores electrostáticos para controlar la contaminación atmosférica, con una eficiencia del 99.3%.

*1 Sub-bituminoso, es una palabra compuesta por las palabras: sub que en este caso indica inferioridad, y la palabra bituminoso que es semejante al betún.*

*Las materias bituminosas pueden ser de tres: clases betunes naturales y asfalto; breas de petróleo y alquitranes y breas obtenidas por destilación de hulla y otras materias orgánicas*

*2 Coquisable, es el carbón mineral que se presta a la obtención de coque*

*3 Volante, pantalla de humo movable y ligera que despiden los volcanes*





## I.2- Condiciones Atmosféricas.

Características Meteorológicas observadas de 1976-1989.

Estación meteorológica	Temperatura °C		
	MAX	MED	MIN
Monclova	41.25	22.13	-0.05
Piedras Negras	41.18	21.37	-4.70
Saltillo	35.13	18.40	-3.41
Torreón	40.13	21.99	-0.69

Estación Meteorológica	Precipitación Anual (mm).	Porcentaje de humedad relativa-media
Monclova	390.05	55.5
Piedras Negras	533.77	65.7
Saltillo	310.93	59.7
Torreón	272.18	54.3

Características Climatológicas.

Años considerados 1983-1989.

Síntesis geográfica del estado de Coahuila.

La Provincia Fisiográfica	Tipo de Clima	Precipitación Anual (mm)	Temperatura Media-anual
Sierras y llanuras	Seco semicálido	100-400	18-22
Sierra madre	Seco semicálido Semiseco	300-500	13-22
Grandes Llanuras (Nava)	Templado semifrío Seco semicálido Semiseco semicálido	350-640	18-22

La Provincia a la cual pertenece el municipio de Nava Coahuila, presenta un rango predominante, el cual es la fuerte presencia de llanuras amplias y muy planas como la que se extiende desde Ciudad Anáhuac, Nuevo León, hasta Ciudad Acuña, Coahuila, abarcando la zona noreste del estado. Su altitud varía desde 200 a los 600 m sobre el nivel del mar.

Existe una pequeña porción de esta provincia que se localiza en las inmediaciones del poblado de Hidalgo, cerca de los límites con el estado de Nuevo León en la cual su altitud es menor de 200 m.

### 1.3 Determinación de Frecuencia.

De lo anterior se observa que la región se encuentra en los límites de México, muy cercano al territorio de Estados Unidos; por lo que debe tenerse atención al respecto, dado que la transmisión del lugar podría afectar al territorio de EU. Por otra parte, la determinación de la frecuencia es un factor importante que debe considerarse para el diseño de un sistema de comunicaciones y esta consideración debe hacerse en base al reglamento establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union, UIT), que es tomado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), para ser aplicadas en México, por ello se mencionarán más adelante algunos de los apartados de la UIT que se considerarán, para estar en normatividad con las legislaciones al respecto.

#### 1.3.1 Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en las radiocomunicaciones.

El espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencia, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con el siguiente cuadro. Dado que la unidad de frecuencias es el hertz (Hz), las frecuencias se expresan:

- en kilohertz (kHz) hasta 3 000 kHz, inclusive.
- en megahertz (MHz) por encima de 3 MHz hasta 3 000 MHz, inclusive.
- en gigahertz (GHz) por encima de 3 GHz hasta 3 000 GHz, inclusive.

Para las bandas de frecuencia por encima de 3 000 GHz, es decir, para las ondas centimétricas, micrométricas, y decimicrométricas, conviene utilizar el terahertz (THz). Sin embargo, siempre que la aplicación de esta disposición plantee graves dificultades, por ejemplo, en la notificación y registro de frecuencias y en cuestiones conexas, se podrán efectuar cambios razonables.

Número de banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 KHz a 30 KHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 KHz a 300 KHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 KHz a 3 000 KHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 MHz a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 MHz a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 MHz a 3000 Mhz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 GHz a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30 GHz a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300 GHz a 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	

En las relaciones entre las administraciones y la UIT no deberán utilizarse otras denominaciones, símbolos ni abreviaturas calificativas de las bandas de frecuencias distintas de las especificadas anteriormente.

### 1.3.2 Denominación de las emisiones

#### 1.3.2.1 Sección I Ancho de banda necesario.

Las emisiones se denominarán conforme al ancho de banda y su clase. El ancho de banda necesario, se expresará mediante tres cifras y una letra. La letra ocupará la posición de la coma decimal, representando la unidad del ancho de banda. Esta expresión no podrá comenzar por cero ni por K, M o G.

Sección I. Ancho de banda necesario.

El ancho de banda necesario<sup>1</sup>:

- entre 0,001 Hz y 999 Hz se expresará en Hz (letra H).
- entre 1,00 KHz y 999 KHz se expresará en KHz (letra K).
- entre 1,00 MHz y 999 MHz se expresará en MHz (letra M).
- entre 1,00 GHz y 999 GHz se expresará en GHz (letra G).

#### 1.3.2.2 Sección II Clases

Las emisiones se clasificarán y simbolizarán de acuerdo con sus características esenciales que se expondrán posteriormente, y opcionalmente con cualquier característica adicional, según lo establece la UIT en los reglamentos de comunicaciones.

Las características esenciales son:

- (1) primer símbolo - tipo de modulación de la portadora principal.
- (2) segundo símbolo - naturaleza de la señal (o señales) que modula(n) la portadora principal.
- (3) tercer símbolo - tipo de información que se va a transmitir.

La modulación puede no tomarse en cuenta si se utiliza solo durante cortos periodos y de manera incidental (por ejemplo, en casos tales como identificación o llamada) siempre que no aumente el ancho de banda necesaria indicada.

- |  |   |
|--|---|
| (1) primer símbolo - tipo de modulación de la portadora principal  |   |
| (1.1) Emisión de una portadora no modulada   | N |
| (1.2) Emisión en la cual la portadora principal está modulada en amplitud (incluidos los casos en que las subportadoras tengan modulación angular) |   |
| (1.2.1) Doble banda lateral  | A |
| (1.2.2) Banda lateral única, portadora completa  | H |
| (1.2.3) Banda lateral única, portadora reducida o de nivel variable  | R |
| (1.2.4) Banda lateral única, portadora suprimida   | J |
| (1.2.5) Bandas laterales independientes  | B |
| (1.2.6) Banda lateral residual   | C |

*Para mayor información sobre lo estipulado ver el artículo 4 de la UIT*

(2) segundo símbolo - naturaleza de la señal (o señales) que modula(n) la portadora principal	
(2.1) Ausencia de señal moduladora	0
(2.2) Un solo canal con información cuantificada o digital, sin utilizar una subportadora moduladora <sup>1</sup>	1
(2.3) Un solo canal con información cuantificada o digital, utilizando una subportadora moduladora <sup>1</sup>	2
(2.4) Un solo canal con información analógica	3
(2.5) Dos o más canales con información cuantificada o digital	7
(2.6) Dos o más canales con información analógica	8
(2.7) Sistema compuesto; con uno o más canales con información cuantificada o digital, junto con uno o más canales con información analógica	9
(2.8) Casos no previstos	X
(3) tercer símbolo - tipo de información que se va a transmitir <sup>2</sup>	
(3.1) Ausencia de información transmitida	N
(3.2) Telegrafía (para recepción acústica)	A
(3.3) Telegrafía (para recepción automática)	B
(3.4) Facsimil	C
(3.5) Transmisión de datos, telemedida, telexmando	D
(3.6) Telefonía (incluida la radiodifusión sonora)	E
(3.7) Televisión (video)	F
(3.8) Combinaciones de los procedimientos anteriores	W
(3.9) Casos no previstos	X

### 1.3.3 Características técnicas de las estaciones.

La elección y el funcionamiento de los aparatos y dispositivos que deberán de utilizarse en una estación, para cualesquiera de sus emisiones, se hará de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento de la UIT. Asimismo, siempre que sea compatible con las consideraciones de orden práctico, la elección de los aparatos y dispositivos de emisión, recepción y medida, se hará teniendo en cuenta los últimos progresos de la técnica, propugnados, entre otros documentos, en las recomendaciones del Comité Consultivo Internacional de Radiofrecuencias (CCIR).

### 1.3.4 Reglas generales para la asignación de frecuencias.

Los miembros procurarán limitar el número de frecuencias y la extensión del espectro utilizado al mínimo indispensable para asegurar el funcionamiento satisfactorio de los servicios necesarios. A tales fines, se esforzarán por aplicar, a la mayor brevedad, los adelantos técnicos más recientes.

Los Miembros se comprometen a atenerse a las prescripciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, así como a las demás disposiciones del reglamento de la UIT, al asignar frecuencias a las estaciones que puedan causar interferencias perjudiciales a los servicios efectuados por las estaciones de los demás países.

*1 Se excluye la multiplexión por distribución en el tiempo.*

*2 En esta sección, la palabra "información" no incluye información de naturaleza constante e invariable como la que proporcionan las emisiones de frecuencias patrón, radres de onda continua o de impulsos, etc.*

### 1.3.5 Atribución de bandas de frecuencia.

#### Regiones y Zonas.

Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, se ha dividido el mundo en tres Regiones indicadas en el siguiente mapa.

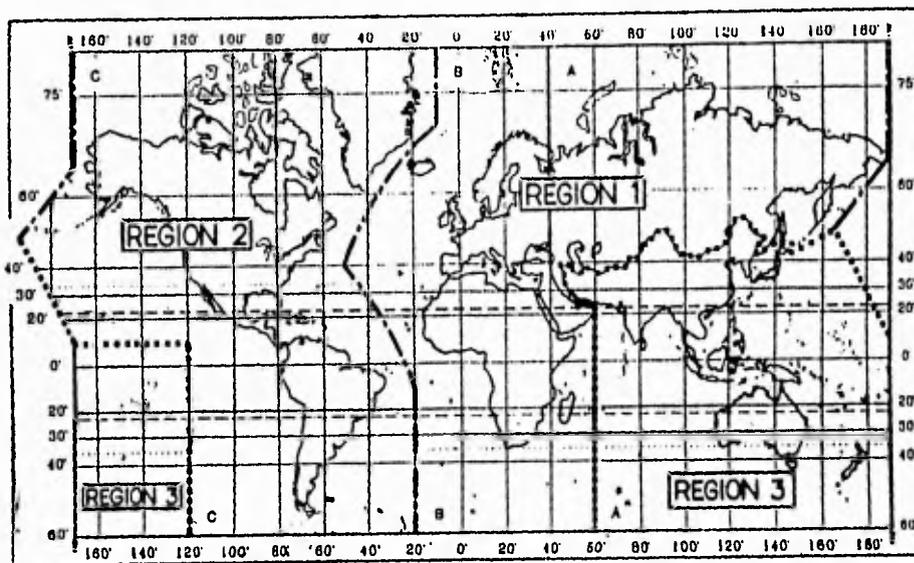


Figura 1.1 La parte sombreada representa la Zona Tropical

Se tratará únicamente de la región 2 debido a que en ésta es donde se desarrolla el presente estudio. La región 2 comprende la zona limitada al Este por la línea B y al Oeste por la línea C.

La línea B parte del Polo Norte, sigue el meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; Continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 20° Oeste hasta el Polo Sur.

La línea C parte del Polo Norte, sigue el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65°30' Norte con el límite internacional en el estrecho de Bering; continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 165° Este de Greenwich con el paralelo 50° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continúa por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste, por el meridiano 120° Oeste hasta el Polo Sur.

## 1.4 Selección del medio de transmisión.

Las señales portadoras de mensajes se transmiten a través de una distancia empleando una diversidad de medios de transmisión que van desde un par de alambres, fibras ópticas hasta radioenlaces, dependiendo de la distancia a recorrer por la señal y a su naturaleza. Una señal eléctrica es una forma de onda electromagnética de cierta frecuencia y longitud de onda. Así, una señal telegráfica, una señal de radio difusión y un rayo de luz del sol, de una estrella o un láser, todos son formas de energía electromagnética de diferentes frecuencias. Numerosas bandas de frecuencia del espectro electromagnético se asignan a tipos específicos de comunicación. Para cada banda, se necesita utilizar un medio de transmisión apropiado al rango de frecuencias. Lo que a continuación se presenta es una breve discusión relativa a diferentes medios de transmisión que se encuentran en la práctica.

### 1.4.1. Par trenzado.

Es el medio de transmisión más usado para la transmisión de información (voz), consiste en un par de alambres de cobre los cuales están aislados y entrelazados en forma helicoidal, el trenzado del cable se realiza para minimizar la interferencia electromagnética entre sus pares cercanos (dos pares paralelos forman una antena, mientras que un par trenzado no). El espesor que éstos tienen por lo general es de 1 mm y su aislante es comúnmente coloreado para su rápida identificación. También el ancho de banda que éste tendrá estará relacionado con el espesor del cable.

El campo de utilización de este tipo de medio puede cubrir las aplicaciones que generen tanto información en forma digital como analógica, sin embargo es éste último para el que fue originalmente diseñado. Muchos de los sistemas telefónicos actuales están operando con par-trenzado para conectar el teléfono casero a la central de teléfonos, otra aplicación en donde es muy usado es la interconexión de edificios, en donde las oficinas de ambos se tienen que conectar con un conmutador en común. La transmisión de señales digitales sobre este tipo de medio está un poco más limitada, por ejemplo velocidades de 64 Kbps (telefonía digital) serán fácilmente transportadas (más altas velocidades se pueden manejar sólo en distancias menores), existen también aplicaciones que operan a 4, 10, 16 e incluso a los 100 Mbps sobre par trenzado (nivel 5). ¿Son éstas bajas velocidades?. Lo que sucede es que no solamente existe una clase de pares trenzados, estos se dividen en:

- a)- Par trenzado protegido.
- b)- Par trenzado no protegido.

**Par Trenzado Protegido-** (Shielded Twisted Pair STP) En este, los cables están trenzados de igual manera que los anteriores, sólo que la diferencia ahora reside en que, en cada par o cada grupo de cuatro pares, tienen una protección contra interferencias, que bien puede ser en forma de un trenzado metálico o bien una cubierta de aluminio, además de eso tiene un elemento de tensión que les permite una mayor protección al ser instalados. Un problema que tienen este tipo de cables es que conforme se aumenta la protección contra interferencias, es mayor el costo de estos.

**Par Trenzado no Protegido-** (Unshielded Twisted Pair UTP) Este tipo de cable es más sencillo ya que solamente existe el trenzado y una cubierta exterior de polietileno la cual no provee ninguna barrera contra interferencias. El costo de éste cable es bastante accesible y está restringido para áreas que no presenten interferencias. Son idénticos a los usados en telefonía.

Muchos equipos están trabajando actualmente sobre cable UTP ya que es más económico, solo que en algunos casos el ahorro que ahí se tiene es el gasto que se tiene que pagar en el equipo utilizado (en algunos casos este equipo es más caro). Las áreas de instalación para este tipo de cables está restringido a los pisos de los edificios. Si existe una gran cantidad de terminales en cada piso, se instala UTP y entre los pisos se utiliza otro tipo de medio de transmisión menos vulnerable a interferencias (Cable tipo STP). Dentro de la clasificación de los STP existen alternativas las cuales han sido propuestas por IBM y están relacionadas con las características del cable. En la siguiente tabla tenemos algunos de los tipos de cables STP más comúnmente utilizados.

TIPO DE CABLE	APLICACIÓN
<p><b>Cable de datos TIPO 1</b> Formado por 2 pares de cobre sólido calibre 22 AWG, con aislamiento individual de Polietileno espumado. Cada par está blindado individualmente con una cinta de aluminio y el conjunto lleva una malla de alambres de cobre estañado. La cubierta externa es de PVC no flamable.</p>	<p>Interconexión de terminales de trabajo y paneles de distribución. Este cable está diseñado específicamente para la transmisión de datos y es utilizado para sistemas de cableado IBM.</p>
<p><b>Cable de datos TIPO 2.</b> Cable para voz/datos formado por un cable tipo 1 y 4 pares de cobre sólido, calibre 22 AWG con aislamiento individual de Polietileno sólido reunidos todos bajo una sola cubierta externa de PVC. Estos últimos se encuentran colocados entre la malla de cobre y la cubierta externa.</p>	<p>Interconexión entre terminales de trabajo y paneles de distribución para manejar voz y datos en forma de pares integrados, se aplica mucho en sistemas IBM.</p>
<p><b>Cable de datos TIPO 6.</b> Cable de datos formado por 2 pares torcidos helicoidalmente de cobre, con calibre 26 AWG (4 hilos), aislados individualmente con Polietileno. Cada par está blindado con una cinta de aluminio y en conjunto lleva una malla de cobre estañado. La cubierta es de PVC.</p>	

Tabla 1.1 Características del cable STP.

Los cables UTP ( Unshielded Twister Pair), se clasifican de acuerdo a las aplicaciones que tienen, particularmente a la velocidad de transmisión que manejan

Se denomina "nivel de UTP" a la categoría de cable, de acuerdo a su velocidad de transmisión máxima. El cable UTP es el más utilizado en redes tipo LAN y se utiliza también en cableados estructurados para voz y datos.

En forma general tenemos que las características y aplicaciones de cable UTP<sup>1</sup> son las siguientes:

Nivel	EIA/TIA TSB-36	NEMA WC63	APLICACIÓN TÍPICA
Nivel 1	No Especificada	No Especificada	Transmisión Analógica y digital de voz
Nivel 2	No Especificada	No Especificada	4 Mbps en Token Ring IBM 3270, 3X AS/400 ISDN
Nivel 3	Categoría 3	100-24-STD Estándard	4 Mbps en Token Ring 10 Base-T
Nivel 4 Multi-Lan	Categoría 4 Estándard	100-24-LL	16 Mbps en Token Ring 10 Base-T
Nivel 5 Multi-Lan Plus	Categoría 5	100-24-XF Frecuencia Extendida	16 Mbps en Token Ring 10 Base-T 100 Mbps TPDDI (Propuesta)

Tabla 1.2 Características del cable UTP.

#### 1.4.2 Cable Coaxial.

Los problemas que presenta la utilización de Par trenzado limita nuestras aplicaciones debido a la poca capacidad de transmitir información a grandes distancias y velocidades. Por esta razón surgió la necesidad de crear un nuevo tipo de cable que nos permitiera un mayor ancho de banda y una mayor distancia entre repetidores, fue entonces que se creó el cable coaxial, éste en su forma básica consiste en un alambre central de cobre sólido y una malla circular de cobre muchas veces estañada, entre estos dos elementos existe un aislante y recubriendo la malla se encuentra la cubierta externa. En la figura 1.1 se muestra la estructura física del cable coaxial.

<sup>1</sup> Datos proporcionados por La compañía INTERCABLES HELIX/HITEMP CABLES, INC. Forge Park Franklin Mass.



Figura 1.1 Estructura del cable coaxial.

Los cables coaxiales nos ofrecen la característica que las señales se propaguen en un rango más amplio de frecuencia además de proporcionar una mejor inmunidad contra ruido. Por ejemplo, un cable coaxial de 1/2 pulgada de diámetro, en capacidad de transmisión puede igualar a 1500 cables de par trenzado, en este caso las señales que influirán por cada uno de los pares será introducida junto con otras por el coaxial.

Otra ventaja que presentan los cables coaxiales en comparación con los cables de par trenzado, es que pueden soportar múltiples aplicaciones sobre el mismo cable, entre algunas de éstas se pueden mencionar:

- a)- Televisión por cable.
- b)- Redes locales.
- c)- Líneas de sistemas de corta distancia.
- d)- Transmisión de teléfono a larga distancia.

En los cables coaxiales al igual que en otros medios de comunicación las señales pueden introducirse al medio de diferentes maneras.

Sea cual fuere la decisión acerca de la técnica de transmisión a usar existirá un cable especial que soporte de una manera más eficiente esa técnica sobre el medio. Basados en las propiedades de banda base y banda ancha se procedió a crear un cable para cada una.

- Coaxial en banda base.
- Coaxial en banda ancha.

Los anchos de banda en conjunto de estos tipos de coaxiales oscilan entre los 150 y 440 MHz, los coaxiales en banda ancha estarán dedicados para la transmisión de señales analógicas (TV o Voz) para las cuales se utilizarán normalmente cables de 75 Ohms. Los cables coaxiales de banda base se restringen a la transmisión de señales digitales usando para esto cables de 50 Ohms. A continuación mencionamos las características principales que tiene cada tipo de cable.

#### **Coaxial banda base.**

- Usado para la transmisión de señales digitales.
- Tiene una resistencia de 50 Ohms por Km.
- No requiere de ningún dispositivo para introducir las señales al medio.

- Apropiado para velocidades bajas a distancias cortas.
- El número de dispositivos que se pueden colocar a un segmento es reducido.
- La relación entre bits dañados por bits transmitidos difícilmente excede el valor de 10 %
- Su instalación y reparación es sencilla.
- Cada 2.5 Km requiere de repetidores a velocidades moderadas.
- Se provee de un solo canal de comunicación
- Su sistema de transmisión es Half Duplex.
- El método de acceso más usado es CSMA/CD.
- Velocidades soportadas de entre 1 y 50 Mbps

#### Coaxial banda ancha.

- Usado para la transmisión de televisión y voz analógica.
- Permite la integración de múltiples aplicaciones sobre un mismo medio.
- Se incrementa la seguridad, ya que ahora para poder extraer una señal se necesita saber a que frecuencia en particular se está transmitiendo.
- Es más susceptible a transmitir más información que en banda base.
- Se pueden alcanzar mayores distancias en la transmisión.
- La relación de bits dañados contra bits transmitidos difícilmente excede el valor de 10 %
- Se utiliza cable de 75 Ohms/Km.
- La transmisión se puede realizar en Full-Duplex
- Se utiliza FDM o FSK para transmitir información simultáneamente
- Hace mejor uso del ancho de banda

#### 1.4.3. Comunicación óptica.

En poco más de 20 años, la comunicación a través de ondas luminosas utilizando fibras ópticas ha progresado desde un intento en el laboratorio hasta una realidad comercial.

La banda óptica es solo una extensión del espectro de la radio y de la microonda. El láser puso a disposición una frecuencia óptica del orden de  $10^{15}$ . Si solo utilizáramos el 0.1% del ancho de banda, correspondería a 1000 GHz de ancho de banda. En la práctica es difícil lograr esta capacidad hasta el momento. Los sistemas prácticos de comunicación óptica operan a la fecha desde los 2 Mbps hasta 144 Gbps.

##### 1.4.3.1 Fibra Óptica.

La transmisión de señales por medios tales como el cobre, representan un problema grave cuando se desean realizar enlaces a grandes distancias, ya que las atenuaciones (degradaciones de la señal con respecto a la señal original) presentes impiden reconocer la señal original al final del cable, además estas señales están sujetas a ruido del medio ambiente lo que viene a complicar aún más su conducción. Con el advenimiento de las fibras ópticas estos problemas pasaron a reducirse en gran medida ya que ahora el medio no sería un metal sino un vidrio de alta pureza (sílice) por el cual se conducirán rayos de luz los cuales rebotarán dentro de ésta para llegar así a su destino. En su forma general una fibra óptica está

compuesta de dos partes:

- Núcleo.
- Revestimiento.

El núcleo es el conducto por donde estos pulsos luminosos son conducidos y el revestimiento es el material que evita que estos rayos de luz salgan del núcleo. Los tamaños que estas fibras pueden tener son muy diversos y están relacionados con el tipo de aplicación o cantidad de información que van a transportar. Los más comerciales son:

(Núcleo/Revestimiento) en micras ( $\mu$ )

10/125  
50/125  
62.5/125  
100/140

Aún cuando se mencionó que el material del cual están hechas es Silice, existen fibras que pueden ser incluso de plástico, sin embargo éstas presentan grandes atenuaciones. El tamaño del núcleo/Revestimiento indica que tanta información son capaces de transmitir las fibras, en este caso las fibras 10/125 cuentan con un ancho de banda de (10 214 - 410 215 4 Hz) en donde las velocidades de transmisión pueden llegar a ser muy altas. Actualmente se han reportado hasta 10 Gbps, pero se encuentra restringida por las características de los transmisores y receptores, no por la fibra. Las fibras ópticas son divididas en dos grupos las cuales son fibras monomodo y fibras multimodo.

### Fibras monomodo

En las fibras monomodo los diámetros de éstas se encuentran por el orden de los 10/125  $\mu$  y por ellas solamente se pueden transmitir luz láser, lo que permite tener distancias de 25 Km sin necesidad de utilizar repetidores, para altas velocidades de transmisión.

Las fibras multimodo son utilizadas para transmisiones más moderadas. Los diámetros son mayores a los 50/125  $\mu$  y sus velocidades máximas están por el orden de los 500 Mbps hasta 2 Kms. Esta alta capacidad de transmisión a grandes distancias ha sido atractiva para diferentes instituciones dedicadas al área de telecomunicaciones, una de estas es TELMEX en donde son utilizadas para la transferencia de llamadas telefónicas entre centrales. TELMEX cuenta con equipo de vanguardia operando a 2.4 Gbps, sobre fibras ópticas monomodo 10/125 por donde se pueden manejar 30,720 llamadas telefónicas digitales simultáneamente, el número de fibras necesarias para realizar el intercambio bidireccional es de solo dos.

Las fibras ópticas tienen un conjunto de ventajas que las hacen un rival sin competencia respecto al cobre. Entre algunas de ellas mencionaremos las siguientes:

**Mayor capacidad:** El gran ancho de banda de las fibras ópticas permite alcanzar velocidades de transmisión que ninguno de los medios de cobre pueden alcanzar. Por ejemplo, se utiliza un cable coaxial de 44 MHz de ancho de banda y se transmiten señales digitales de 1 s, se podrá alcanzar una velocidad teórica de 880 Mbps esto suponiendo un sistema completamente libre de ruido, lo cual es

imposible. Una fibra óptica puede transmitir actualmente hasta 10 Gbps es decir 11.36 veces más rápido que el cable coaxial del ejemplo anterior

**Bajo peso y dimensiones pequeñas:** Debido a los materiales con los cuales son construidas las fibras ópticas se logran muy bajos pesos en los conductores, ahora si esto se pone en relación peso-cantidad de información transmitida, las fibras ópticas llevan por mucho ventaja sobre los medios de cobre. Por ejemplo para transmitir 2400 llamadas telefónicas simultáneas se puede utilizar un cable TAP<sup>1</sup> de 8 cm de diámetro y que comparadas con las 184,320 llamadas simultáneas se necesitaría solamente de un ligero cable de 1.5 cms de diámetro. Su reducido tamaño hace más sencilla su instalación dentro de ductos. Como ejemplo, un cable multipar de 3.5 Km de largo pesa aproximadamente 20,650 Kg. y requiere de 800 horas/hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18,620 Kg. y requiere de 400 horas/hombre; en cambio un cable de fibra óptica pesa 350 Kg. y sólo requiere de 88 horas/hombre para instalarlo.

**Baja atenuación:** La atenuación es quien determina en un medio de comunicación que tanto se debilita la señal con respecto a la distancia recorrida por ésta, la unidad que representa este fenómeno es el decibel dB, como su referencia tenemos que si una señal pierde 3 dB (esto es -3 dB) indica que la potencia que se está recibiendo en el punto de prueba es la mitad de la que originalmente se genera. Las fibras ópticas originalmente tenían atenuaciones del orden de los 1000 dB/Km lo que restringía su uso a pequeñas distancias, en 1970 se logró que esta atenuación se redujera a 20 dB/Km lo cual garantizó el uso comercial y rentable de las fibras. En la actualidad las pérdidas mínimas que se han logrado son del orden de 0.1 dB/Km siendo en promedio 1 dB/Km.

**Inmunidad contra interferencias:** Debido a que las fibras ópticas conducen luz, factores tales como campos electromagnéticos y campos radioactivos no impiden, ni afectan las señales que por el medio se conducen. Esto las hace insustituibles para aplicaciones tales como la milicia, control en hornos, etc. incluso Comisión Federal de Electricidad (CFE) instala cable óptico aéreo en sus postes de alta tensión (aprovechando esa infraestructura) utilizándolo para la transmisión de datos, una aplicación como ésta no sería posible si habláramos de cables de cobre.

**Grades distancias entre repetidores:** Debido a las pérdidas tan pequeñas que tiene la fibra (>0.1 dB/Km) es posible alcanzar grandes distancias antes de que la señal necesite ser regenerada. Si hacemos una comparación entre cables coaxiales y fibra óptica podríamos decir que la fibra en su versión más conservadora permite distancias de 20 veces mayores que el coaxial. En Alemania ha sido desarrollado un sistema de comunicaciones que permite la transmisión de 5 Gbps a distancia de hasta 111 Km, esto querría decir que para establecer un enlace entre San Luis Potosí, Monterrey y Nuevo León habría necesidad de colocar 3 repetidores, pero si se realizara con cable de cobre multipar con apenas 2.048 Mbps necesitaríamos 119 repetidores (1 cada 4 Km).

**Costos:** Mientras los costos de los cables se elevan cada año debido a la escasez de ese metal, las fibras ópticas disminuyen de precio debido al perfeccionamiento de su manufactura. Existen algunas aplicaciones que tienen alto precio cuando se instalan, pero hay que tener presente que la rapidez con la que su costo disminuye es más rápido que la del cobre. Lo que representa un costo mayor de un sistema en fibra no es el cable en sí, sino todo el equipo que convierte las señales eléctricas en pulsos de luz.

1) TAP: Agrupación de cable tipo pullman.

POLLAM: Cable telefónico de 300 o más pares.

Como la comunicación que se establecerá en el proyecto no requiere de un ancho de banda amplio, ni un número muy amplio de canales de transmisión, el realizar una comunicación por medio de fibra óptica sería un gasto innecesario, pues debido a las características del equipo, el sistema se encontraría utilizado a menos del 1 % de su capacidad total. Debido a esto no es posible contemplar un enlace óptico.

#### **1.4.4 Sistemas de radio.**

A frecuencias aún más altas la radiación de ondas electromagnéticas a través del espacio libre llega a ser atractiva debido a las reducidas dimensiones de las antenas. La energía que se radia por una antena transmisora puede alcanzar a la antena receptora a través de cualquiera de varias posibles vías de propagación.

Las frecuencias superiores a 30 MHz pasan a través de la ionósfera en lugar de ser reflejada por ella, en consecuencia la radiocomunicación en las bandas VHF (muy alta frecuencia) y UHF (ultra-alta frecuencia) depende del mecanismo de la onda directa. El alcance de la onda directa es la distancia de "línea de vista". Sin embargo, gracias a las ondas troposféricas, el alcance aumenta hasta más allá del horizonte óptico.

La transmisión de microondas (SHF) a distancias más allá del horizonte óptico puede lograrse por medio del mecanismo de la "dispersión troposférica" (reflexión y refracción troposférica).

Para una transmisión de (voz, datos e imagen) por línea de vista, a través de toda una región, puede lograrse mediante la colocación de una cadena de antenas de retransmisión.

Las torres de éstas, por lo general tienen un espaciamiento de 30 millas (48 km). Entonces, la telefonía de larga distancia y las señales de TV son captadas cada 30 millas, amplificadas y retransmitidas. Un circuito de comunicaciones de microondas de larga distancia tiene menos repetidoras en comparación con un circuito de cable coaxial ya que las repetidoras se encuentran cada 30 millas en el primer caso, y de 2 a 4 millas en el segundo. Esto da por resultado una señal de calidad superior en el sistema de microondas en comparación con la del sistema coaxial.

Por lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el sistema de transmisión idóneo a emplearse en este caso, es un sistema de comunicaciones inalámbrico por medio de ondas de radio. Por tal motivo, se realizará sobre este mismo tema un análisis más detallado en capítulos subsiguientes.

## **Capítulo II**

**Teoría de comunicaciones.**

Elementos de un sistema de comunicación

Modulación.

Tipos de Transmisión.

## II Teoría de comunicaciones.

### II.1 Elementos de un sistema de comunicación.

#### Introducción:

La comunicación es el proceso por medio del cual la información se transfiere, de un punto llamado la fuente en espacio y tiempo, a otro punto que es el destino o usuario. Un sistema de comunicación es la totalidad de dispositivos que proporcionan el enlace para la información entre fuente y destino.

Hay muchas clases de información incluso hombres y máquinas; por tal motivo, los mensajes aparecen de diversas formas. Una secuencia de símbolos o letras discretas (palabras discretas en una forma telegráfica, las perforaciones en una tarjeta IBM); una magnitud sencilla variando con el tiempo (la presión acústica producida por la voz o la música; la posición angular de un giróscopo); varias funciones del tiempo y otras variables (la intensidad de la voz y el color de una escena de televisión. Pero, sea cual fuere el mensaje, el objeto de un sistema de comunicación es proporcionar una réplica aceptable de él en su destino.

Todo sistema de comunicaciones se compone de elementos necesarios e imprescindibles para este fin, por lo que es necesario analizar cada una de sus partes.

#### II.1.1 Elementos funcionales.

La figura 2.1 muestra los elementos funcionales de un sistema completo de comunicación. Por conveniencia, los elementos aislados como entidades distintas. También se indica que hay algunos factores no deseados que inevitablemente forman parte de la figura.

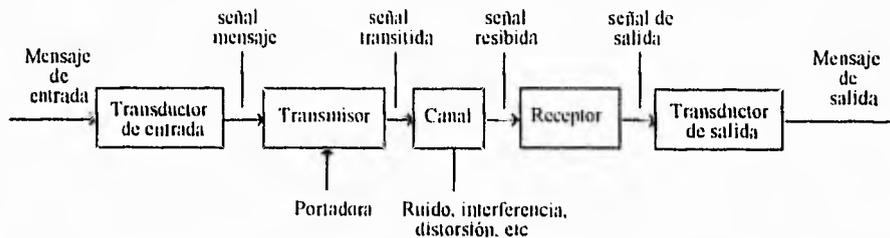


figura 2.1 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.

Omitiendo los transductores, hay tres partes esenciales en un sistema de comunicación eléctrica, el transmisor, el canal de transmisión y el receptor.

**Transmisor.** El transmisor pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión eficiente y efectiva, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante de estas operaciones es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

**Canal de transmisión.** El canal de transmisión o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino, sin importar el tipo de unión, todos los medios de transmisión eléctricos se caracterizan por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia. La magnitud de la atenuación puede ser pequeña o muy grande, generalmente es grande y por lo tanto, es un factor que debe ser considerado.

**Receptor.** La función del receptor es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Como las señales son frecuentemente muy débiles, (como resultado de la atenuación) el receptor debe tener varias etapas de amplificación. En todo caso, la operación clave que ejecuta el receptor es la demodulación (o detección), el caso inverso del proceso de modulación del transmisor, con lo cual vuelve la señal a su forma original.

**Transductor de entrada.** La amplia variedad de posibles fuentes de información da por resultado diferentes formas de mensajes. Los mensajes se pueden clasificar como analógicos o digitales. Para los primeros, puede servir de modelo las funciones de una variable continua en el tiempo. (por ejemplo, presión, temperatura, voz, música) mientras que un sistema digital se compone de símbolos discretos (por ejemplo, un texto escrito). Casi invariablemente, el mensaje que se produce en la fuente debe convertirse, por medio de un transductor a una forma apropiada al tipo particular del sistema de comunicación que se utilice.

**Transductor de salida.** El transductor de salida completa el sistema. Este dispositivo convierte la señal eléctrica, de la entrada, a la forma que desea el usuario del sistema.

### 11.1.2 Contaminaciones.

Durante la transmisión de la señal ocurren ciertos efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación, la cual reduce la intensidad de la señal; sin embargo, son más serios la distorsión, la interferencia y el ruido, los cuales se manifiestan como alteraciones de la forma de la señal. Al introducirse estas contaminaciones al sistema, es una práctica común y corriente imputársela al canal.

En términos generales, cualquier perturbación no intencional de la señal se puede clasificar como "ruido", y algunas veces es difícil distinguir las diferentes causas que originan una señal contaminada. Estos efectos son:

**Distorsión.** Es la alteración de la señal a la respuesta imperfecta del sistema a ella misma. A diferencia del ruido y la interferencia, la distorsión desaparece cuando la señal deja de aplicarse, su magnitud debe estar dentro de límites tolerables.

**Interferencia.** Es la contaminación por señales externas, generalmente artificiales y de forma similar a las de la señal.

**Ruido.** Por ruido se debe entender, como las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema.

### 11.1.3 Subsistemas de comunicación.

**Transmisión simplex (SX).** El sistema de comunicación mostrado en la figura 2.2 es capaz de transmitir en un sentido, únicamente.

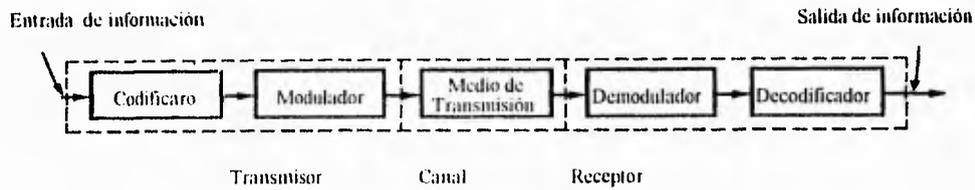


Figura 2.2 Sistema de comunicación que usa una transmisión simplex

**Transmisión semiduplex (HDX, half-duplex).** Es utilizar el mismo canal alternativamente para transmitir en ambas direcciones, como se muestra la figura 2.3.

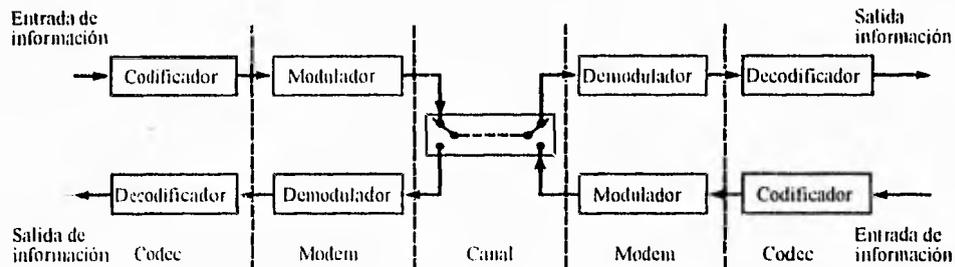


Figura 2.3 Sistema de sistema que usa una transmisión semiduplex

**Duplex total (FDX, full-duplex).** En este, se obtiene comunicación simultánea en ambos sentidos. En la figura 2.4 se muestra un diagrama de bloques de este tipo de transmisión

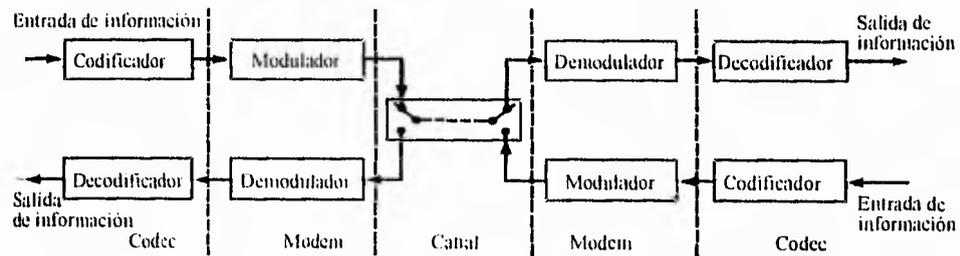


Figura 2.4 Sistema de comunicación que usa una transmisión duplex completa.

### II.1.4 Sistemas Multiplex

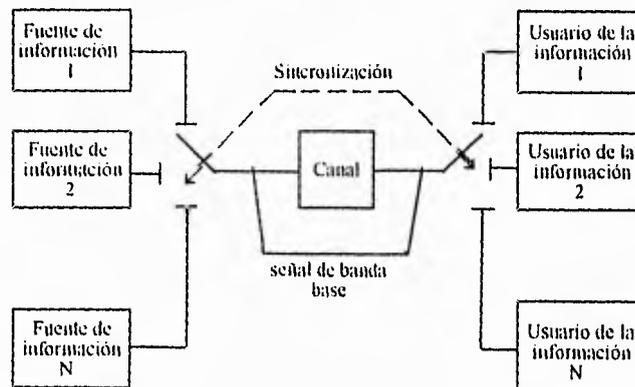
Para el problema antes planteado se podrá definir dentro de los transductores de entrada y de salida algunos elementos que adecuaran la señal para ser transmitida, dichos elementos son los moduladores, codificadores y multiplexores, así como sus contrapartes las cuales se discutirán más adelante.

Los moduladores y demoduladores operan en parejas. Esta combinación de modulador y demodulador es conocida como *modem* (modulador-demodulador) en los sistemas de transmisión de datos. También los codificadores y los decodificadores trabajan en parejas, sugiriendo el término *coddec* (codificador-decodificador).

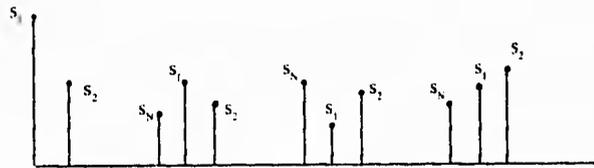
A continuación se realizará un breve análisis de las formas que existen para multiplexar una señal. Tanto los métodos de modulación analógicos como los de impulsos se pueden emplear para la comunicación multicanal. El multiplexado de las señales analógicas, especialmente para su empleo en sistemas de cable coaxial, está bien probado en los sistemas con multiplicidad de frecuencias o *multiplex por distribución de frecuencias (FDM)*. Los cables permiten la transmisión de canales de comunicación, que en número pueden elevarse en el orden de los miles en cada línea, así como los radio enlaces de microondas pueden hacer frente a un número de canales aun mayor.

Sin embargo, el multiplexado de canales es también factible para los sistemas digitales sobre una base de distribución en el tiempo (*TDM*) y parece especialmente atractivo para un sistema de Modulación por Código de Pulsos PCM a pesar de los complicados circuitos que necesita. Esto es debido a que el advenimiento de la microelectrónica ha dado al PCM un ímpetu muy grande. La tendencia en los sistemas de comunicación futuros es transmitir toda clase de información como datos numéricos, señales vocales, televisión, etc., en forma digital.

**Multiplexaje por división del tiempo (TDM)** Se comprenderá mejor el multiplexaje por división del tiempo si se considera la figura 2.5 (a). Se supone que las fuentes de datos se han muestreado a la velocidad de Nyquist o más alta. Luego el conmutador entrelaza las muestras para formar la señal de banda base que aparece en la figura 2.5 (b). A la salida del canal, la señal de banda base se demultiplexa con uso de un conmutador, como se ilustra. La operación apropiada de este sistema depende de la apropiada sincronización entre los dos conmutadores.



2.5 (a)



2.5 (b)

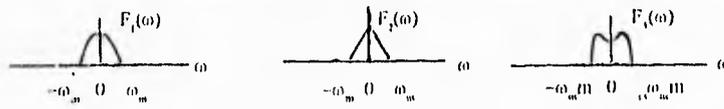
Figura 2.5 Multiplexaje por división de tiempo: a) sistema multiplexor por división de tiempo; b) señal de banda base.

**Multiplexaje por división de frecuencias (F.D.M. frequency division multiplexing).** El multiplexor se basa en una técnica por la cual varias señales se trasladan, por medio de la modulación a diferentes localizaciones espectrales y se suman para formar una señal de banda base. Las portadoras que se utilizan para formar la banda base se conocen generalmente como subportadoras. Luego, si se desea, la señal de banda base se puede transmitir por un solo canal utilizando un solo proceso de modulación. Se puede usar diferentes tipos de modulación para formar la banda base.

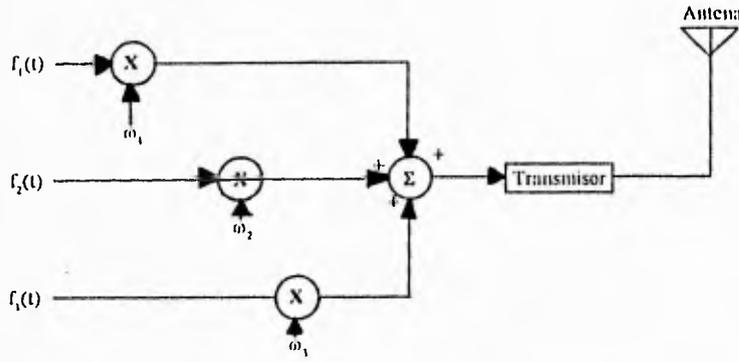
Para ilustrar los principios de la FDM, supóngase que hay  $N$  señales diferentes y que, por conveniencia, la banda de cada una está limitada a  $w_1, w_2, \dots, w_N$ . Así, la densidad espectral de cada señal modulada tiene un ancho de banda de  $2w_m$  y está centrada en una de las frecuencias portadoras  $w_1, w_2, \dots, w_N$ . Estas frecuencias se eligen lo bastante alejadas entre sí como para que cada densidad espectral esté separada de las demás. Esto requiere una separación entre frecuencias adyacentes de por lo menos  $2w_m$ . La figura 2.6 (a), (b) y (c) ilustran el caso en que tres señales se trasladan de frecuencia y se transmiten simultáneamente.

En el receptor se consideran dos posibilidades. En la primera, el receptor procesa los distintos espectros simultáneamente, separándolos en frecuencia con los adecuados filtros pasabanda y después demodulándolos. Esto se muestra en la figura 2.6 (d). En la práctica, la señal compuesta formada al espaciar varias señales puede a su vez, demodularse usando otra frecuencia portadora. Para distinguirla de las primeras frecuencias portadoras;  $w_1, w_2, \dots, w_N$  se llaman *subportadoras*.

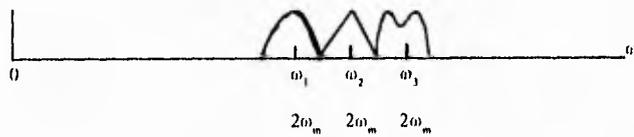
La segunda posibilidad es hacer que cada receptor seleccione un sola de las posibles señales. Esto se consigue sintonizando un filtro pasabanda en la frecuencia central de la señal deseada y después demodulando. En la figura 2.6 (e) se muestra el diagrama de un receptor para este caso.



(a)



(b)



(c)

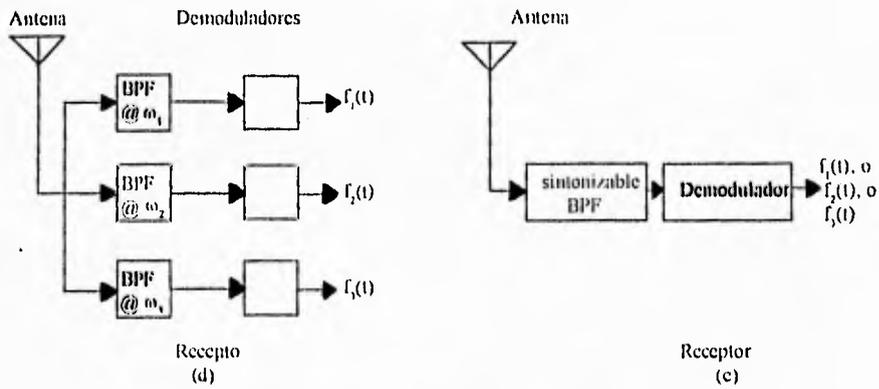


Fig.ara 2.6 Multiplexaje por división de frécuencia (FDM).

**Multiplexaje en cuadratura (QM)** Aprovechando la ortogonalidad de senos y cosenos, es posible transmitir y recibir dos señales diferentes simultáneamente en la misma frecuencia portadora. En la figura 2.7 aparece un esquema para hacer esto.

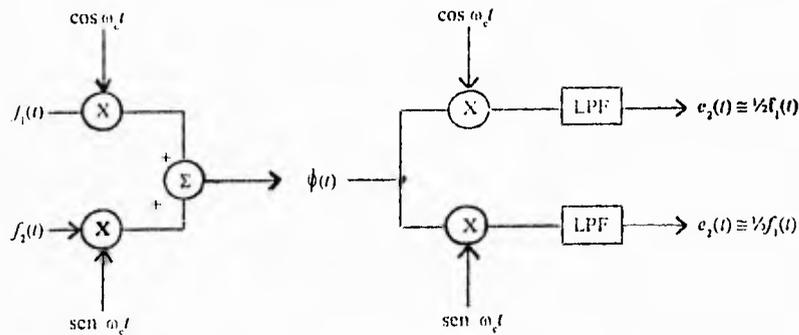


Figura 2.7 El sistema de multiplexaje de cuadratura

#### Comparaciones:

Se han visto en los tipos de multiplexaje que los anchos de banda base están limitados por abajo del ancho de banda de la información total. Sin embargo, se tienen ventajas y desventajas en cada una de las técnicas de multiplexaje.

La ventaja básica del sistema FDM es su simplicidad de puesta en operación y si el canal es lineal, sus desventajas son la dificultad de identificación. Sin embargo, muchos canales tienen pequeñas faltas de linealidad, que no son elegibles. Las faltas de linealidad conducen a la intermodulación. En los sistemas FDM el resultado de la intermodulación es la diafonía entre los canales de la banda base. Se evita este problema con los sistemas TDM.

Sin embargo, los sistemas TDM tienen sus desventajas inherentes. Se requieren muestreadores y, si se requieren datos continuos para el usuario de los datos, habrá que reconstruir las formas de onda a partir de las muestras. Una de las más grandes dificultades con los sistemas TDM es mantener el sincronismo entre los conmutadores que ponen y quitan el multiplexor.

La ventaja básica del sistema QM es que permite utilizar una modulación de Doble Banda Lateral (DSB) sencilla, mientras que se hace uso, al mismo tiempo, del ancho de banda de la banda base. Permite también una respuesta a corriente directa, lo que no hace el sistema Simple Banda Lateral (SSB). El problema básico del sistema QM es la diafonía entre los canales en cuadratura, lo que resultará si no se dispone de portadoras de demodulación perfectamente coherentes. Naturalmente que si se usan juntos los sistemas QM y FDM, la intermodulación resulta un problema.

## II.2 Modulación.

Las señales de banda base producidas por diferentes fuentes de información no son siempre adecuadas para la transmisión directa a través de un canal dado. Estas señales son en ocasiones fuertemente modificadas para facilitar su transmisión. Este proceso de conversión se conoce como modulación. En este proceso, se utiliza la señal de banda base para modificar algún parámetro de una señal portadora de alta frecuencia.

A pesar de la multitud de variedades, es posible identificar dos tipos básicos de modulación en relación a la clase de onda portadora: la modulación de onda continua (CW), en la cual la portadora es simplemente una forma de onda senoidal, y la modulación de pulsos, en la cual la portadora es un tren periódico de pulsos.

Puesto que la modulación de onda continua es un proceso continuo, es posible adaptarla a señales que están variando constantemente con el tiempo. El proceso de modulación se caracteriza pues por una translación de frecuencia, es decir, el espectro del mensaje (su contenido de frecuencia) se corre hacia arriba a otra banda de mayor frecuencia.

La modulación de pulsos es un proceso discontinuo o discreto, en el sentido de que los pulsos aparecen sólo en ciertos intervalos de tiempo. Con la ayuda del muestreo, las señales que varían continuamente pueden ser transmitidas sobre portadoras pulsadas. A menudo, tanto en los telégrafos como en los teletipos, la modulación de pulsos y la codificación van de la mano.

Como alternativa a la clasificación anterior, algunas veces es preferible designar a la modulación como analógica o codificada (digital). La diferencia entre analógica y digital es la siguiente: en la modulación analógica, el parámetro modulado varía en razón directa a la señal moduladora. En la modulación codificada, ocurre una transformación digital, por medio de la cual el mensaje se cambia de un lenguaje simbólico a otro. Si el mensaje es originalmente una función continua del tiempo, debe ser muestreado y digitalizado (cuantificado) antes de ser codificado.

Pero haciendo caso omiso del tipo de modulación -CW o pulsada, analógica o codificada- la modulación debe ser un proceso reversible, de tal manera que el mensaje pueda ser representado en el receptor por medio de la operación contraria conocida como demodulación.

### II.2.1 Causas por las cuales se modula.

**Modulación por facilidad de radiación.** Una radiación eficiente de energía electromagnética requiere de elementos radiadores (antenas) cuyas dimensiones físicas sean por lo menos de  $1/10$  de su longitud. Utilizando la propiedad de translación de frecuencia de la modulación, estas señales se pueden imprimir sobre una portadora de alta frecuencia, con la que se logra una reducción sustancial del tamaño de la antena.

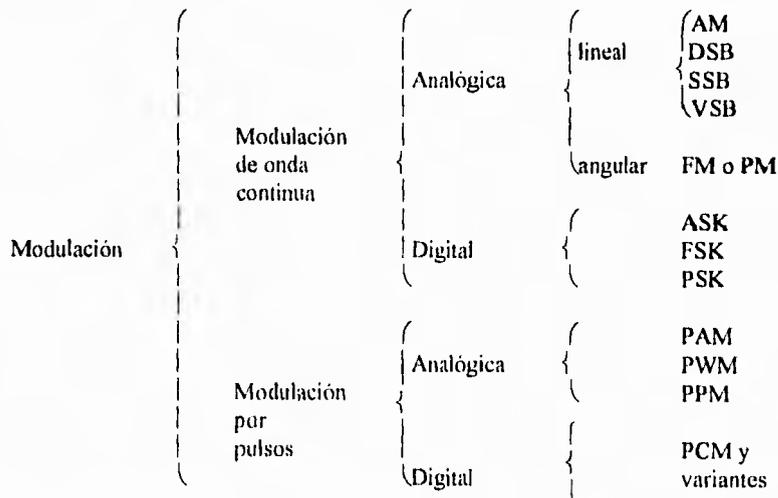
**Modulación para reducir el ruido y la interferencia.** Es imposible eliminar totalmente el ruido del sistema. Por fortuna, ciertos tipos de modulación tienen la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión, sin embargo, ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión (intervalo de frecuencia) mucho mayor que el de la señal original; de ahí la designación de reducción del ruido de banda ancha.

**Modulación por asignación de frecuencia.** Es posible seleccionar y separar cualquiera de las estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia portadora diferente. Si no fuera por la modulación, sólo se escucharía una estación en un área determinada.

**Modulación para multicanalizar.** A menudo se desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos puntos. Las técnicas de multicanalización son formas intrínsecas de modulación, permiten la transmisión de señales múltiples sobre un canal, de tal manera que cada señal pueda ser captada en el extremo receptor. Las aplicaciones de la multicanalización comprenden telemetría de datos, emisión FM estereofónica y telefonía de larga distancia.

### 11.2.2 Tipos de Modulación.

Como se ha mencionado anteriormente, existen varios tipos de modulación sin embargo, en el siguiente cuadro sinóptico se muestran los diferentes tipos de modulación más conocidos:



AM (Amplitud Modulada).

DSB Double-sideband (Doble banda lateral).

SSB Single-sideband (Simple banda lateral).

VSB Vestigial sideband (Banda lateral residual).

FM (Frecuencia modulada).

PM (Fase modulada).

ASK Amplitude shift keying (Conmutación de corrimiento de amplitud).

FSK Frequency shift keying (Conmutación de corrimiento de frecuencia).

PSK Phase shift keying (Conmutación de corrimiento de fase).

PAM Modulación de amplitud de pulso.

PDM Modulación de ancho de pulso, también conocida como modulación de duración de pulso PDM.

PPM Modulación de posición de pulso.

PCM Modulación de código de pulso.

### 11.2.3 Modulación Analógica.

Una portadora es una senoide de alta frecuencia, y uno de sus parámetros (tal como la amplitud, la frecuencia o la fase) se varía en proporción a la señal de banda base  $m(t)$ . De acuerdo con esto, se obtiene la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM) o la modulación en fase (MP). La figura 2.8 muestra una señal de banda base  $m(t)$  y la forma de onda de AM y FM correspondientes. En AM la amplitud de la portadora varía en proporción a  $m(t)$ , y en FM, la frecuencia de la portadora varía en proporción a  $m(t)$ . Aunque en la actualidad existen otros tipos de modulación en si todos tienen estos mismos principios y bases de la modulación.

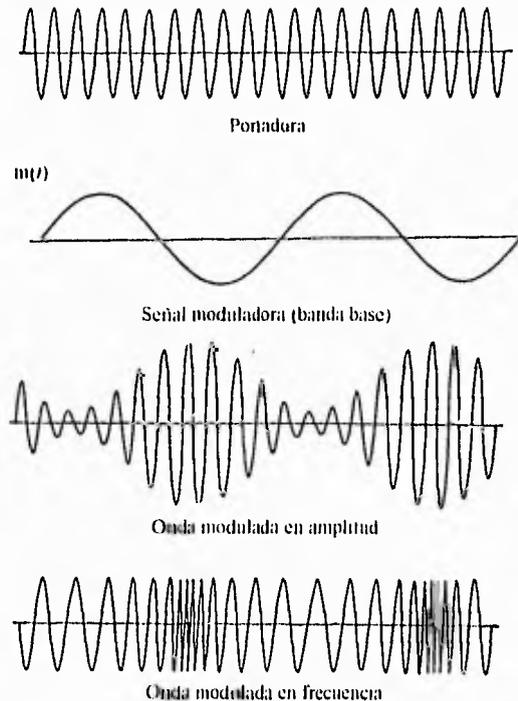


Figura 2.8 Modulación.

### 11.2.4 Modulación en amplitud:

#### Doble banda lateral (DSB)

En la modulación en amplitud  $A_c$  de la portadora no modulada  $A_c \cos(\omega_c t + \theta_c)$  se varía en proporción a la señal de banda base (conocida como *señal moduladora*). La frecuencia  $\omega_c$  y la fase  $\theta_c$  son constantes. Podemos suponer  $\theta_c = 0$  sin pérdida de generalidad. Si la amplitud de la portadora  $A_c$  se hace directamente proporcional a la señal moduladora  $m(t) \cos \omega_c t$  (figura 2.2c). Este tipo de modulación simplemente corre el espectro de  $m(t)$  a la frecuencia portadora (figura 2.2c).

**Modulación por asignación de frecuencia.** Es posible seleccionar y separar cualquiera de las estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia portadora diferente. Si no fuera por la modulación, sólo se escucharía una estación en un área determinada.

**Modulación para multicanalizar.** A menudo se desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos puntos. Las técnicas de multicanalización son formas intrínsecas de modulación.

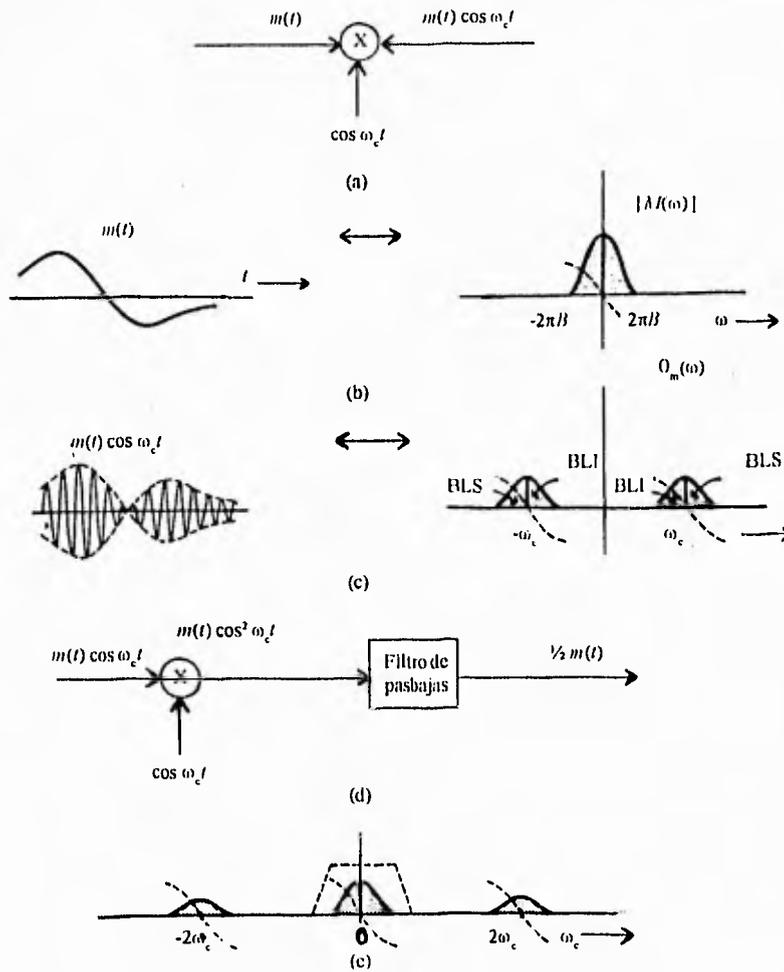


Figura 2.9 Modulación de DSB-SC

En la figura 2.9.c se observa que el espectro de la portadora modulada con centro en  $\omega_c$  se compone de dos partes: una porción que está arriba de  $\omega_c$ , que se conoce como banda lateral superior (BLS), y una

porción que se encuentra abajo de  $\omega_c$ , conocida como banda lateral inferior (BLI). En forma similar, el espectro con centro en  $-\omega_c$  tiene bandas laterales superior e inferior.

Observe que la señal modulada  $m(t)\cos \omega_c t$ , tiene componentes de frecuencias  $\omega_c - \omega_m$ , pero no tiene una componente de la frecuencia de la portadora  $\omega_c$ . Por esta razón, este esquema se conoce como modulación de doble banda lateral con supresión de portadora (DSB-SC).

### Simple banda lateral (SSB)

El espectro de la DBL tiene dos bandas laterales, y cualquiera de ellas contiene la información completa de la señal de banda base (figura 2.10). Un esquema en el cual se transmite sólo una banda lateral se conoce como transmisión de banda lateral única (SSB) y requiere sólo de la mitad del ancho de banda de una señal DSB.

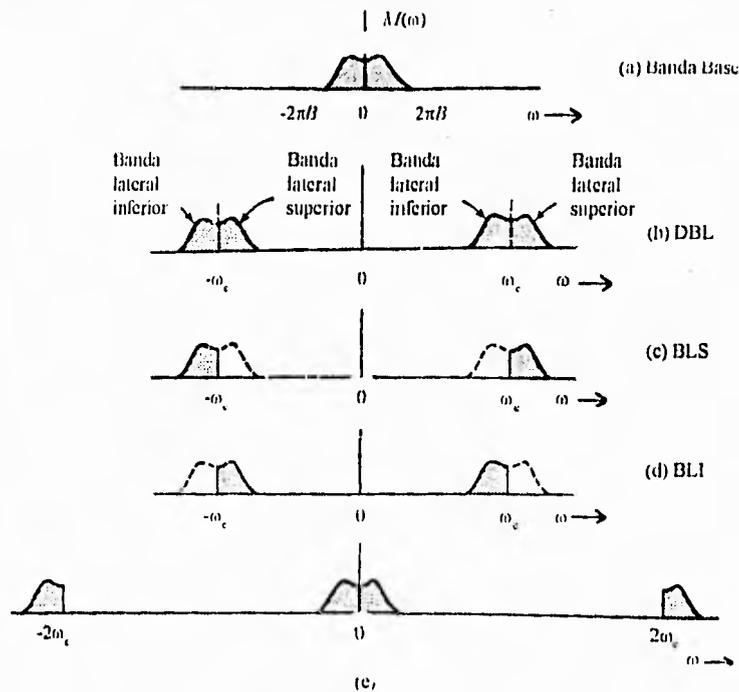


Figura 2.10 Espectro de SSB

### Banda lateral residual.

Un sistema de banda lateral residual es un compromiso entre la DSB y la SSB. Hereda las ventajas de la DSB y de la SSB, pero evita sus inconvenientes. Las señales VSB son relativamente fáciles de generar y al mismo tiempo, su ancho de banda es sólo ligeramente mayor que el de las señales SSB.

En VSB, en lugar de rechazar por completo una banda lateral (como sucede en SSB), se acepta un corte gradual de una banda lateral, como se muestra en la figura 2.11 d. La característica de atenuación del filtro es tal que la supresión parcial de la banda lateral transmitida (la banda lateral superior, en la figura 2.11 d) en la vecindad de la portadora se compensa exactamente por la transmisión parcial de la parte correspondiente de la banda lateral que se suprime (la banda lateral inferior, en la figura 2.11 d).

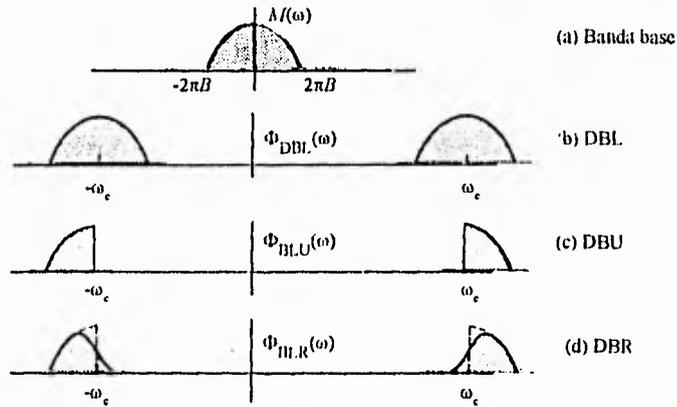


Figura 2.11 espectro de la señal moduladora y de las señales DSB, SSB y VSB correspondientes.

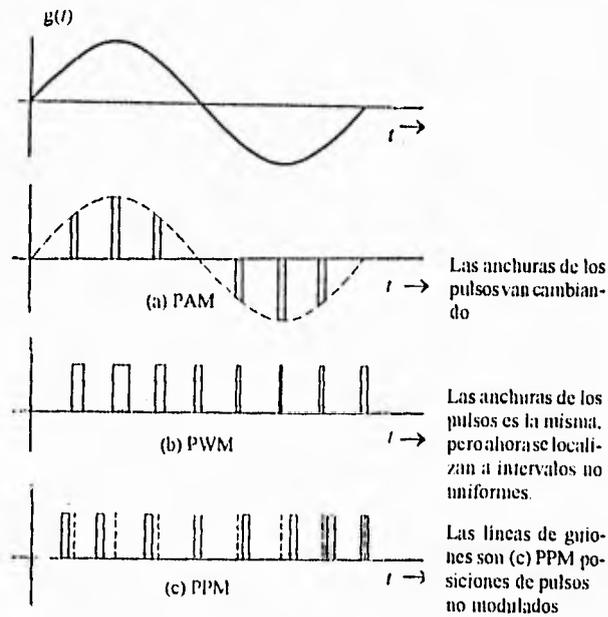


Figura 2.12. Señales moduladas en pulso: PAM, PDM y PPM

### II.2.5 Modulación por pulsos.

El teorema del muestreo abre una forma de establecer comunicación de señales analógicas mediante pulsos. La señal analógica se muestrea y los valores de las muestras se utilizan para modificar ciertos parámetros de un tren de pulsos periódicos. Podemos variar las amplitudes, anchuras o posiciones de los pulsos en proporción a los valores de las muestras. De acuerdo con esto, tenemos modulación *por amplitud de pulso* (PAM) *modulación de ancho de pulso* (PWM) o *modulación de posición de pulso* (PPM). La figura 2.12 muestra la señal analógica  $g(t)$  y sus correspondientes formas de onda moduladas. Así, en lugar de transmitir a  $g(t)$ , podemos transmitir la señal modulada en pulsos correspondientes. En el receptor, se debe leer la información de la señal modulada en pulsos y reconstruir la señal analógica  $g(t)$ .

### II.2.6 Comparación de los métodos modulación analógica.

Dentro de la modulación analógica lineal tenemos AM, DSB, SSB y VSB, las tres últimas son derivaciones de AM y en todos los casos se tienen sistemas de gran portadora y de portadora suprimida (SC).

Los primeros tienen la ventaja de los detectores más simples en el receptor y, por lo tanto, son la elección natural cuando los importantes son los receptores baratos. Además, los moduladores de alta potencia son los tres más fáciles de construir para sistemas de gran portadora porque los términos portadores que aparecen en la generación no tienen que ser balanceados o bloqueados.

Por otra parte los sistemas de portadora suprimida requieren mucho menos potencia para transmitir la misma información. Los receptores de transmisiones de portadora suprimida son más complicados porque deben generar una portadora de fase y frecuencia apropiados. Sin embargo, cuando la eficiencia de la comunicación es prioritaria, la mayor complejidad del receptor se justifica. Los sistemas de portadora suprimida son menos

susceptibles a los efectos de desvanecimiento selectivo, dado que el desvanecimiento de la portadora puede provocar severa distorsión en el detector de envolvente.

En las señales SSB- y DSB-SC, toda la potencia transmitida está en las bandas laterales. Para una potencia de banda lateral de entrada igual, la razón S/N de salida es la misma para ambos sobre la base de potencia media. Además, por supuesto, la señal SSB ocupa la mitad del ancho de banda. Para modulación senoidal, la DSB-LC produce cuando más, solo 1/3 de la razón S/N de salida de la señal DSB-SC correspondiente. Para modulación real típica, la diferencia es mayor porque la razón pico a raíz cuadrática media es de cerca de 1/8. Si el pico es igual a 1 (para modulación de 100%), la razón S/N de la DSB-LC para voz es de alrededor de 1/65 de una señal DSB-SC comparable con base en la potencia media.

La generación de señales SSB puede despreciarse los componentes de baja frecuencia. Para conservar el espacio espectral, puede hacerse un compromiso entre SSB y DSB en lo que se conoce como modulación de banda lateral vestigial (VSB, vestigial-sideband).

En éste sólo se transmite una porción de una banda lateral, de forma tal que el proceso de demodulación reproduce la señal original. La supresión parcial de una banda lateral reduce el ancho de banda con respecto al DSB, pero no alcanza la eficiencia de espectro de SSB-LC, la señal deseada puede recobrase con un detector de envolvente. Si se envía VSB-SC se puede recobrar usando un detector sincrónico.

En modulación analógica de ángulo tenemos FM y PM que están relacionados entre sí, cualquier variación de fase producirá necesariamente una variación de la frecuencia y viceversa. La diferencia esencial entre FM y PM es la naturaleza de la dependencia de la señal moduladora.

En la tabla 2.1 se comparan algunos de los sistemas analógicos de onda continua y hace mención de los usos típicos, la complejidad de los mismos y un punto que es muy importante la eficiencia.

Los distintos tipos de modulación de regulación de pulso están estrechamente relacionados entre sí y pueden derivarse unos de otros. En general, la relación entre la modulación de regulación de pulso y la modulación de ángulo es análoga a la de PAM entre AM. De hecho, uno de los métodos para generar PM o FM de banda ancha es generar antes PWM o PPM.

La PWM es una elección frecuente cuando se desea el control remoto proporcional de una posición o cierta razón de posición. El valor medio de una onda PWM varía directamente con la modulación y puede usarse para controlar un motor con operaciones de conmutación eficientes.

Sólo los bordes de salida de las ondas PWM contienen la información moduladora. Por tanto, la información puede conducirse enviando sólo estas marcas de tiempo. En la PPM, estas se envían como pulsos de ancho y amplitud constante, como se vio en la figura 2.12 (d). Aunque generalmente más eficiente que la PWM para comunicaciones, el uso de PPM requiere de un método de restaurar la sincronización del reloj. Por el contrario, tanto la PAM como la PWM son "autosincronizables", es decir, la sincronización del reloj está presente en la onda modulada.

Tanto la PWM como la PPM son métodos de modulación no lineales. Sin embargo, como en el caso de la modulación de ángulo, puede obtenerse alguna información útil

### 11.2.7 Modulación Digital

El caso binario tiene gran importancia práctica debido a su simplicidad y facilidad de detección. Virtualmente, toda la comunicación digital hoy en día es binaria. Los tipos anteriores de modulación de pulso hacían uso de muestras discretas en el tiempo de señales analógicas. En esos casos, la transmisión está compuesta de información análoga enviada en tiempo discretos. La variación de la amplitud o la regulación del pulso puede variar continuamente sobre todos los valores. Ahora, no sólo se cuantiza la señal, sino que se usa un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestreo. Este tipo en particular de modulación se llama *modulación por código de pulso* (PCM).

Para los sistemas digitales de comunicación que emplean canales pasabanda, resulta ventajoso modular una señal portadora con la corriente digital de datos antes de la transmisión, nos profundizaremos más en la modulación digital pues es la que nos ofrece mayores ventajas como se verá más adelante.

Varios canales que usen código PCM, pueden multiplexarse en tiempo y la corriente de bits resultante enviarse por una línea de transmisión. Si se usa propagación electromagnética, la corriente de bits se emplea para modular una portadora CW de alta frecuencia. Una forma de modulación es la del *conmutador de corriente de amplitud* (ASK) en el que la amplitud de una portadora CW conmuta entre dos (o tres) valores en respuesta al código PCM. Otra forma es desplazar la frecuencia de la portadora CW lo que se llama *conmutador de corriente de frecuencia* (FSK). Una tercera posibilidad, llamada

Ancho de banda	Respuesta a CD	Eficiencia	Complejidad	Aplicaciones típicas
DSB $2w$	sí	100%	Moderada. modulación coherente	Se requiere Sistemas de comunicación de bajo ancho de banda
AM $2w$	no	$\leq 50\%$	Menor, Moduladores sencillos y detección de envolvente	radiodifusión
SSB $w$	no	100%	Mayor. Se requieren moduladores por cambio de fase y moduladores coherentes	Sistemas de comunicación por voz
VSB $w$	sí	100%	Mayor. Se requieren filtros simétricos y demoduladores coherentes	Sistemas de banda ancha
VSB $w$ Portadora	no	$\leq 50\%$	Moderada. Se requiere un filtro simétrico, pero se puede utilizar la deducción de envolvente	Video de televisión
FM $2(D+1)w$	sí	No es aplicable	Moderada. Se pueden usar demoduladores sencillos de cierre de fase	radiodifusión de alta fidelidad
PM $2(D+1)w$	sí (con calibración)	No es aplicable	Moderada. Esencialmente la misma que la de FM	transmisión de datos; suele usarse en la generación de FM

Tabla 2.1 comparación de sistemas analógicos



Otro tipo de deterioro del canal es la *distorsión de retraso*. Si la respuesta de magnitud de un filtro lineal invariable con el tiempo no varía con la frecuencia, la pendiente de la característica fase-frecuencia de esta constante se define como distorsión de retraso. La OOK y la BPSK mantienen un buen rendimiento en presencia de distorsión de retraso lineal, mientras que el comportamiento en errores de la QPR y los métodos de señalización coherentes biortogonales (es decir, QAM, QPSK, OQPSK, MSK) se degrada significativamente. Para distorsión de retraso de tipo cuadrático, la FSK es una buena elección, mientras que la DQPSK sufre una severa degradación.

En presencia de desvanecimientos, los comportamientos en errores de la OOK y los sistemas coherentes biortogonales no se degradan tan rápidamente como los otros, mientras la FSK y los sistemas diferencialmente coherentes son peores que el promedio. Los sistemas BPSK, DPSK, FSK, VSB y los coherentes biortogonales tienen una tolerancia por encima de la media a la interferencia de otras señales, mientras que los sistemas OOK y PSK M-nario están por debajo de la media en este aspecto. Los sistemas BPSK, VSB y los coherentes biortogonales tienen una tolerancia por encima de la media a las ISI. Mientras que la PSK M-naria está por debajo de la media.

### 11.2.9 Técnica spread spectrum.

La técnica spread spectrum es un método muy general para ir mejorando otras modulaciones del sistema a través de señales de banda ancha. Una propiedad del diseño de sistemas de comunicación en spread spectrum, es de que pueden operar seguramente en presencia de varios tipos de interferencia de RF, como son:

Interferencia multipatrones, de múltiple acceso e interferencias parásitas u hostiles, considerando que cuando las señales de potencia son radiadas sobre un BW grande, la señal puede tener un promedio de potencia muy pequeño, en ninguna banda estrecha. Esto significa que el sistema spread spectrum puede partir una banda de frecuencia en varios sistemas de banda estrecha, por lo cual es difícil detectar la presencia de señales spread spectrum usando un equipo de banda estrecha.

## II.3 Tipos de Transmisión

A partir de este momento se hablará en particular de sistemas de comunicación digital, debido a que este es el tipo de comunicación que se empleará en lo subsecuente en este trabajo. Existen dos tipos de transmisión digital los cuales son: transmisión serie y transmisión paralelo.

### II.3.1 Transmisión serie y paralelo

**Transmisión serie.** Este método de transmisión consiste en que los bits que componen un carácter son enviados uno tras otros. En esta forma de transmisión se cuenta con transmisión sincrónica y asíncrona.

**Transmisión paralelo.** En este tipo de transmisión los bits se trasladan en grupos simultáneamente sobre varias líneas.

Se utiliza la transmisión en paralelo cuando los ordenadores y otros sistemas digitales están colocados a distancias cortas, y se utilizará transmisión serie cuando los datos van a ser transmitidos a larga distancia. La conversión de paralelo a serie y viceversa se lleva a cabo con registros de desplazamiento. La transmisión de datos en serie se llama sincrónica si el momento exacto de transmisión o recepción de cada bit está determinado antes de que se transmita o reciba, y asíncrona cuando la temporización de los bits de un carácter no depende de la temporización de un carácter previo.

**Transmisión sincrónica.** Transmisión en la que los equipos transmisor y receptor funcionan continuamente a una frecuencia que es recíprocamente igual y en los que se puede mantener la relación de fase deseada por medio de correcciones.

**Transmisión asíncrona.** Transmisión en la que cada carácter de información se sincroniza individualmente, normalmente mediante el uso de elementos de arranque y parada.

La transmisión asíncrona es la más común en comunicación de datos, sencillamente porque hay más aplicaciones para terminales de baja velocidad y pequeños ordenadores suelen utilizar otros métodos aparte del asíncrono. Esto se debe a la gran penalización suplementaria del 20% asociada a los códigos de arranque y parada; en otras palabras, dos de entre los 10 bits transmitidos son de control, en vez de ser para información.

Un segundo problema en transferencia de datos grande es la comprobación de errores. El método usado para solucionar estos y otros problemas de transmisión de gran volumen de datos a alta velocidad recibe el nombre de transmisión sincrónica. En ella no se usan bits de arranque y parada. Los caracteres se envían en grupos llamados bloques, con caracteres de sincronización especiales colocados al comienzo del bloque y en su interior, para asegurar que se producen suficientes transiciones de 0 a 1 y de 1 a 0 para que el reloj receptor permanezca correcto, se efectúa la comprobación de errores automáticamente sobre el bloque entero. Si se produce algún error, entonces se retransmite todo el bloque. Esta técnica también conlleva una penalización suplementaria, pero el suplemento es inferior al 20%, en el bloque con más de una docena escasa de caracteres. La figura 2.15 compara la transmisión asíncrona y sincrónica de una secuencia de caracteres.

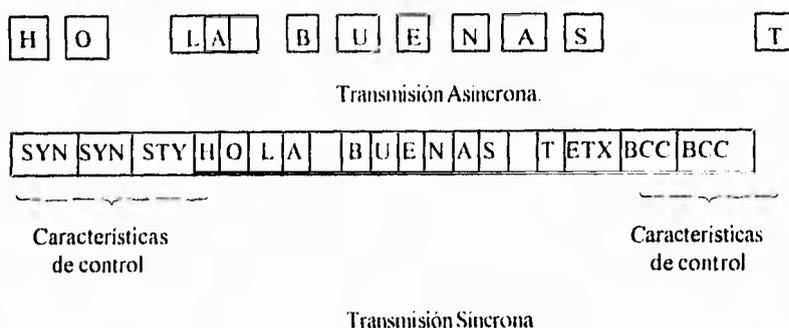


figura 2.15 Comparación de las transmisiones asíncrona y síncrona

Además de los métodos de transmisión asíncrona y síncrona para llevar a término la temporización en el receptor, hay actualmente un tercer método llamado transmisión isocrónica, se usa esta técnica en muchas redes de ordenadores modernos, presenta una temporización controlada por la red en sustitución del DCE o DTE, como ocurre en transmisión síncrona y asíncrona.

DCE (equipo de comunicación de datos) este equipo proporciona las funciones requeridas para establecer, mantener y liberar una conexión y efectuar la conversión de señal que se necesita para comunicar un DTE y una línea telefónica o un circuito de datos.

DTE (Equipo terminal de datos). Ordenador o máquina comercial cuya salida son datos en forma de señales digitales.

### II.2.2 Protocolos E Interfases.

Para que pueda existir comunicación entre dos puntos distantes se requiere de reglas, estas reglas además de establecer la comunicación detectan si se ha producido algún error en la transmisión y de como corregirlo.

Un protocolo es un conjunto de arreglos que definen la intersección entre dos máquinas o procesos iguales o que realizan funciones similares (en la actualidad es que los procesos sean programas de computadora). En cambio una interfaz es un conjunto de reglas a menudo instaladas en secciones de hardware que controlan la interconexión de dos máquinas o procesos diferentes, como puede ser un ordenador y un modem.

#### II.3.2.1 Elementos de un protocolo.

En cualquier protocolo se identifican los principales elementos los cuales se pueden identificar como:

1) Un conjunto de caracteres, 2) Un conjunto de normas para controlar la ecuación y la temporización de los mensajes, y 3) Procedimientos para detección y corrección de caracteres.

**II.3.2.2 Clasificación de protocolos.**

Un método para clasificar los diferentes tipos de protocolos es mediante las técnicas de alineación de mensaje. Existen los protocolos orientados a caracteres, bytes y bits

La siguiente tabla nos muestra esta clasificación.

Protocolo	Orientado a:	Tipo	Configuración de la red
BISYNC	CARACTERES	BINARIO SINCRONO	PUNTO-PUNTO MULTIPUNTO
PMDCD	BYTES	SINCRONO O ASÍNCRONO	PUNTO-PUNTO MULTIPUNTO
SDCL	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO
X.25	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO
HDLC	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO
ADCCP	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO
CEDB	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO
BOLD	BITS	SINCRONO	MULTIPUNTO ANILLO

Tabla 2.3 Clasificación de algunos protocolos.

## **Capítulo III**

### **III Análisis de los tipos de enlaces.**

Radiación y propagación de radio-ondas.

Características de las bandas de frecuencia.

Análisis de los enlaces.

## III. Análisis de los tipos de enlaces.

### III.1 Radiación y propagación de radio-ondas.

#### III.1.1 Inducción y Radiación.

En la teoría de corrientes alternas cuando se considera la "acción a distancia" de un campo se supone que un efecto se produce "instantáneamente". Sin embargo para que el efecto del campo sea percibido; la velocidad con que se propaga cualquier perturbación del campo en todo espacio es la misma que la de la luz.

La transmisión de señales por medio de un campo inductor oscilante no puede realizarse más allá de donde sea posible detectar un campo estacionario, magnético (H) o eléctrico (E). Cuando la corriente o carga desaparece también lo hace el campo y la energía es devuelta al circuito que había originado dicho campo.

La intensidad de un campo estacionario decrece rápidamente (inversamente al cuadrado de la distancia), por lo que es necesaria en la bobina generadora o "primario", una corriente enorme para producir solamente por inducción una corriente apreciable en la bobina receptora o "secundaria", a distancias de algunos cientos de metros; las pérdidas resistivas en el hilo conductor de tan fuerte corriente representan una cantidad prohibitiva de potencia

La potencia suministrada por el generador es "radiada" en la misma forma que el calor o la luz viaja a través del espacio vacío y la amplitud de la onda se atenúa solamente por simple dispersión. Por lo que podemos decir que en el espacio vacío la cantidad de radiación llega a un punto distante (intensidad de campo de radiación) varía recíprocamente al cuadrado de la distancia.

La atenuación de la onda radiada a través de la atmósfera normal es ligeramente superior que en el vacío, pero hasta que la frecuencia de las alternancias empieza a aproximarse a las del calor radiante, las pérdidas a través del aire ordinario son despreciables y la atenuación puede considerarse esencialmente igual a la que habría en el espacio libre.

En el análisis de circuitos es difícil que la potencia eléctrica que alimenta un conductor se disipe en el espacio vacío, se usa un termino ficticio, "resistencia de radiación", que representa una carga resistiva equivalente y mide la efectividad radiante de la antena. Para reducir la potencia disipada en forma de calor en la antena, la resistencia de radiación debe ser grande y la de pérdidas pequeña, y su relación determina el porcentaje de potencia gastada en calor.

#### III.1.2 ¿Por qué una antena irradia?

Una antena es alimentada por una fuente alterna de potencia, el campo oscilante creado en las proximidades de la antena, de acuerdo con la teoría de circuitos eléctricos, no devuelve toda su energía a la antena, sino que gasta alguna en inducir otros campos a lo lejos en el espacio, los cuales a su vez inducen otros campos aun más lejos y de esta forma es extraída energía de la antena para no volver al circuito primario.

En este sentido la energía permanente extraída de la antena se propaga a través del espacio, dando por resultado el "movimiento de onda". Por eso se habla de "propagación de las ondas de radio".

### III.1.3 Recepción.

La intensidad de campo a una distancia de solo algunas longitudes de onda desde el radiador se atenúa demasiado para ser útil en cualquier cosa que no sea con propósitos de señalización y con este objeto se invierte mucho dinero en radiar al espacio radiofrecuencias portadoras de mensajes.

Cualquier dispositivo que sea un radiador eficiente de energía radiofrecuente es también altamente efectivo interceptando o extrayendo potencia de la onda de la misma longitud.

### III.1.4 Longitud de onda y frecuencia.

En algunos aspectos un tren de radio-ondas puede ser comparado a un tren de ondas en el agua. La onda de radio tiene lo que corresponde en el agua a crestas y valles. Frecuencia significa el número de ciclos de onda que pasa por un punto en un segundo. La longitud de onda mide la distancia entre dos crestas o valles sucesivos, que también es la distancia que recorre una onda durante un ciclo de oscilación en el circuito originario. Normalmente se expresa en metros, excepto cuando es una fracción pequeña del mismo, en cuyo caso es más común el centímetro.

Es evidente que cuando más ondas pasan por un punto en un segundo más aproximados están los valles y las crestas. La distancia entre valles o crestas sucesivos depende de la velocidad de propagación, porque a mayor velocidad corresponde menor separación. Para propagación en el espacio vacío (o prácticamente en el aire normal) la velocidad es muy cercana a los 300,000,000 metros por segundo. La relación entre longitud de onda y la frecuencia para tal medio de propagación se expresa así

$$F_{Kc} = 300,000/\lambda$$

En donde  $F_{Kc}$  es la frecuencia en KHz por segundo y  $\lambda$  es la longitud de onda en metros.

### III.1.5 Polarización.

Las ondas de radio, a diferencia de las sonoras, son transversales. Esto significa que la dirección de la tensión ejercida por una onda está en ángulo recto con la propagación. Asimismo, la tensión eléctrica está en ángulo recto con la magnitud, de forma que los campos eléctrico y magnético y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.

Como las ondas luminosas, que son también electromagnéticas y por lo tanto transversales, las ondas de radio pueden ser polarizadas. Las ondas de radio tienden a polarizarse linealmente al abandonar la antena a menos que se utilicen medios especiales para producir una polarización elíptica. Este último tipo de polarización compleja puede siempre descomponerse en dos ondas componentes con polarización única pero diferente y no exactamente en fase en el espacio. Si las dos componentes estuvieran en fase, la resultante tendría polarización lineal en lugar de elíptica. La polarización de una onda de radio es definida como la orientación de su componente electrostática. Esto es convencionalmente porque la

componente electrostática está en el mismo plano que el radiador lineal (que es el más común de los radiadores). Un radiador lineal orientado horizontalmente con respecto a la tierra emitirá ondas polarizadas horizontalmente. Por esta razón a veces se designan a las antenas como "polarizadas horizontalmente" o "polarizadas verticalmente".

### III.1.6 Reflexión.

Se ha visto que una onda electromagnética consiste en cierto instante de un campo eléctrico y en el próximo de un campo magnético al propagarse en el espacio, por lo que la mitad de la energía reside en el campo eléctrico y la otra mitad en el magnético.

Cuando una onda plana choca con una superficie plana de conductividad infinita (resistencia nula), perpendicularmente, el campo eléctrico no puede existir en el plano del conductor, pues de otra forma circularía una corriente de valor infinito, cosa imposible con una cantidad finita de potencia.

Si no puede existir un campo eléctrico en la superficie de un conductor perfecto no hay resistencia de pérdidas, se puede suponer lo que sucederá a la energía contenida en tal campo cuando choca con una superficie conductora y se convierte en campo magnético en virtud de la corriente inducida en el reflector por el campo eléctrico incidente, duplicando así la fuerza del campo magnético en la superficie del conductor.

Esta corriente oscilante de conducción actúa como radiador de ondas electromagnéticas e irradian en la única dirección que puede. Tenemos así una onda electromagnética propagándose en dirección opuesta y de la misma amplitud de la que llega a la superficie. No hay disipación de energía. De hecho la componente eléctrica de la onda incidente es reflejada con inversión de fase, y la componente magnética se refleja sin cambio de fase, resultando una onda electromagnética que se propaga en dirección opuesta. Las ondas reflejadas se combinan con las incidentes para producir una resultante más interesante o interferencia llamada "onda estacionaria".

### III.1.7 Refracción.

La parte transmitida de una onda que incide oblicuamente (o sea la parte que penetra en el nuevo medio) se inclina o refracta de la misma forma como las ondas luminosas. El índice de refracción empleado en óptica es aplicable a las ondas de radio ya que ambas son de tipo electromagnético.

Para una reflexión fuerte se precisa una superficie recta de separación entre los medios, no ocurriendo lo mismo para la refracción. Un cambio demasiado gradual en las características del medio de propagación para producir una reflexión apreciable se portará excelentemente en cuanto a la refracción si el cambio total es suficientemente grande. Debe notarse que el curso o dirección tomado por el frente de onda, a veces llamado onda normal, se curva al entrar en la zona de pendientes, sin tener la forma angular que se observa en caso de una brusca discontinuidad del medio.

Las variaciones en la temperatura, densidad y vaporización de agua contenido en la atmósfera terrestre causan variaciones de las constantes dieléctricas, de pequeña magnitud, son suficientes para rectificar las ondas de radio cuando incide con un ángulo próximo al límite y las hacen seguir un camino ligeramente curvado.

### III.1.8 Difracción.

Las ondas de radio, como las luminosas, tienden a seguir un camino más o menos recto cuando se propagan en un medio homogéneo. Sin embargo cuando tropiezan con un objeto opaco, la sombra no es completa y perfectamente definida a menos que el objeto sea grande con relación a la longitud de onda. Así mismo para un objeto de una sección transversal dada, la sombra será más perfecta si la superficie de su silueta exterior es relativamente lisa en comparación con la longitud de onda.

Es esta una consideración de importancia en el estudio de la propagación de las ondas de radio, porque está virtualmente ligada con las "sombras" o áreas de silencio producidas por montañas u objetos.

### III.1.9 Zona de sombra.

Los obstáculos fuertes en el camino de los rayos luminosos producen sombras y por analogía se denominan zonas de "sombra" a aquellas a las que no llega un rayo directo por haberse interpuesto un obstáculo.

### III.1.10 Índice de intensidad para el campo de radiación.

La unidad comúnmente empleada para medir la energía de las ondas de radio es la intensidad de la componente electrostática expresada en "microvolt por metro" o "milivolt por metro", refiriéndose a la tensión en el dieléctrico existente entre dos puntos separados un metro contando en la dirección de las líneas de fuerza del campo eléctrico.

Como las intensidades de los campos eléctrico y magnético son iguales en el espacio libre, la intensidad de una radiación no perturbada proporcional a cualquiera de las dos anteriores. Esto supone que la distancia al radiador es lo suficientemente grande para no tener en cuenta los campos de inducción.

### III.1.11 Recorrido de las ondas de radio.

Las radio-ondas de baja frecuencia no se comportan de igual modo que las de frecuencias muy elevadas. Las ondas son básicamente lo mismo, pero el efecto físico y variaciones en el medio de propagación dependen de su tamaño relativo y el tamaño en caso de una onda se refiere a la longitud y no a su amplitud. En el vacío las ondas actúan del mismo modo, pero en las comunicaciones de radio es necesario tener en cuenta el efecto de la esfericidad de la tierra, la cual no tiene una superficie lisa, así como los gradientes de refracción del medio en la atmósfera terrestre. Por esta razón algunas porciones del espectro electromagnético se portan mejor que otras en ciertas aplicaciones y las frecuencias o "canales" se distribuyen por la autoridad de acuerdo con un plan directivo que tiene en cuenta estas consideraciones en bien del interés público.

Los recorridos de las ondas útiles en las comunicaciones se agrupan en tres categorías principales:

- 1.- Ondas de tierra.
- 2.- Ondas de espacio, a menudo llamadas "ionosféricas".
- 3.- Baja frecuencia u ondas "guiadas" para frecuencias inferiores a los 300 KHz.

**III.1.11.1 Ondas de tierra.**

Una "onda de tierra" es una onda de radio que viaja sobre la superficie terrestre y que es substancialmente afectada por la presencia del terreno. Consta de una onda de superficie, una onda directa y una onda reflejada de tierra, las dos últimas producen la resultante, conocida como onda de espacio.

La componente predominante de la onda de tierra depende de la longitud de onda y también de las alturas de las antenas radiante y receptora expresadas en longitud de onda.

**III.1.11.2 Ondas de espacio.**

Para comunicarse (rayo directo) en frecuencias superiores a 30 MHz las antenas del transmisor y receptor generalmente están colocadas a varias longitudes de onda sobre el suelo. En estas condiciones, la amplitud de la onda de superficie es muy pequeña, en parte debido a la altura de las antenas y en parte a la absorción que sufre en la tierra. La onda predominante en esas condiciones es la onda de espacio, que comprende el rayo directo y el reflejado por la superficie terrestre.

El mismo tipo de onda es el predominante para frecuencias mucho más bajas (digamos 3 MHz) cuando uno de los extremos del circuito se encuentra en un avión próximo. Se dice "próximo" porque las comunicaciones a gran distancia en la banda de 3 a 30 MHz no se hacen con la onda de superficie ni con la onda de espacio, sino por onda de espacio reflejada en la atmósfera. La presente discusión de la componente de la onda de tierra se referirá a la gama de frecuencias entre 30 y 100 MHz.

**III.1.12 Refracción y reflexión en la troposfera.**

En la atmósfera el índice de refracción es casi proporcional con la altura. Esto produce una inclinación de las ondas radiadas con ángulos muy pequeños (aproximadamente un grado), siendo la curvatura constante en las condiciones anteriores dadas. Este efecto es la causa de que las frecuencias muy elevadas (VLF) y las frecuencias ultra elevadas (UHF) se propaguen más allá del horizonte geométrico sin necesidad de difracción.

En tales condiciones la curva es tal que extiende el horizonte efectivo hasta donde estaría si la atmósfera fuera homogénea (sin curvatura de la onda) y el radio de la tierra se multiplicará por el factor 1.33. Esto significa que el índice de refracción de la atmósfera normal tiene un gradiente tal que obliga a la onda a seguir una curva cuatro veces superior a la tierra.

El índice varía ligeramente con la altitud, pero la variación es tan pequeña que el factor 1.33 se emplea generalmente sin tenerla en cuenta.

Hay casos raros en algunas zonas geográficas y frecuentes en otras, en que la variación de la constante dieléctrica no es substancialmente constante, sino que tiende a estratificarse a veces en forma muy pronunciada a causa de discontinuidades relativamente fuertes que representan saltos bruscos de diferentes masa de aire, que llegan a producir la vuelta de la onda pareciendo que hay reflexión en vez de refracción entre las dos.

La onda se considera a veces como componente de la onda regular de la tierra, y otras veces se clasifica separadamente como una forma de la onda de espacio sin ser una onda ionosférica. Si por definición arbitraria no es parte de la onda de tierra, debe considerarse al menos fuertemente ligada a ella debido a que generalmente no excede de los 1,500 metros.

### III.1.13 Ondas ionosféricas.

Las ondas de radio que abandonan la tierra con tan fuerte ángulo que no pueden ser reflejadas o refractadas por gradientes o discontinuidades en la troposfera están siempre destinadas fuera del espacio. Hay una región ionizada llamada la "ionosfera" que comienza a unos 45 Km sobre la tierra, extendiéndose fuera de los límites de la atmósfera terrestre hasta unos 450 Km, región que refleja o refracta las ondas de radio, a menudo lo suficiente para que regresen a la tierra en forma de señal útil a grandes distancia del emisor.

Las ondas se inclinan y tal inclinación es causa de la transmisión a distancias medias y grandes en la gama aproximadamente de 2 a 3 MHz.

Aunque las ondas de firmamento no son tan seguras como las de tierra, lo son mucho más que las troposféricas y son ampliamente utilizadas en las comunicaciones a gran distancia.

### III.1.14 Capas ionosféricas.

La ionosfera consiste en capas estratificadas con átomos y moléculas (particularmente nitrógeno y oxígeno) ionizadas en las regiones superiores de la atmósfera terrestre. La fuente primaria de esta ionización es la radiación solar, particularmente la ultravioleta, aunque existen otros factores que contribuyen a ella.

Parece ser que si la radiación solar es el principal agente de ionización, esta debe reducirse a cero cuando el sol se pone. Si hubiera una rápida recombinación a todas las alturas y el sol fuera el único agente ionizante, eso sería verdad y no habría ionosfera después de la puesta del sol. Sin embargo, a grandes alturas, donde el gas es raro, los átomos muy separados y el camino medio largo, la recombinación es lenta, de forma tal que la densidad de electrones es sensiblemente alta hasta la salida del sol por ello la capa  $F_2$  existe durante toda la noche, pero los electrones libres de la capa  $F_1$  se han recombinado y desaparece esta capa o se confunde con la  $F_2$ . Esta misma condición prevalece a veces durante el día en el invierno y la capa  $F_1$  no siempre aparece porque los electrones libres se recombinan a la misma velocidad que se forman, quedando únicamente la capa  $F_2$ .

A la altura de la capa E la recombinación es muy rápida y esta capa desaparece rápidamente después de la puesta del sol sino fuera por otros factores de ionización que la mantienen en forma sensiblemente ionizada toda la noche. Durante la noche la capa E es "porosa" e inefectiva para ángulos de incidencia propios a los  $90^\circ$ . Se indica que los meteoritos son uno de los factores. En las regiones ecuatoriales por la noche la capa E tiene un fuerte gradiente, o salto brusco, en la parte inferior, por lo que devuelve las altas frecuencias hacia la tierra mejor que en otras latitudes.

La capa D desaparece completamente durante la noche. La recombinación a esta altura, relativamente baja, es muy rápida y el sol parece ser el único agente ionizante.

Resumiendo, las dos regiones permanentes ionizadas son las capas  $F_2$  y  $F_1$ . En condiciones normales la primera es siempre fuerte, y la segunda solamente durante el día. Hay otras dos capas eventualmente presentes: la  $F_3$  y la  $D$  debajo de la  $E$ .

La altura de la capa  $F_2$  está generalmente comprendida entre los 200 y los 400 Km, variando sensiblemente de un año a otro, de estación a estación, de día a día y aun de hora a hora. La altura de la capa  $E$  es muy constante y aproximadamente de 140 Km. La altura de la  $D$  varía entre 35 y 90 Km, cuando existe y generalmente se presenta a 80 Km.

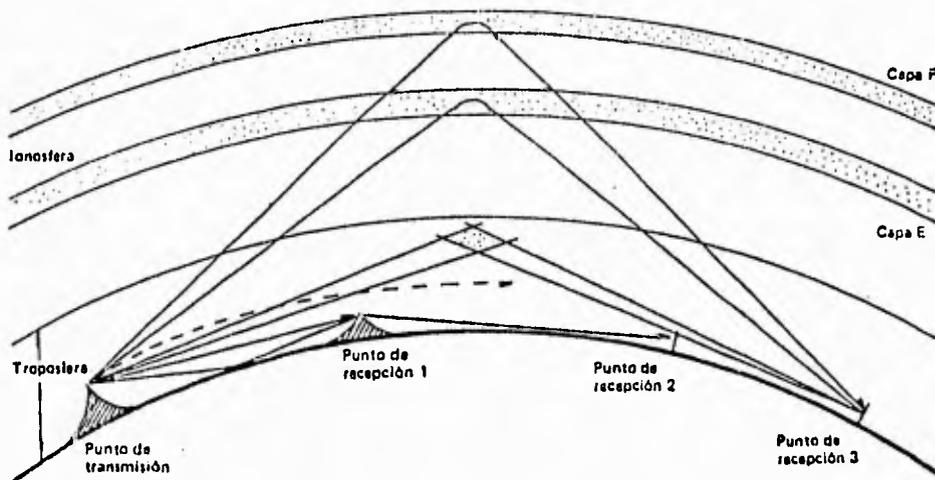


Figura 3.1 Capas de la ionosfera

### III.1.15 Absorción.

Es evidente que la absorción en la ionosfera es un factor importante en la propagación de la energía electromagnética. Cuando un electrón libre, que ha sido excitado por una onda de radio, choca con una partícula, parte de su energía cinética se vuelve a irradiar con fase fortuita y el resto se disipa en calor. La primera parte de la energía también se pierde. Si el camino libre del electrón es tal que este tiene tiempo de absorber considerablemente energía de la onda, pero no la ha tenido para volver a irradiar, la absorción es máxima. Así en un medio determinado para una onda de alta frecuencia, la absorción por unidad de tiempo varía con la frecuencia, disminuyendo cuando la frecuencia se eleva a causa de que el electrón tiene menos tiempo de recoger y reirradiar alguna energía, mejorando sus posibilidades de irradiar apreciable energía antes de chocar con un átomo, molécula o ion.

La variación regular de la absorción con la frecuencia es perturbada, sin embargo por los efectos del campo magnético terrestre

### III.1.16 Frecuencia crítica.

Si la frecuencia de una onda que alcanza la ionosfera con incidencia vertical va aumentando, se alcanza un valor para el cual la onda penetra en la región de máxima densidad de ionización sin que vuelva a la tierra. Esta frecuencia se llama crítica. Las frecuencias más altas atraviesan la ionosfera sin cambiar de dirección.

### III.1.17 Variaciones normales en la ionosfera.

Como las características de la ionosfera depende de la cantidad de radiación solar que recibe, debe esperarse que las alturas y frecuencias de las capas sufran variaciones cíclicas de acuerdo con el horario y por estaciones según la radiación solar llega a cualquier porción particular de la ionosfera. Se encuentran también variaciones que corresponde al ciclo rotacional solar de 27-28 días y a los 11.1 años del ciclo de manchas solares. Debe suceder también que las características de la ionosfera en el ecuador difieran de las regiones polares.

### III.1.18 Variaciones diurnas.

Las variaciones diurnas son más pronunciadas en las capas D, E y  $F_1$ . La densidad y por lo tanto, la frecuencia crítica de las capas E y  $F_1$  siguen la altura del sol casi exactamente a causa de la rápida recombinación en estas regiones, pero la capa E no se anula completamente durante la noche debido a otros factores de ionización. La frecuencia crítica en la capa E es máxima a medio día. La frecuencia crítica de la capa D no se toma en cuenta por ser muy baja, y principalmente por tratarse de una capa de mucha absorción.

A causa de la lenta recombinación en la capa  $F_2$ , las variaciones diurnas de la frecuencia crítica se retrasan con relación a la altura del sol en varias horas. En invierno se alcanza la máxima poco después de medio día, en verano hasta las últimas horas de la tarde. Las variaciones diurnas mayores en el hemisferio norte corresponde al aumento en el verano, durante el día, para la capa  $F_2$ .

### III.1.19 Ciclo solar rotacional.

No todas las partes de la superficie del sol emiten radiaciones o partículas ionizantes con la misma intensidad. Las manchas solares estables tienen un efecto apreciable sobre la ionosfera. La distribución de las mismas varía en largos periodos de tiempo pero es casi constante en los 27 días del ciclo de rotación solar. Esto significa que, sobrepuesta a otras variaciones, existe una tendencia de las características de la ionosfera a repetirse cada 27-28 días, siempre en condiciones normales.

s

### III.1.20 Variaciones geográficas.

Cuando el ángulo cenital del sol es bajo, se reduce el efecto de las radiaciones. Esto produce un efecto de latitud que da por resultado frecuencias críticas más altas en las regiones ecuatoriales que en las polares. Existe también un efecto de longitud; las características de la ionosfera no son iguales en todos

los puntos de la misma latitud geomagnética, la cual es bastante diferente de la geografía a causa de estar bastante distantes los polos magnéticos y geográficos.

### III.1.21 Absorción excesivamente prolongada.

El mismo tipo de radiación ionizante es emitida, a veces, por las perturbaciones solares que se producen y desaparecen gradualmente, en lugar del rápido incendio del hidrógeno. El molesto efecto sobre la capa D y la propagación en alta frecuencia es idéntica al anterior, pero su producción y desaparición son más lentas y la absorción máximas no es generalmente tan elevada. Muy a menudo las frecuencias próximas a la de perforación de la capa  $F_2$  no son afectadas apreciablemente y las comunicaciones puedan mantenerse durante estos largos periodos utilizando una frecuencia suficientemente alta para que la absorción no sea excesiva.

### III.1.22 Desvanecimiento (fading)

En mayor o menor grado la señal recibida por onda de espacio presenta fluctuaciones en su intensidad. A veces, estas variaciones tienen componentes que por corto tiempo aparecen más o menos periódicamente, otras veces se presentan sin ritmo. Cuando las fluctuaciones de la intensidad del campo son lo suficientemente rápidas para ser apreciadas con facilidad se denominan "desvanecimientos". Las fluctuaciones largas (por un tiempo superior a un minuto) se llaman más a menudo "variaciones de intensidad de campo", pero no existe una división absoluta entre estos fenómenos.

#### III.1.22.1 Desvanecimiento por absorción.

Cuando se verifica una rápida variación del coeficiente de absorción del medio de transmisión (o parte de él) la intensidad de la señal fluctúa. Generalmente estas fluctuaciones no se producen con suficiente rapidez para clasificarlas como desvanecimiento, pero probablemente constituye el ejemplo más sencillo del fenómeno.

#### III.1.22.2 Desvanecimiento por saltos.

A frecuencias próximas a la (VHF) o para distancias próximas a la límite, un ligero cambio en la altura virtual o en la frecuencia de la capa  $F_2$  puede llevar el punto de recepción dentro o fuera de la zona de silencio como la frecuencia crítica y altura virtual fluctúan a menudo ligeramente, debido a la turbulencia de la ionosfera, esta condición prevalecerá en ciertas ocasiones para determinadas distancias desde el transmisor. La fuerte fluctuación de la intensidad de la señal se denomina desvanecimiento por saltos.

#### III.1.22.3 Desvanecimiento por interferencia.

Todos los tipos de desvanecimiento antes citados pueden considerarse como una modulación en amplitud, donde la modulación se lleva a efecto por la variación de la atenuación sufrida por la onda durante su propagación.

La forma más común y más molesta de desvanecimiento esta producida por un mecanismo algo más complejo. Se le llama "desvanecimiento por interferencia" a causa de estar producida por la resultante variable de la interferencia ocasionada por los inestables y múltiples caminos de las ondas.

### III.1.23 Atenuación.

La transmisión de una señal implica una serie de consideraciones importantes, de tipo natural ya sea geográfico, o meteorológico los cuales propician una atenuación importante en la señal transmitida. Dentro de estos tenemos:

- a) Atenuación por lluvia.
- b) Efectos troposféricos.
- c) Atenuación por acumulación de agua (lagos y ríos).

#### a) Atenuación por lluvia.

Este tipo de atenuación depende en cierta forma del tipo de lluvia (convectiva, ciclónica sin forma definida), así como de su intensidad. Como el tamaño y la distribución de las gotas de lluvia, es una función del tipo de lluvia y su intensidad, se han propuesto varios tipos de modelo diferentes para poder definir correctamente estas situaciones. Un mapa que muestre este tipo de información se encuentra fácilmente en cualquier parte del mundo, quedando clasificada por regiones con diferentes tipos de climas. Muchos de estos tipos de datos se tienen por medio de modelos probabilísticos, basados en fenómenos anteriormente observados.

Estos datos proporcionan información acerca de la frecuencia y la duración de cada periodo de lluvia y humedad relativa en el medio.

#### b) Efectos troposféricos.

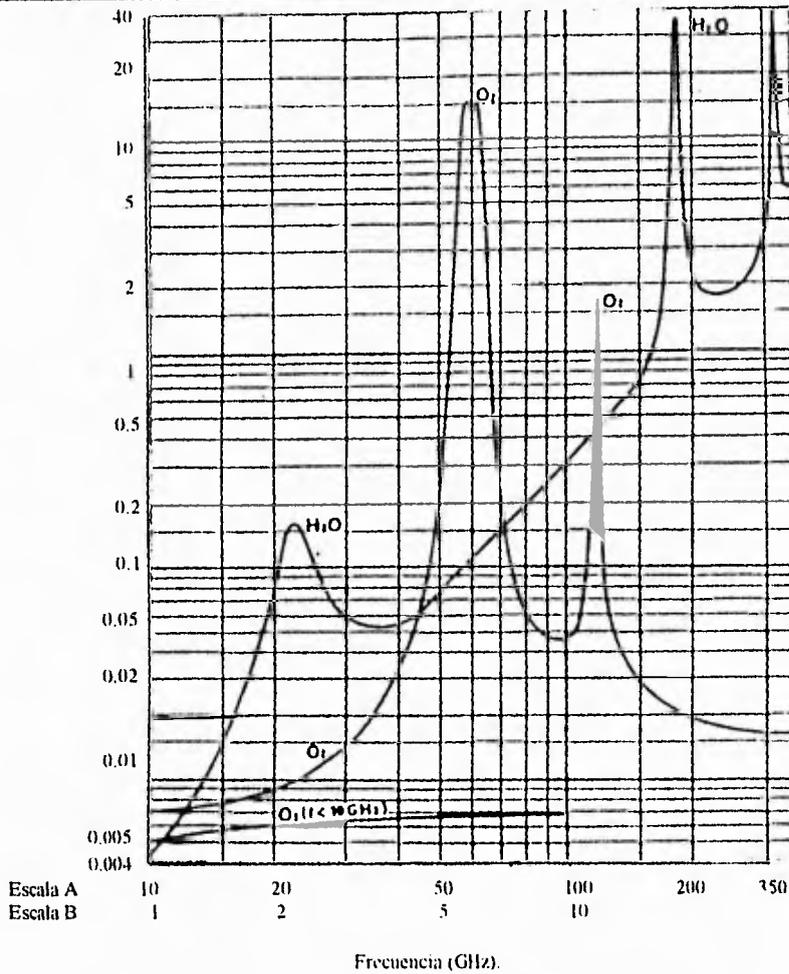
Elevación en la temperatura atmosférica, atenuación por ruido, curvatura de los rayos transmitidos, son algunos de los efectos más importantes en este caso.

El efecto de la curvatura en la troposfera, es inversamente proporcional a la curvatura ionosférica, siendo totalmente independiente de la frecuencia de transmisión.

El oxígeno y el vapor de agua, son capaces de absorber una cantidad apreciable de energía de una onda que ha sido transmitida por medio de un dipolo. La energía presenta una atenuación que se incrementa proporcional con el aumento de la frecuencia, en la gráfica 3.1 podemos apreciar lo anterior.

#### c) Atenuación por acumulación de agua (lagos y ríos).

La interacción entre las ondas electromagnéticas son acumulaciones de agua, así como la lluvia causa una atenuación, en los lagos o ríos se produce una absorción considerable, esparcimiento y despolarización



Gráfica 3.1 Atenuación atmosférica por oxígeno y vapor de agua.

de la señal. Los primeros dos efectos, son más notorios en frecuencias por arriba de lo 10 GHz. La despolarización de la señal, puede decirse que no es un daño muy grande para señales con una sola polarización, pero por características es mejor una bipolarización, a la cual afectaría drásticamente.

### III.1.24 Antenas.

Las antenas sirven como resistencia de carga de propagación en el transmisor o como interceptor de señal en el receptor; por tanto tienen una doble relación llamada reciprocidad.

Las funciones de emisión y recepción de una antena utilizan idénticas características en lo referente a longitudes de onda, campo e impedancia. Por tanto en muchas aplicaciones de baja frecuencia, particularmente en las combinaciones portátiles de transmisor y receptor (transceptor), se utiliza la misma antena para funciones de transmisión y recepción.

Como equipo transmisor, la antena debe convertir las componentes de tensión y corriente de la señal en campos eléctricos y magnéticos que combinados, se propagan a través del espacio.

Inversamente, durante la recepción, la antena debe interceptar los campos eléctricos y magnéticos que constituyen la energía de la señal transmitida y reconvertirla en los valores equivalentes de tensión y corriente para su aplicación y demodulación.

### III.1.24.1 Clasificación de las antenas.

- 1.- De acuerdo a su aplicación se tienen: Antenas para comunicaciones, navegación, radar, radio - astronomía, telemetría.
- 2.- Por sus características de radiación: Omnidireccionales, unidireccionales y circularmente polarizadas.
- 3.- Por su geometría: Monopolo, reflector parabólico, esquinas reflectoras de apertura, (loop) bipolo, helicoidales, de lente y ángulos lineales y arreglos planos.
- 4.- En una clasificación general: Antena eléctricamente pequeña y grande de onda viajera resonante, independientes de la frecuencia de reflector.

### III.1.24.2 Parámetros de las antenas.

a. *Patrón de radiación*: Forma en que esta distribuido el campo alrededor de esta antena.

b. *Regiones de campo*  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lejanas} \\ \text{Media} \\ \text{Cercana} \end{array} \right.$

En el campo lejano se tienen las siguientes características:

Los campos E y H son transversales a la dirección de propagación, y el vector de potencia es real sólo tiene dirección radial. En el caso general los campos eléctrico (E) y el magnético (H) tienen componentes en "y" refiriéndose a un sistema de coordenadas esféricas. El campo tiene el carácter de onda plana y el cociente de E y H es igual a la impedancia característica del medio. La densidad de los campos decrecen inversamente proporcional a la distancia. La distribución espacial (la forma) no depende de la distancia.

c. *Radiación isotrópica*: Es el dispositivo que radia igual en todas direcciones. Tiene por lo tanto un patrón de radiación esférico y nos sirve para cuantificar las ganancias de todas las antenas.

d. *Intensidad de radiación*: Potencia radiada por ángulo solido, la intensidad de radiación es un parámetro del campo lejano que nos permite teóricamente (matemáticamente) la forma en que radia una antena (patrón de radiación).

e. *Ganancia de una antena:* Se llama también ganancia directiva y cualitativa. Es una medida de la capacidad que tiene una antena para concentrar o dirigir la energía radiada en ciertas direcciones con respecto a otra antena de referencia (generalmente la antena isotrópica).

f. *Ancho de haz:* Parámetro que indica el rango angular en el cual la radiación es más intensa. Es convención medirla entre los puntos en los cuales la intensidad de radiación tiene la mitad de su valor máximo.

g. *Directividad:* Puede definirse como la relación entre la máxima intensidad de radiación y la intensidad de radiación de una fuente puntual isotrópica que radie la misma potencia total.

h. *Apertura de dispersión:* El área efectiva de una antena, nos relaciona la potencia proporcionada a la carga con la densidad de potencia incidente.

La apertura de un radiador isotrópico es igual a la apertura entre la directividad de cualquier antena.

Antena	Usos más comunes
Monopolo	Recepción y transmisión de ondas de radio
Yagi-Uda	Recepción y transmisión de datos
Logoperiódica	Recepción y transmisión de televisión
Lazo	Transmisión de ondas de televisión
Helicoidal	Se utiliza en microondas
Reflector Corner	En transmisión de datos, enlaces de voz
Alimentadores	En transmisión y recepción de microondas
Corneta Corrugada	Exclusivamente en ondas de televisión
Reflector parabólico	Enlaces de microondas, enlaces satelitales

Tabla 3.1 Clasificación de antenas y su uso más común.

## III.2 Características de las bandas de frecuencia

A diferencia de los medios de transmisión por cable y alambre, los cuales están diseñados para tal función, el radio está lejos de ser el medio óptimo y sus características no siempre se comprenden completamente. La mayor parte del diseño de sistemas de radio se dedica al cálculo del comportamiento probable de la trayectoria dada y encontrar las técnicas de modulación y procesamiento de la señal para superar los defectos del medio. Los circuitos de radio se caracterizan por su frecuencia portadora, la cual determina gran parte del comportamiento de la trayectoria.

La interferencia y el ruido presentes en un sistema de comunicación depende en gran parte, de la frecuencia de transmisión. Además las características de propagación de las ondas radiadas hacen que algunas frecuencias de transmisión sean útiles para ciertas aplicaciones e inútiles para otras. La tabla 3.2 muestra el registro del espectro electromagnético con las designaciones de las bandas de frecuencia. Durante la segunda guerra mundial, por razones de seguridad, se designaron por medio de letras las bandas de frecuencia para microondas. Estas designaciones, que se han extendido a más altas y que se usan corrientemente hoy en día aparecen en la tabla. También se indican los usos típicos de dichas bandas. Al observar el espectro electromagnético desde la frecuencia más baja hasta la más alta, se pueden hacer ciertas consideraciones generales respecto a su comportamiento y aplicación.

Las frecuencias más bajas, abajo de 300 KHz (VLF y LF) se usan en comunicaciones de rango muy largo, pero su ancho de banda de información es muy limitada y requieren potencia muy alta. En este rango de frecuencia la propagación es sobre el mundo entero, por lo tanto sólo se puede asignar básicamente una vez (es decir, no se puede asignar en otra parte del mundo). La banda de MF (300 a 3000 KHz) se ocupa normalmente en radiodifusión y uso militar; su capacidad de información es básicamente limitada, la potencia que requiere está dentro del orden de los Kilowatts y su efectividad durante el día está dentro del rango de los cientos de metros; la propagación básica es en onda de tierra (es decir, se sigue la curva de la Tierra). La banda de HF (3 a 30 MHz) es la banda tradicional de largo alcance para la comunicación punto a punto. Su propagación en distancias largas se hace mediante una o más reflexiones en las capas de la ionosfera con las manchas solares y la hora del día. Puesto que la ionosfera tiene varias capas con movimiento irregular y que en la trayectoria de propagación entran áreas bastante grandes de esas capas, la señal que se recibe sufre los efectos de múltiples trayectorias y está sujeta al desvanecimiento estadístico.

Las señales de radio de aproximadamente 3 a 30 GHz tienden a pasar a través de la ionosfera en lugar de reflejarse o refractarse lo suficiente para su uso más allá del horizonte visual. Estas frecuencias tan altas son útiles para comunicación en línea de vista, por distribución troposférica, difracción o con un satélite como repetidor.

En ocasiones, se usa el término microondas para referirse en forma genérica a las ondas UHF, SHF y EHF o bien para indicar las ondas de longitud más pequeñas que las UHF.

Por lo cual, en el presente trabajo se va a utilizar a usar la palabra microondas para referirnos a las ondas UHF y SHF que guardan mucho parecido y cuyas características son similares.

Las microondas para línea de vista (radioenlaces) en las bandas de 150 MHz, 450 MHz y 900 MHz proporcionan la capacidad de transmisión multicanal de 12 a 120 canales nominales de 4 KHz en

Banda de frecuencia	Nombre	Banda de microondas	Letras de identificación	Usos típicos	Medio de Transmisión
30 a 300 Hz	Extremadamente baja Frecuencia			Comunicación submarina	Pares de alambres, ductos superficiales (onda de tierra)
0.3 a 3 KHz	Frecuencia de voz			Telefonía, terminales de datos.	
3 a 30 KHz	Muy baja frecuencia (VLF)			Navegación de largo alcance, sonar, telefonía telergrafía estandar de tiempo y frecuencia.	
30 a 300 KHz	Baja frecuencia (LF)			Auxiliares de la navegación, radiofaros, industria (lineas).	
300 a 3,000 KHz	Frecuencia media (MF)			Radio marítimo, buscador de dirección; llamadas de auxilio; comunicación de buques guardacostas, radio comercial AM, aficionados unidades móviles, seguridad pública.	cables coaxiales, reflexión ionoférica, (onda de cielo).
3 a 30 MHz	Alta Frecuencia (HF)			Busqueda y rescate; radio telefonía móvil, telegrafo, teléfono, facsimil, barco a tierra, negocios banda civil, radio aficionados, comunicación militar.	

Banda de frecuencia	Nombre	Banda de microondas	Letras de identificación	Usos típicos	Medio de Transmisión
30 a 300 MHz	Muy alta frecuencia (VHF)			Canales de televisión VHF, radio FM, transporte terrestre, aviación privada; control de tráfico aéreo, taxis; policía auxiliares de la navegación	Cables coaxiales, onda de cielo (dispersión ionosférica y troposférica)
0.3 a 3 GHz	Ultra alta frecuencia (UHF)	0.5 a 1.0	VHF C	Canales de televisión UHF, radiosonda, auxiliares de radar de vigilancia, comunicación por satélite, radio altímetros	Dispersión troposférica y comunicación a línea de vista
		1.0 a 2.0	L D		
3 a 30 GHz	Super alta frecuencia (SHF)	2.0 a 3.0	S E	Comunicación via satélite y espaciales enlace de microondas; radar aéreo; radar (operaciones aéreas, vigilancia y meteorológico) radio altímetro.	Guía de onda, conmutación, penetración ionosférica
		3.0 a 4.0	S F		
30 a 300 GHz	Extremadamente alta frecuencia (EHF)	4.0 a 6.0	C G	Servicio de ferrocarriles, sistema de radar para aterrizaje; en proyectos de experimentación	Guía de onda
		6.0 a 8.0	C H		
		8.0 a 10.0	X I		
		10.0 a 12.4	X J		
		12.4 a 18.0	Ku J		
		18.0 a 20.0	K J		
20.0 a 26.5	K K				
26.5 a 40.0	Ka K				
	Infrarroja			Comunicación óptica	fibras ópticas
	Luz visible				
	Ultravioleta				

Tabla 3.1 Designación y usos de las bandas de frecuencia.

configuración FDM sobre trayectorias en línea de vista. Arriba de los 2 GHz, los sistemas en línea de vista transmiten hasta 1800 canales y en algunos casos hasta 2700 canales telefónicos sobre portadora de radiofrecuencia.

En los sistemas de línea de vista las ondas de radio viajan en línea recta y se limitan en el horizonte a causa de la curvatura de la tierra.

Generalmente, las ondas de radio que se propagan en línea recta se curvan o difractan más allá de un cierto punto. El horizonte óptico se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$d = (3h/2)^{1/2}$$

donde  $d$  es la distancia desde la antena hasta el horizonte óptico en millas y  $h$  es la altura de la antena sobre la superficie de la tierra en pies.

En trayectorias de radio con varias millas de largo, las microondas pueden sufrir desvanecimiento; entre más larga es la trayectoria hay más posibilidades de que suceda éste.

El desvanecimiento es la variación del nivel de una señal con el tiempo. En los sistemas en línea de vista las causas del desvanecimiento son los cambios atmosféricos, las reflexiones en la tierra y el agua en la trayectoria de propagación. Cuando se usan frecuencias arriba de 10 GHz se debe tomar en cuenta la atenuación que causa la lluvia. Las bandas de frecuencia que se usan más comúnmente con microondas en línea de vista son de 2, 4, 6 y 7 GHz; por reglamentación nacional y por recomendaciones del CCIR todas las bandas transportan generalmente hasta 1800 canales de voz FDM, pero en partes de las bandas de 6 y 7 GHz se permite la operación con 2700 canales por portadora de radiofrecuencia.

Los satélites geoestacionarios se pueden considerar como repetidores de radiofrecuencia desde 960 hasta 1200 canales de voz (por transponder) en configuración FDM o, como se empieza a hacer actualmente, en configuración por distribución de tiempo para los sistemas digitales.

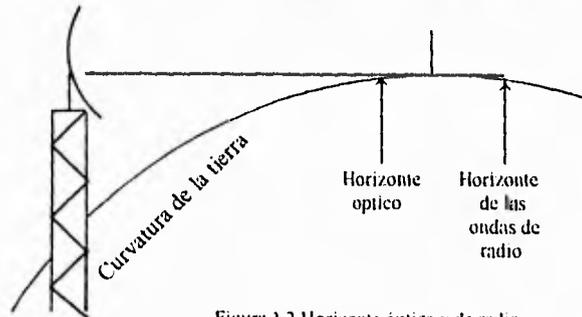


Figura 3.2 Horizonte óptico y de radio

Se transmite hacia el satélite en la banda de 6 GHz y este amplifica la señal y la convierte a la banda de 4 GHz, las dos bandas se comparten con los servicios terrestres de microondas en línea de vista.

A causa de la congestión en las bandas de 4 y 6 GHz cada vez más se recurre las bandas de 12 y 14 GHz para los servicios, especialmente para las comunicaciones nacionales e internacionales. Los sistemas de

satélite se usan para enlaces muy largos y hasta 1972, se usaron casi exclusivamente para comunicación internacional; actualmente hay gran tendencia hacia lo que se podría llamar coloquialmente «sistemas domésticos».

En la figura 3.3 se ilustra la aplicación simple de la comunicación por satélite para servicio intercontinental en el que tres satélites geoestacionarios con ubicación adecuada pueden cubrir casi el 100% de la Tierra, exceptuando las zonas polares.

Por definición, los satélites geoestacionarios se ubican a 22,300 millas (35,900 Km) reglamentarias de la superficie de la Tierra con un retardo en trayectoria de la propagación Tierra-Satélite-Tierra de 0.25 s y un retardo para el trayecto de ida y vuelta de alrededor de 0.5 s. En el diseño de circuitos telefónicos para voz, señalización y circuitos de datos se debe tomar en cuenta dicho tipo de propagación relativamente largo.

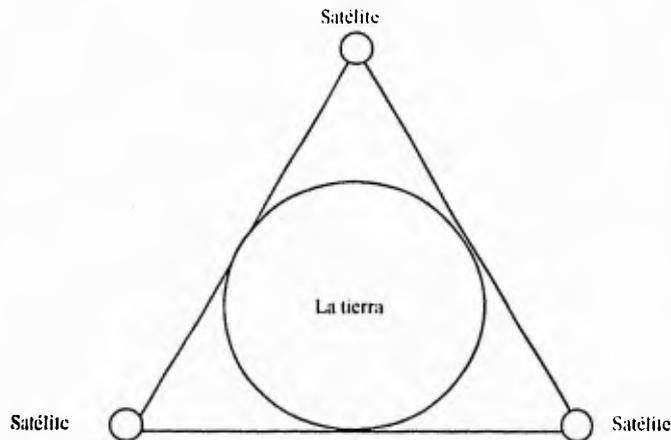


Figura 3.3 Se puede lograr una cobertura de casi el 100% con tres satélites geoestacionarios convenientemente ubicados.

Para la dispersión troposférica se aprovechan los fenómenos de refracción y reflexión en la sección de la atmósfera terrestre que se conoce como troposfera, su funcionamiento se muestra en la figura 3.4, la dispersión troposférica (tropo) es una técnica para comunicaciones por microondas más allá del horizonte en el cual se trabaja en las bandas de 400 MHz y 900 MHz y en las de 2 y 4 GHz se manejan de 12 a 240 canales telefónicos FDM.

Con tales sistemas se puede transmitir señales de radio de UHF más allá de la línea de vista con una sola reflexión de hasta 640 Km (400 millas). Los sistemas tropo son caros, los transmisores emiten 1 o 10 KW, para las antenas se usan reflectores parabólicos de 5, 10 o 20 m de diámetro y no se requiere determinar la altura de las torres, debido a que estas únicamente se utilizan como soporte de las antenas, y los sistemas de recepción son de diversidad cuádruple con receptores de bajo ruido. Los tropo se usan para enlaces de línea relativamente con poca carga para llegar a lugares de difícil acceso o sobre el agua y regiones apartadas.

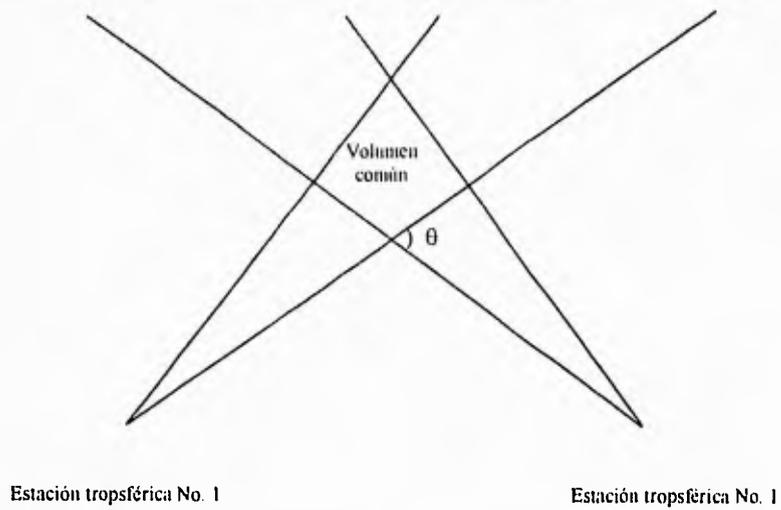


Figura 3.4 Modelo de distribución troposférica ( $\theta$  = ángulo de distribución)

### III.3 Análisis de los enlaces.

#### III.3.1 Introducción.

A lo largo de la historia, la comunicación entre dos puntos a presentado dos problemas. En primer lugar la información debe codificarse de alguna forma, para que se pueda transmitir y se pueda comprender tanto en el origen (transmisor), como en el destino (receptor). En segundo lugar se debe de transportar la información desde un lugar origen hasta otro destino. La comunicación electrónica, ha podido resolver el primer problema, como se pudo apreciar en los capítulos anteriores. Por medio de la modulación, y una serie de procesos, realizados a la señal a transmitir.

Se procederá a realizar un breve análisis sobre las formas y técnicas usadas para transmitir de una manera eficiente una señal de un lugar a otro, sin que esta sufra un degradamiento apreciable, y sea posible su comprensión en el lugar destino.

De manera general se pueden clasificar las transmisiones modernas de señales, en las siguientes:

Enlaces satelitales.	
Enlaces microondas.	{ UHF (Enlace por radiomodem)
	{ SHF (Enlace por microondas convencional)

#### III.3.2 Enlaces satelitales.

Para definir qué es un sistema de satélite, se debe conocer algo sobre sus características básicas y el desarrollo de estos sistemas. Los sistemas de satélite son un desarrollo relativamente nuevo en la historia de las comunicaciones, puesto que no existían hasta que el hombre entra en la era espacial, a fines de los años cincuentas.

En la figura 3.5 se pueden apreciar los componentes básicos de un sistema de satélite típico. El satélite gira en la órbita alrededor de la tierra y recibe su energía del sol utilizando fotoceldas. Cuenta con una o dos antenas, las cuales reciben señales de la tierra y las envían de nuevo a ella hacia otras direcciones.

Una estación terrena transmite información al satélite en una frecuencia portadora específica, típicamente en una banda de 6 gigahertz (6 GHz). Esta frecuencia es la del enlace ascendente. El satélite recibe la información, la refuerza, amplifica y corrige retransmitiéndola a la tierra en una frecuencia portadora diferente, típicamente de 4 GHz. Esta frecuencia es la del enlace descendente. Se dice, entonces, que el satélite funciona en bandas de frecuencias de 6/4 GHz (Banda C).

En el caso de la figura 3.5, la antena del satélite ha sido diseñada para proporcionar radiación de todas partes visibles de la tierra por el satélite. Con un satélite funcionando a una distancia de 22,300 millas (35,900 Km) de la tierra, quedaría expuesto a esta radiación el 40 % de la superficie de la tierra, aproximadamente. Utilizando un único satélite en una órbita de este tipo, una estación terrena A puede enviar información a cualquier estación incluyendo a ella misma, que se encuentre dentro de este 40 % de la superficie terrena. Si el punto A va a enviar información al punto B, nada impide que el punto C reciba esa información, a menos que se encuentre codificada de forma que no sea capaz de descifrarla si no se conoce la clave adecuada.

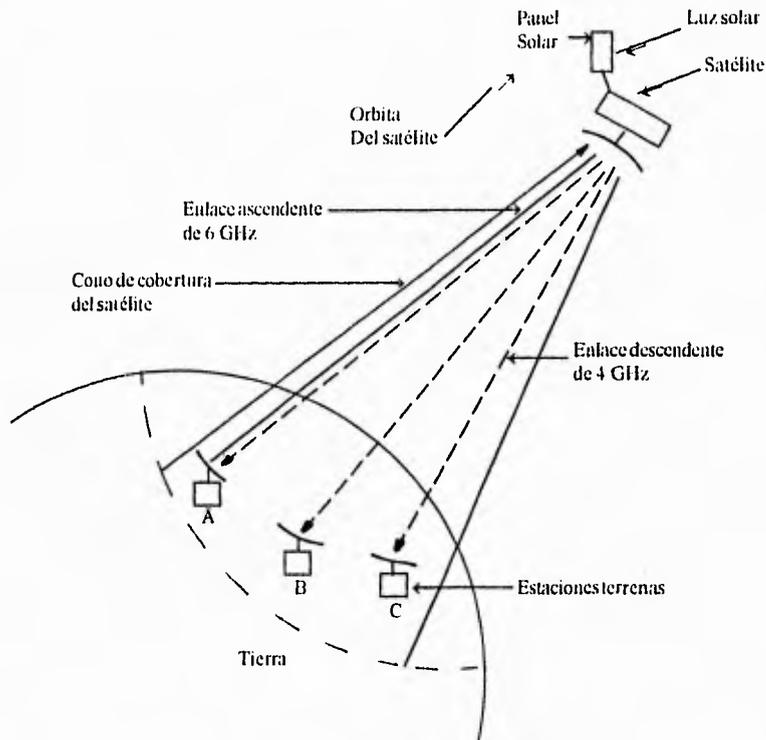


Figura 3.5 Configuración básica de la comunicación vía satélite

Un ejemplo muy conocido son las transmisiones de TV a ciudades del mismo o diferente continente desde un único estudio central, en este caso, el satélite funciona como satélite de radiodifusión.

### III.3.2.1 Estaciones terrenas.

El término "estación terrena" sirve para designar al equipo de radio que se localiza en la superficie de la tierra y que puede comunicarse con los satélites. La "estación terrena" es un equipo de radio, que se encuentra sobre la superficie de la tierra, que tiene comunicación con otros equipos similares en la superficie misma. Actualmente, una estación terrena de radio opera con otras estaciones sobre la tierra a través de un satélite repetidor de órbita.

Casi todos los satélites comerciales de comunicación son geoestacionarios. Tales satélites, giran alrededor de la tierra en un período de 24 horas, tal y como ya se mencionó anteriormente. Por necesidades de operación, este satélite se debe encontrar a una distancia de la tierra de 22300 millas terrenas o 35900 Km sobre la tierra.

A continuación en la figura 3.6 definimos un diagrama sencillo de las partes que componen a una estación terrena.

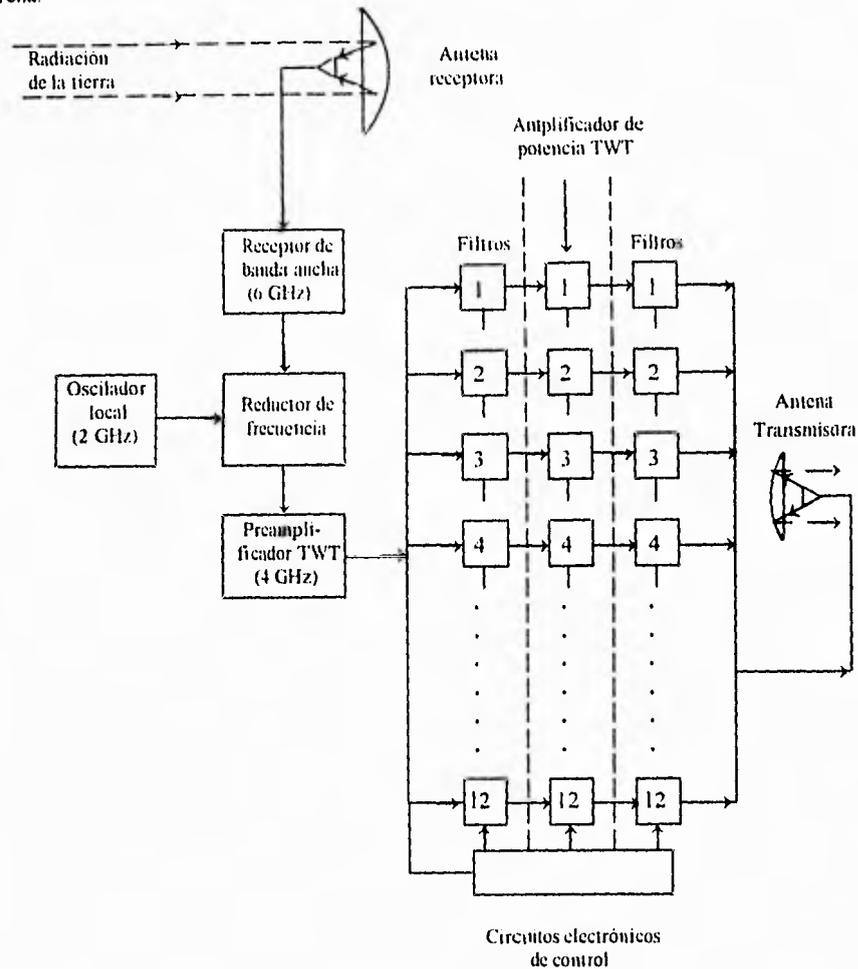


Figura 3.6 Estructura típica de un transmisor vía satélite.

Otra condición que se puede observar en la figura antes mostrada es que la estación transmisora terrena debe proporcionar una radiación muy direccional para que la reciba el satélite que se está utilizando y no la reciba otro satélite cercano, porque hay muchos satélites en órbita. Como consecuencia de esto, el transmisor de la estación terrena y la antena se deben diseñar cuidadosamente para lograr la anchura necesaria del haz de radiación adecuada. También debe ser capaz de localizar al satélite y seguir su posición, para que la radiación pueda alcanzar la antena de este mismo. Este problema se soluciona si el satélite permanece en la misma posición relativa a la tierra siempre. Puesto que la tierra gira sobre su

propio eje, la única forma de conseguir que el satélite esté en posición fija con respecto a la superficie de esta debe tener sincronizado el movimiento del satélite con la rotación de la tierra. Una órbita que logra esta sincronización se denomina órbita geosíncrona.

### III.3.2.2 Órbitas.

Existe una variedad de órbitas que siguen los satélites terrenos. En la figura 3.7, se puede observar una variante más.

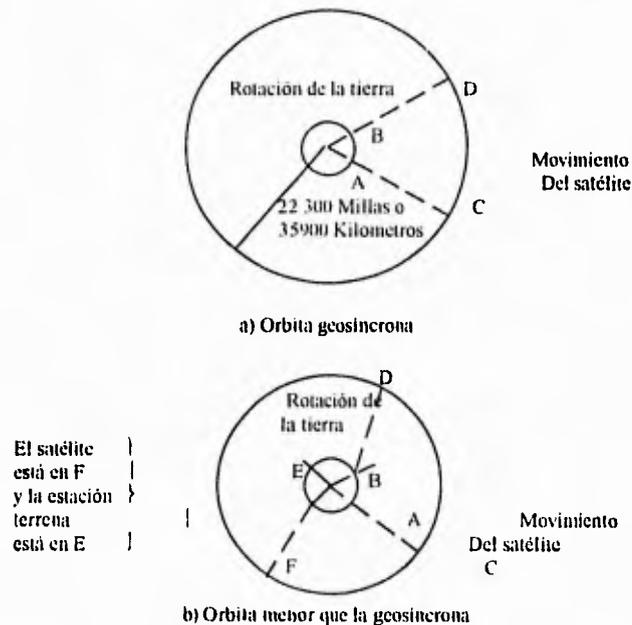


Figura 3.7 Órbitas de los satélites.

La figura anterior representa lo que ocurre si el satélite se encuentra en una órbita menor. En ésta el satélite se mueve más rápidamente, y como consecuencia se necesita un cambio considerable en la posición de la antena de la estación terrena, queriendo transmitir al satélite cuando está en la posición D, habiendo pasado la estación terrena del punto A al punto B. Al cabo de un tiempo, el satélite pasará el horizonte de la tierra, no teniendo acceso, a la estación terrena, pues el satélite se encontrará en el punto F y la estación terrena en el E. A menos que haya otro satélite en la misma órbita que aparezca cuando el otro desaparezca por el horizonte, la estación terrena no podrá comunicar por satélite mas que unas 8 horas al día. Incluso con varios satélites en órbita, la parte de la superficie terrena cubierta en cada momento estaría cambiando continuamente y la antena terrena tendría que ser capaz de cubrir el arco celeste entero. Por esta problemática los satélites utilizan preferentemente las trayectorias geoestacionarias.

Existe un aspecto muy importante a considerar en un enlace satelital. El ruido, una antena utilizada solo para recibir señales varía en función de la abertura de haz de la antena, en la figura 3.8 se muestra este efecto.

Si la abertura de haz de la antena incluye otros satélites de forma que detecte una zona amplia de radiación electromagnética dispersa, todas estas señales aparecerán en el receptor como ruido y tenderán a bloquear la señal deseada. Cuando hay señales con mucho ruido, se debe emplear modulación de FM de banda muy ancha en la transmisión para detectar con exactitud la señal. Al ser las antenas de 1 a 3 metros de diámetro, no se puede conseguir un haz muy estrecho y como consecuencia, se debe emplear un ancho de banda 10 veces mayor de lo normal. Por tanto, una señal de TV de 4 KHz ocupará el ancho de banda completo de 36 MHz de un receptor de satélite para obtener una transmisión de imagen con buena calidad. De forma similar, una canal de voz de 4 KHz puede necesitar una señal de FM con un ancho de banda de 40 KHz para transmitirse apropiadamente. Esto tendría como consecuencia que solo se podrían enviar 100 canales de voz con un solo transceptor. El costo de una estación terrena se reduce utilizando una antena más pequeña, pero como resultado aumenta el costo de transmisión significativamente, puesto que el ancho de banda del satélite se utiliza en forma ineficaz. Debido a la necesidad de suministrar servicio a estaciones terrenas cada vez más pequeñas, las frecuencias que se utilizan son cada vez más grandes, puesto que parece que los problemas del sistema son menores a altas frecuencias. En forma esquemática mostramos un enlace satelital a detalle.

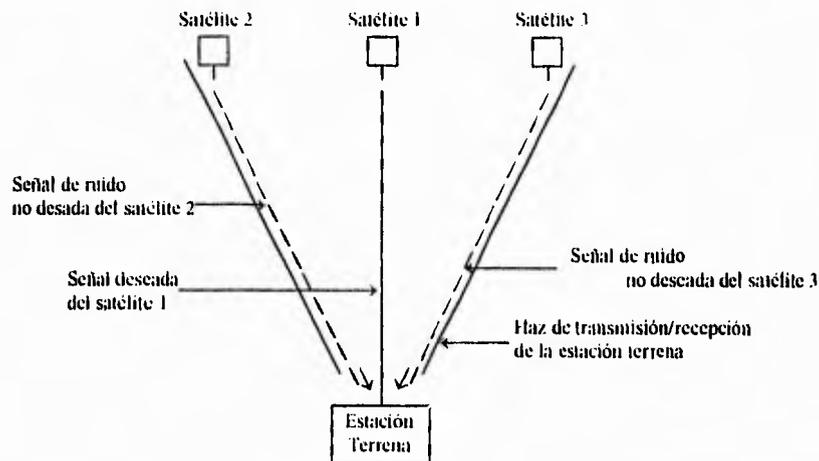


Figura 3.8 Efecto de la abertura de haz de la antena de una estación terrena sobre las interferencias de señal.

Una forma de aprovechar las posibilidades que nos ofrecen los satélites se basa en diseñar una antena capaz de transmitir en forma debida a las zonas en la tierra. Generalmente cuando más grande es la antena, mejor es la precisión en el enfoque de la radiación. Cuando más preciso sea el control de la radiación más juntos pueden estar los satélites en una órbita sin interferirse unos con otros. Por tanto, el ancho de banda total disponible utilizando una órbita geosíncrona puede ser incrementada utilizando antenas más grandes y mejor diseñadas. Además, puesto que la energía de la radiación que va a la tierra es mayor cuando se utiliza

una antena mejor enfocada, se necesitan antenas más pequeñas en las estaciones terrenas. Esto puede reducir significativamente el costo de la estación terrena aunque se aumente el costo del satélite en sí.

Actualmente, se utilizan antenas de satélite de unos 30 pies (9 m) de diámetro, como las que se utilizan en la serie ATS de satélites. El problema que surge con estas antenas tan grandes es que se necesitan técnicas especiales para adaptar la energía desde el amplificador de potencia a la antena. En frecuencias de microondas, la energía pasa del amplificador de potencia a la antena por medio de guías de onda. El final de la guía de onda que suministra energía a la antena se denomina "corneta". Como se muestra en la figura 3.9.

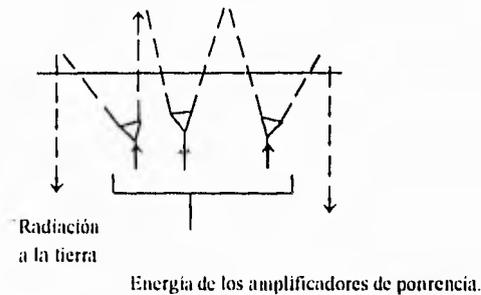


Figura 3.9 Conjunto de cornetas para grandes antenas de satélite.

Se deben utilizar varias "cornetas" de alimentación cuando la antena es grande. Aunque esto aumenta el peso total del satélite, presenta algunas ventajas. Por ejemplo, si cada "corneta" corresponde a una zona determinada de superficie terrena, se pueden seleccionar algunos de ellos, de forma que toda la potencia del satélite se dirija a una área, permitiendo que las estaciones terrenas con antenas receptoras pequeñas y equipos baratos puedan recibir la información.

Otro método consiste en utilizar antenas separadas para una cobertura global y para puntos localizados, permitiendo que haya dos vías de transmisión diferentes y utilizando el mismo canal de frecuencia para comunicaciones separadas. Este uso doble de la frecuencia se espera se popularice en un futuro muy cercano. Estas técnicas incrementan notablemente la capacidad del satélite sin influir significativamente en el costo de este mismo.

### III.3.2.3 Desventajas de un sistema satelital.

Los sistemas satelitales así como pueden presentar importantes ventajas como es la flexibilidad en su manejo, también presentan importantes desventajas, las cuales se deben considerar. A continuación analizaremos brevemente.

**Ruido.**

El ruido en una antena utilizada solo para recibir señales varía en función de la abertura de haz de esta misma. La abertura de haz de la antena receptora incluye a otros satélites, de forma que detecte una zona amplia de radiación electromagnética dispersa, todas estas señales aparecerán en el receptor como ruido y tenderá a bloquear la señal deseada. Cuando hay señales con mucho ruido se debe emplear modulación FM de banda muy ancha en la transmisión, para así detectar con exactitud la señal. Al ser las antenas de uno a tres metros de diámetro, no se puede conseguir un haz muy estrecho y, como consecuencia, se debe emplear un ancho de banda diez veces mayor que el normal. Por tanto, una señal de TV de 4 MHz ocuparía el ancho de banda completo de 36 MHz de un transreceptor de satélite para obtener una transmisión de imagen con buena calidad.

De forma similar, un canal de voz de 4 KHz puede necesitar una señal de FM con un ancho de banda de 40 KHz para transmitir apropiadamente. El costo de una estación terrena se reduce utilizando una antena más pequeña, pero como resultado, aumenta el costo de transmisión significativamente.

**III.3.2.4 Conclusión**

Al inicio de su historia los satélites únicamente fueron vistos como la mejor forma de comunicación para los servicios militares. Actualmente debido a su demanda se a popularizado su uso, en sistemas que manejan un volumen de información considerable y una cobertura amplia con el consecuente descenso en los costos de operación.

Debido a que el enlace requerido para el proyecto no cubre las características de una cobertura amplia y un volumen de información considerable, los costos se elevan por lo cual este medio, se descarta.

### III.3.3 Microondas.

Como se mencionó en el subtema anterior, denominado características de las bandas de frecuencia, una clasificación de microondas, puede ser la siguiente:

Las microondas para línea de vista en las bandas de 150 MHz, 450 MHz y 900 MHz, se conocen como microondas y en particular son capaces de proporcionar la capacidad de transmisión multicanal de 12 a 120 canales nominales de 4 KHz en configuración FDM sobre trayectorias en línea de vista. Arriba de los 2 GHz, se conocen como microondas en la banda SHF, estos sistemas son capaces de transmitir hasta 1800 canales y en algunos casos hasta 2700 canales telefónicos, sobre una sola portadora de radiofrecuencia.

#### III.3.3.1 Microondas (SHF)

A continuación se realiza el análisis para microondas por arriba de 1 GHz. Generalmente, la modulación es en FM, pero cada vez se comprueba que algunas formas de modulación digital, pueden ofrecer una mayor cantidad de ventajas, entre las que podemos mencionar, menor porcentaje de errores, mayor inmunidad al ruido, etc. La mayor parte de los enlaces para comunicaciones de larga distancia o "conexiones" usan microondas en línea de vista. El radio-enlace se forma con radios terminales, frecuentemente con uno o más repetidores y separación de aproximadamente 20 a 50 millas (35 a 85 Km). Naturalmente, algunos "saltos" pueden ser menores de 20 millas o mayores de 50 millas. Los radio-enlaces tienen puntos terminales y puntos de repetición; en los puntos terminales se demodulan todas las portadoras de RF a la banda base; la banda resultante se demultiplexa a la frecuencia de los canales individuales de voz.

La modulación en frecuencia se usa ampliamente, ya que presenta una mejora en los factores de ruido, principalmente en el compromiso del ancho de banda para mejorar la relación señal-ruido arriba de cierto umbral de "ruido", este límite, se conoce como "umbral de mejora de FM". La mayoría de los sistemas con modulación en amplitud están en el orden de los 20 dB

Existen ciertas características, que diferencian a un enlace de microondas de los demás, entre las más importantes se tienen:

- 1.- La señal sigue una línea casi recta, o línea de vista.
- 2.- La propagación de la señal es afectada por atenuaciones en el espacio libre y por fenómenos meteorológicos.
- 3.- Utilización de frecuencias mayores de 1.92 KHz de ancho de banda, con el propósito de permitir la transmisión de mayor información de banda base y reducir el nivel de ruido.
- 4.- Uso de modulación angular para señales de FM o PM o bien modulación en fase para señales BPSK o QPSK, o técnicas de Spread Spectrum.
- 5.- Potencia de 1 a 10 Watts para enlaces terrestres.
- 6.- Potencia de 10 a 25 Watts para enlaces troposféricos.

La transmisión de una señal de microondas implica una serie de consideraciones importantes, en su selección. De tal manera que existen factores, todos ellos de origen natural, ya sea geográfico, meteorológico, etc. Los cuales provocan atenuación en la señal transmitida, influyendo de manera importante en la transmisión de señales.

En trayectorias de radio-enlaces via microondas de corto alcance, abajo de 10 GHz, el nivel de la señal que llega a la antena receptora del extremo distante se estima en menos de 1 dB. Si la salida del transmisor no cambia, el nivel que se recibe permanece sin modificaciones. A medida que la longitud de la trayectoria aumenta, el nivel que se cálculo tiende a decrecer de vez en cuando, esta caída de nivel pueden durar segundos, minutos, o más tiempo este es el fenómeno de desvanecimiento. En el diseño de radio-enlaces se debe tomar en cuenta este fenómeno de manera particular, así como el efecto de atenuación de la señal a través de la distancia que esta recorre

Existen además de las consideraciones atmosféricas, algunos efectos nocivos dentro del sistema, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- 1 - Ruido dentro del sistema.
- 2 - Interferencia de radiofrecuencia (IRF).

### 1 Ruido dentro del sistema.

Se ha mencionado el efecto nocivo de atenuación y desvanecimiento dentro de un enlace tipo microondas, vale la pena mencionar algunas consideraciones contra el ruido, inherente en todo sistema; pero que para el caso es un punto crítico en la selección del tipo de enlace.

Se considerarán básicamente dos tipos de ruido, en los sistemas de microondas; ruido térmico y ruido de intermodulación (RIM). El cálculo del ruido se puede realizar a partir de la expresión en la que se utiliza la constante de Boltzmann.

$$R \text{ (dBw)} = 10 \log k T A$$

Donde  $T$  = Temperatura a la que se produce ruido en el receptor en grados Kelvin.  
 $A$  = Ancho de banda del ruido en Hertz.  
 $k$  = Constante de Boltzmann ( $1.3803 \times 10^{-23}$  J/K)

Una vez que se asigna la cantidad de ruido al receptor, se calcula el ruido térmico. El fabricante proporciona como un dato la cantidad de ruido térmico en el receptor.

El ruido de intermodulación también es característico del sistema y se determina a partir de las especificaciones del fabricante o de las mediciones reales del sistema. Lo más importante es que el ruido aumenta con la carga (es decir al aumentar el tráfico o el nivel de la señal) y cuando se excede el "punto de ruptura" de la capacidad de carga, el RIM se vuelve excesivamente alto.

Para este trabajo tanto el ruido térmico como el ruido de intermodulación son casi despreciables, ya que la cantidad de tráfico que manejará el sistema será mínimo, y aun considerando, transmisiones de datos y voz apenas sería significativo, para el sistema.

### 2 Interferencia de radiofrecuencia (IRF).

Al plantear un sistema de enlace via microondas o al añadir portadoras de RF a las ya existentes, la IRF del emisor existente en el área debe de ser objeto de un cuidadoso estudio. Por lo general, la oficina con

autorización por parte del gobierno tiene información acerca de cada uno de los emisores, así como sus límites de radiación; los límites son de gran importancia, así como la direccionalidad, y los lóbulos laterales de radiación, de la antena. Si se exceden los valores preestablecidos se creará interferencia de RF hacia otros sistemas ya existentes, produciendo desajustes en la recepción y en el peor de los casos pérdida total o parcial de esta misma.

Cuando por razones de distancia es necesario colocar un sistema de microondas con repetidores activos, la configuración interna básica de este mismo en banda base se observa en la figura 3.10.

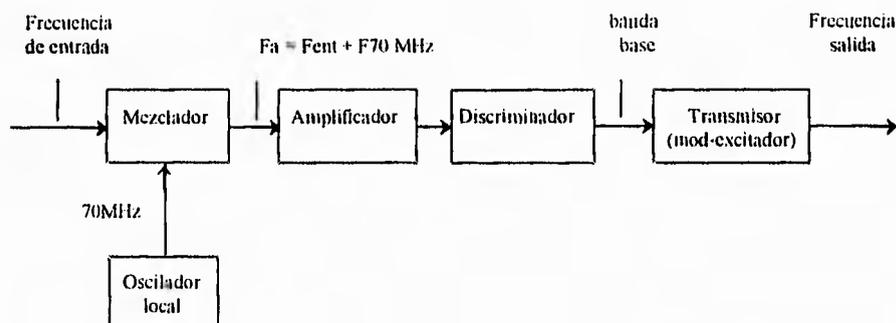


Figura 3.10 Configuración básica de un repetidor de microondas.

Este repetidor tiene la particularidad que demodula completamente la señal de RF entrante a banda base. En la configuración más simple la banda base que se demodula se usa para modular el transmisor que se usará en la siguiente sección del enlace. Este tipo de repetidor se presta también para la derivación de canales de voz, grupos, y subgrupos. También es deseable que se pueda demultiplexar la banda base completamente a canal de voz para conmutar, insertar y derivar un nuevo arreglo de canales de voz según sea necesario.

Como se ha podido apreciar, el considerar un sistema de enlace por microondas, exige el control de algunas variables, tales como localización geográfica, clima, presión atmosférica, etc. Todas estas, de origen natural, haciéndolas imposibles de modificar, o tan solo de variar levemente.

De lo anterior se puede decir, que la decisión de utilizar un determinado tipo de enlace de datos a larga distancia depende principalmente del volumen de información a ser transmitida.

La localización geográfica del enlace y el costo del equipo, son aspectos de importancia, pero no determinantes en la selección de este mismo.

---

### III.3.3.1.1 Consideración del ancho de banda.

Por definición el ancho de banda de un canal es el rango de frecuencias que este puede transmitir con razonable fidelidad; por ejemplo, si un canal puede transmitir una señal cuyas frecuencias ocupan un rango de 0 Hz hasta un máximo de 5000 Hz, el ancho de banda del canal será de 5 KHz.

Si se analizan las características de un equipo de microondas con frecuencia de operación por arriba de los 2 GHz, se tiene lo siguiente.

Anchos de banda de 25 MHz por canal  
Capacidad máxima de operación 4 canales.  
Ancho de banda total de 100 MHz.

Con lo cual se observa que, la aplicación típica de estos equipos es en la transmisión de señales de voz y datos multiplexados con volúmenes cercanos a los 100 MHz.

### III.3.3.1.2 Conclusión.

Si se eleva el costo de transmitir una señal, únicamente de datos como en este caso, a través de un equipo de microondas con frecuencia de operación de 2 GHz, sería extraordinariamente elevado. Debido a que en este proyecto el volumen de información a ser transmitido será de 9600 bps, y la capacidad real del equipo se estaría desperdiciando, ya que se utilizaría únicamente el 0.01% de su capacidad total.

Por estas razones debemos descartar totalmente, el uso de un enlace en esta banda.

### III.3.4 Radiomodems (UHF).

La evolución de las comunicaciones ha sido un fenómeno que se está dando a una velocidad sorprendente. Durante largos periodos de tiempo estuvo encasillada en comunicaciones de tipo telegráfico, la cual se ha visto superada por el avance tecnológico, en los diversos medios de comunicación. Como se sabe para todo tipo de actividad es primordial el contar con una eficiente comunicación. Pero que además sea accesible para cualquier usuario, fácil de manejar, fácil de operar, etc. En particular los radio-enlaces con radiomodems, pueden ser considerados a la vanguardia de este tipo de dispositivos de comunicación, ya que en comparación con sistemas de comunicación de microondas convencionales y satelitales, el radiomodem es de fácil manejo, fácil instalación, de bajo costo de adquisición, etc.

A continuación se analizará la configuración básica de un equipo de este tipo, sus características, principios de funcionamiento, sus ventajas y desventajas, así como la factibilidad que presentan para el proyecto en particular.

#### III.3.4.1 Modems.

El origen de los radiomodems, se da en los modems (modulador-demodulador) comunes, diseñados para enlazar o comunicar dos computadoras.

Desde el principio de las comunicaciones, las líneas telefónicas fueron diseñadas, para la transmisión de señales analógicas, o bien señales de voz. La transmisión de señales digitales, hizo necesaria la creación de un nuevo dispositivo, que pudiera realizar una conversión aceptable de la señal digital, a una señal analógica capaz de ser transmitida por la red telefónica instalada. Fue entonces cuando se crearon los "modems", palabra que es la contracción de los términos modulador-demodulador. Este equipo es capaz de realizar electrónicamente la conversión de las señales digitales generadas en equipos de cómputo y otros equipos, a señales analógicas, para así poder realizar su transmisión a través de la red telefónica. Por otro lado también puede al mismo tiempo, "leer" señales analógicas y convertirlos a señales digitales uniéndose así un par de computadoras o equipos digitales.

Este simple proceso, a revolucionado las comunicaciones modernas, ya que es posible "enlazar" dos equipos de cómputo a distancia únicamente conectándolos a través de la línea telefónica, aunque estos se encuentren en dos zonas del mundo totalmente opuestas. En la figura 3.11 se muestra un ejemplo típico.

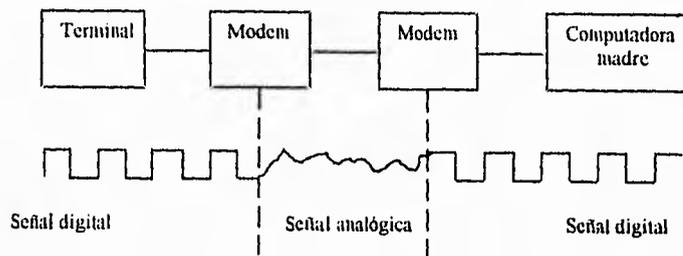


Figura 3.11 Configuración básica de enlace vía modem.

Internamente el modem cuenta con tres bloques:

- a)- Una fuente de poder.
- b)- Un transmisor.
- c)- Un receptor.

La fuente de poder se encarga de suministrar el voltaje necesario para operar la circuitería. El transmisor se encarga de modular y amplificar una señal digital previamente filtrada, la cual proviene de la computadora o equipo digital, para ser convertida en una señal analógica de tipo senoidal capaz de ser transmitida por la línea telefónica. El receptor contiene un demodulador y asociada a este un circuito que se encarga de realizar el proceso de conversión de la señal de tipo analógico proveniente del espacio, a una serie de pulsos digitales capaces de ser leídos por la computadora o equipo digital.

Existen varios tipos de modulaciones en los modems, cada una de ellas ofrece ventajas y desventajas. Sus características ya se han mencionado en capítulos anteriores. Entre las más importantes técnicas de modulación utilizadas en los modems se tiene:

- a)- Amplitud Modulada.
- b)- Frecuencia Modulada.
- c)- Modulación en Fase.
- d)- Modulación en N-Fases.

Es posible también manejar una combinación entre modulaciones. Entre estas se puede mencionar la modulación QAM, así como una serie de nuevas técnicas, las cuales tienen como principal objetivo el hacer más difícil la lectura de los mensajes por un tercer participante en la comunicación. El área del encriptado se ha desarrollado enormemente dentro de las comunicaciones, y actualmente en esta área las compañías diseñadoras de sistemas de comunicación dedican un enorme esfuerzo, tiempo, y dinero.

Existe una legislación para las comunicaciones vía modem. Esta puede comprenderse en algunos apartados importantes tales como:

- 1)- El equipo de modem, deberá estar certificado bajo el registro de la FCC dentro del programa de equipo en general.
- 2)- Los fabricantes de modems deberán incluir como material de norma para instalaciones, una unidad de acoplamiento también registrada con la norma FCC.

Estas son algunas normas que deberán cumplir los fabricantes de equipo modem, en general.

Hasta el momento únicamente se ha estado analizando de manera muy simple el concepto de modem, pero se manejará el concepto de RADIOMODEM. Esto implica una variación en la configuración estándar.

La diferencia radica únicamente en el medio de transmisión. Para un modem la señal digital se convierte a analógica, y esta misma se transmite directamente a la línea telefónica, tal y como se hace con una llamada telefónica común. Para un radiomodem, la señal digital también se convierte a analógica, pero en lugar de transmitirse directamente hacia una línea telefónica, esta señal se modula nuevamente, y se transmite como una señal de radio. En el receptor, el modem "lee" la señal analógica y la convierte a una señal digital apta para ser leída por una computadora. En un radiomodem, el receptor primero detecta por medio de

una antena la señal del transmisor, la demodula y la amplifica, para posteriormente realizar la conversión de señal analógica a señal digital. El hecho de añadir un modulador y un demodulador al transmisor y receptor respectivamente, hace un poco más costoso el sistema, pero las ventajas que se obtienen son enormes, dado que ya no es necesario contar con una línea telefónica dedicada exclusivamente para la transmisión de datos. En la figura 3.13 se muestra un diagrama a bloques del radiomodem en forma básica.

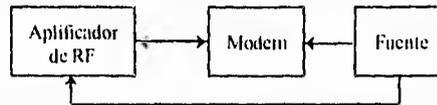


Figura 3.12 Diagrama de bloques de un radio - modem

No se realiza un cargo extra por tiempo de llamada, dado que se adquiere un permiso de transmisión pagando los derechos, y se puede empezar a transmitir sin límite de tiempo o longitud de palabra. La distancia que es capaz de cubrir un sistema de este tipo es de 50 Km aproximadamente, casi puede igualar a una transmisión de microondas de banda SHF, sin ser tan costosa. Existen evidentemente algunas limitantes que presenta un equipo de este tipo, entre las más importantes se tiene, que la velocidad de transmisión de un sistema de radio-modem, es baja realmente no excediendo los 128 Kbps. El clima influye de manera casi despreciable para este tipo de sistemas dada su frecuencia no tan alta. Su utilización requiere licencia expedida por la FCC (Comisión de Comunicaciones Federales). A su vez será expedida por la comisión respectiva en cada país, en nuestro caso será necesaria licencia por la SCT, dicha licencia deberá ser tramitada por el distribuidor. A continuación se detallarán las posibles aplicaciones que tiene un sistema de este tipo.

#### III.3.4.2 Aplicaciones de radio-modems.

La figura 3.13 muestra una red telefónica digital típica enlazada por medio de un cableado tradicional.

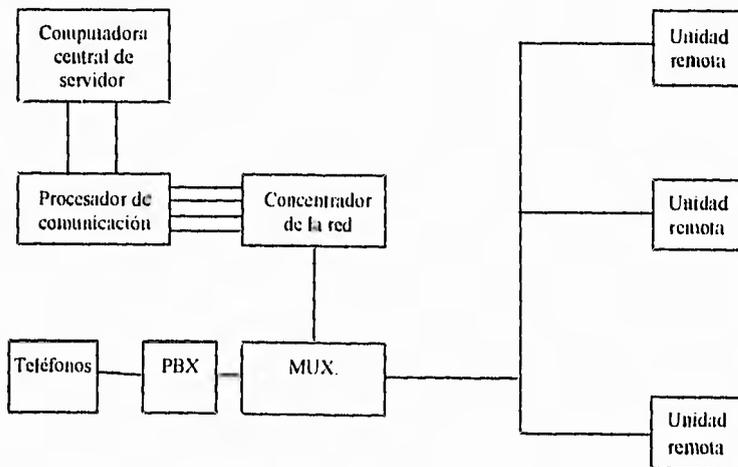
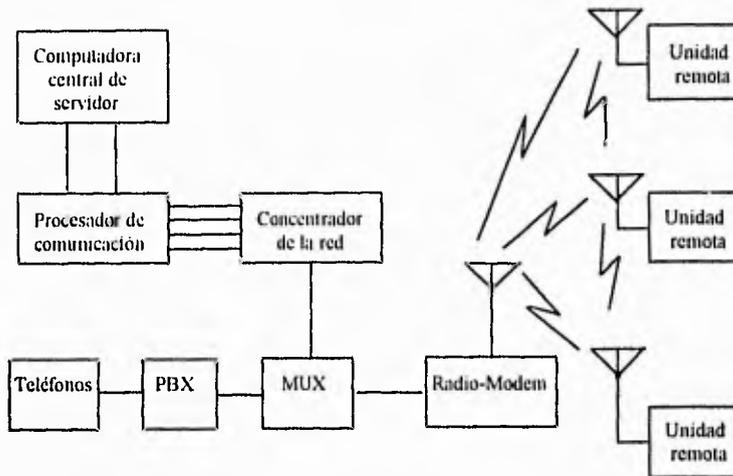


Figura 3.14 Red de voz y datos digitales convencional.

La figura 3.14 muestra la misma red, con la diferencia de que está enlazada por medio de radio - modems. Como se puede ver en la figura tanto la central como las unidades remotas tienen en cada parte un radio - modem.



3.14 Red de voz y datos digitales con equipo de radio - modem.

Cada uno de los equipos de radio-modems, se puede manejar como una central pequeña, capaz de realizar enlaces con las demás. Así mismo, existe una central con un equipo de comunicación por radio-modem, el cual puede direccionar la comunicación según sea necesario.

Un ejemplo más de la flexibilidad de estos equipos la podemos ver a continuación. Tenemos una red de datos, en la cual los nodos se encuentran distanciados por lo menos a 20 Km. entre sí.

Una solución tradicional implicaría en el mejor de los casos dedicar una línea telefónica para cada enlace elevando enormemente el costo de operación del sistema.

Por otro lado, tenemos una solución por medio de radio-modems, en la cual, se desecha cualquier equipo de comunicación, dejando solo un radio-modem, a cada enlace.

De esta manera se puede enlazar cada nodo sin importar su distancia, ya que un radio-modem es capaz de cubrir hasta 50 Km de distancia hasta su más próximo enlace, sin necesidad de equipo repetidor.

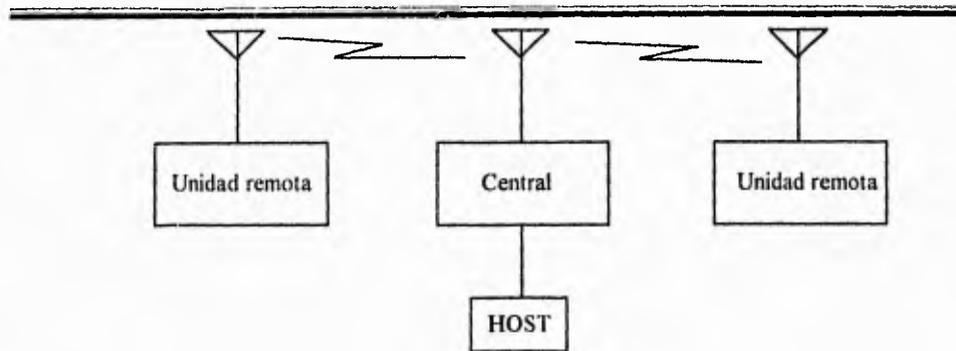


Figura 3.15 Enlace para una distancia mayor a 50 Km.

### III.3.4.3 Ventajas y desventajas.

Se mencionarán las ventajas que presenta un equipo de comunicación tipo radio-modem. Capacidad de monitorear el estado del enlace. Estos equipos son capaces de mantener un estándar de funcionamiento estable, evitando así suspensión de la comunicación. Seguridad en la transmisión de datos. Los equipos pueden manejar el encriptado en la información, proporcionando así una seguridad en los datos transmitidos.

No necesitan de conexiones alámbricas con otros equipos de comunicación similares. Por medio de radiofrecuencia, son capaces de enlazarse.

La interferencia de RF virtualmente no le afecta, y las condiciones atmosféricas son de mínima influencia para el sistema. Se eliminan las líneas telefónicas y el elevado costo asociado a estas por su uso ininterrumpido. Económicamente son redituables, ya que su valor se amortiza máximo en dos años.

Tienen la capacidad de "crecer" pues es posible conectarles equipo de multiplexaje y así aumentar su capacidad de manejo de datos. Bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.

Algunas desventajas que este tipo de sistemas de comunicación presentan son:

- La distancia máxima del enlace entre el transmisor y el receptor difícilmente excede los 50 Km sin intervención de repetidores.

- El ancho de banda típico de estos equipos es reducido, en comparación con otros sistemas de comunicación.

- La velocidad de transmisión es baja, limitando por esta razón sus aplicaciones.

---

#### **III.3.4.4 Conclusion.**

Debido a que los requerimientos de operación del sistema son:

- Una distancia corta no mayor de 50 KM.
- Un ancho de banda y velocidad de transmisión bajos.
- Una estabilidad de operación las 24 horas del día.

En base a las características mencionadas, lo hacen un sistema idóneo para las necesidades de este proyecto, ya que se necesitarán varios enlaces con distancias menores a los 50 Km y una velocidad de transmisión aproximadamente de 9.6 Kbps.

Por lo cual se procederá a realizar un análisis detallado de las características de algunos equipos que operan en la banda de UHF, y que se encuentran disponibles en el mercado mexicano.

## **Capítulo IV**

### **IV. Estudio comparativo de los diferentes equipos.**

Introducción.

Tipos de equipos existentes en el mercado.

Análisis costo-desempeño.

Selección del equipo.

## IV. Estudio comparativo de los diferentes equipos.

### IV.1 Introducción.

La transmisión de datos por medio de radio-modems es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad, ya que su bajo costo de operación y alta rentabilidad, son la solución adecuada para enlaces de una distancia corta (un promedio de 50 Km).

En México se tiene una gran variedad de equipos, así como una variedad de compañías dedicadas a proporcionar asesoría y dar solución a los problemas de comunicación remota.

De las compañías ubicadas en la Ciudad de México se consultaron y se obtuvieron datos técnicos y comerciales de algunos equipos, entre los que podemos mencionar:

ULTRADATA
AIRLINK
RAN
DM2000

A continuación se describe brevemente los equipos analizados, así como algunas de sus características de operación y datos técnicos necesarios en la selección del equipo.

## IV.2 Tipos de equipos existentes en el mercado.

### IV.2.1 ULTRADATA.

La familia de radio-modems Ultradata está formada por los modelos:

- Ultradata 9.6
- Ultradata 19
- Ultradata 64
- Ultradata 128

Estos tienen la característica de ser especialmente eficientes para la transmisión digital de datos en zonas metropolitanas y zonas rurales.

Este sistema reemplaza a las redes alámbricas de datos, proporcionando además, una rentabilidad muy elevada. Estos sistemas son capaces de transmitir y recibir datos en rangos que van desde 1.2 kbps hasta 128 kbps. La transferencia de datos puede realizarse en una gran variedad de frecuencias, desde 400 MHz a 512 MHz o bien desde 820 MHz a 960 MHz, pudiendo cubrir distancias mayores a los 65 km. El sistema Ultradata puede ser configurado para un tipo de transmisión punto-punto o también puede ser de tipo punto-multipunto. Para estos últimos, los modems Ultradata pueden transmitir a velocidades desde 12.5 KHz, 25 KHz, 100 KHz, 200 KHz en canales de RF.

Presentan la característica de no necesitar algún tipo adicional de modem o equipo de datos externo.

Los sistemas Ultradata pueden proporcionar servicio a una gran cantidad de usuarios en zonas metropolitanas, necesitando únicamente que cada uno de ellos transfiera sus datos a una velocidad de 128 kbps, ya sea para un enlace punto-punto o punto-multipunto. Los usuarios tradicionales de estos sistemas son: Bancos, Instituciones Financieras, Aerolíneas, Instituciones Educativas, etc.



Diagrama 4.1 sistema Ultradata punto-punto.

La firma Ultradata, además ofrece un Software para el control adecuado, así como el monitoreo, diagnóstico y capacidad del sistema. Este software es compatible con computadoras PC/XT/AT. Como un complemento a esto, también se ofrece al usuario, una serie de paqueterías para obtener el control total sobre el sistema (control de alarma, recepción, estado general del receptor, etc).

MODELO	VEL. SÍNCRONA	APLICACIÓN
Ultradata 9.6	1.2 a 9.6 kbps	punto-multipunto
Ultradata 19	1.2 a 19.2 kbps	punto-multipunto
Ultradata 64	56 a 64 kbps	punto-punto punto-punto (USA)
Ultradata 128	128 kbps	punto-multipunto punto-punto (USA) punto-multipunto

Tabla 4.1 Modelos ofrecidos por la firma Ultradata.

CONCEPTO	MODELO	UNIDADES
Rango de velocidades de transmisión	9.6 19 64 128	1.2 a 9.6 kbps 1.2 a 19.2 kbps 56 a 64 kbps 128 kbps
Interface (DCE)	49.6 y 19 64 y 128	RS232-C V.35 o RS232-C
Retraso de señal	9.6 19 64 128	8 a 120 miliseg. 4 a 60 miliseg. 2.5 a 37.5 miliseg. 2.0 a 30 miliseg.
Frecuencia del puerto RF	9.6 19, 64 y 128	928 a 960 MHz 400 a 512 MHz 820 a 960 MHz
Ancho de banda del puerto RF	9.6 19 64 128	12.5 KHz 25 KHz 100 KHz 200 KHz
Pot. de transmisión	TODOS los modelos	5 Watts (+37 dBm)
Conexión del sistema	Conector coaxial hembra tipo N para la antena. Conector tipo RS-232C para puerto de datos (conector DB 25)	

Tabla 4.2 Especificaciones de los modelos Ultradata.

Las características de estos equipos los hacen sumamente versátiles, así mismo ofrecen tanto posibilidades de crecimiento como flexibilidad de operación

El equipo presenta varios rangos de velocidad de transmisión, esta característica es importante ya que permite la utilización adecuada del ancho de banda del equipo no desperdiciando capacidad, o bien limitándola.

El valor del retraso de la señal es pequeño y se puede decir que para el presente caso es despreciable, aunque posiblemente para aplicaciones de voz y datos combinados podría ser significativo.

La potencia de transmisión es un valor casi estandarizado en todos los modelos y en todas las marcas de radio-modems en el mercado. Este valor no por eso deja de ser importante y cubre con facilidad las necesidades del enlace.

La conexión de este equipo es sencilla y no requiere de conectores adicionales o especiales de distribución única por parte del fabricante.

Una parte sumamente importante es el costo de este equipo. Se puede encontrar en el mercado un equipo Ultradata 64 de 4000 MHz en \$ 9,622.00 (dolares americanos).

El fabricante mismo ofrece una antena Yagi para este equipo con 10 dB de ganancia en \$ 235.00 (dolares americanos).

Adicionalmente se deben considerar gastos de instalación y material misceláneo por \$ 250.00 (dolares americanos).

#### **IV.2.2 AIRLINK.**

Esta marca de radio-modem ofrece una solución atractiva para comunicación de voz, datos y posibilidades de transmisión de imágenes, reemplazando de esta manera los sistemas tradicionales de comunicación alámbrica.

Los modems Airlink, pueden ser instalados en minutos, sin necesidad de contar con una autorización o licencia expedida por parte de las autoridades; dado que este sistema transmite en una frecuencia (902-928 MHz), para la cual no hay ninguna reglamentación, por lo que no es necesaria la autorización para transmitir.

El tipo de modulación que maneja este sistema (Spread Spectrum) reduce enormemente la posibilidad de interferencia con otros tipos de sistemas de radio comunicación, así mismo permiten "radiar" la energía transmitida por un ancho de banda amplio.

Los radio-modems Airlink, permiten establecer una comunicación rápida y eficiente, sin necesidad de realizar conexiones adicionales.

Este sistema, al encontrarse conectado a una antena de tipo omni-direccional, de baja ganancia, puede establecer comunicación a más de 30 Km de distancia.

Las condiciones antes descritas pueden variarse hasta una distancia de comunicación mayor de 16 Km, con una antena Yagui de alta ganancia y gran direccionalidad.

El usuario puede seleccionar alguna de las múltiples frecuencias en las que puede transmitir este equipo.

Los radio-modems Airlink pueden proporcionar comunicación permanente, inmediatamente después de ser instalados, teniendo un mantenimiento esporádico. Los equipos presentan además una conexión especial para recobrar la comunicación lo más pronto posible en caso de desastre. Es posible encontrar sistemas Airlink únicamente para transmisión de datos y voz.

Existen tres modelos de transmisión de datos que son capaces de ser conectados de manera sincrónica o asincrónica, en interfaces seriales también pueden ser conectados a redes LAN por medio de ruteadores o puentes, video conectores y procesadores de comunicaciones. El modelo de transmisión de voz puede ser conectado a la línea telefónica por medio de conectores estándar.

En resumen, los radio-modems Airlink presentan las características siguientes:

- Conectividad inalámbrica.
- No requiere licencia de transmisión.
- Rango máximo de transmisión de 30 millas (58 km).
- Transmisión de datos sincrónico o asincrónico.
- Instalación rápida.
- Modulación Spread Spectrum.
- Comunicación punto-punto únicamente.

A continuación se presentan las especificaciones del radio-modem Airlink, así como los modelos disponibles.

MODELO	RANGO DE DATOS	INTERFACE
Airlink VF	voz analógica	2 hilos
Airlink 64	64 kb/s sinc. ó 19.2 kb/s asinc.	V.11 RS232-C EIA-530
Airlink 128	128 kb/s sinc. ó 38.4 kb/s asinc.	V.11 RS232-C EIA-530
Airlink 256	256 kb/s sinc.	V.11

Tabla 4.3 Especificaciones de los equipos Airlink.

GENERALES		ESPECIFICACIONES DE TRANSMISIÓN	
Rango de operación	909-928 MHz	Máx. pot. salida	28 dBm.
Tipo de modulación	BPSK	Estabilidad	10 ppm
Ganancia Airlink	VF-128dB	Ancho de banda (MHz)	VF-2.5 64-5.0 128-10 256-20
	64-125 dB 128-122 dB 256-119 dB		
Conector Antena	TNC 6' Omni direccional 424' Yagui	ESPECIFICACIONES DE RECEPCION	
		Sensibilidad (dBm)	VF -100 64 -97 α 10-6 BER 128 -94 256 -91
INTERFACES		REQUERIMIENTOS	
Panel frontal	LED: radio encendido. Conector BNC para el burst	Potencia	110 V <sub>Ac.</sub> 120 V <sub>Ac.</sub>
Panel trasero		Consumo	20 Watts
CONECTORES		Peso	3.85 Kg.
Conectores en general.	RJ11: 2 hilos V.11: 34 pines Winchester RS-232:DB25 H. EIA-530:DB25 H.	LICENCIA FCC	
		FCC certificado # 15 FCC identificación G83AirLinK	

Tabla 4.4 Especificaciones.

Este equipo puede transmitir en diferentes velocidades de transmisión, permitiendo así una adecuada utilización del ancho de banda.

La potencia de transmisión del sistema es un poco bajo dado que los equipos presentan en promedio un valor de 34 a 38 dBm. En este caso el valor es de 28 dBm. Pero aun así satisface nuestras necesidades de cobertura.

La conexión de este equipo es sencilla, así como el tipo de conectores usados para este propósito. El costo de este equipo es definitivamente importante, se puede encontrar en el mercado un sistema Airlink 64 en \$ 18,879.00 (dolares americanos) Adicionalmente se deberá considerar una conexión especial y una antena Yagi ofrecida por el fabricante en \$ 423.00 (dolares americanos). Así como gastos de instalación y material misceláneo por \$280.00 (dolares americanos).

### IV.2.3 RAN (Radio Area Networks)

La familia de radio-modems RAN esta compuesta por los modelos:

- a)-RAN9
- b)-RAN19
- c)-RAN64
- d)-RAN128

Estos mismos son capaces de proveer un enlace de alta velocidad para un servicio de red de área local. Estos tipos de sistemas son muy recomendables para zonas metropolitanas.

Estos radio-modems pueden transmitir y recibir señales de datos desde un rango de 1.2 kbps y hasta 128 kbps. La transmisión de información de un radio modem a otro se realiza en frecuencias que pueden ser desde 400 MHz hasta 512 MHz, o bien desde 820 MHz hasta 960 MHz, cubriendo así una distancia de más de 30 millas, es decir 48 km.

Los sistemas pueden ser configurados para funcionar como un enlace de tipo punto-punto o por otro lado funcionar como un enlace punto-multipunto, dependiendo de la aplicación.

Existen y están disponibles en el mercado, repetidores de estos sistemas.

MODELO	VELOCIDAD SÍNCRONA	APLICACIÓN
RAN9	1.2 A 9.6 kbps	punto-multipunto
RAN19	1.2 A 19.2 kbps	punto-multipunto
RAN64	56 A 64 kbps	punto-punto
RAN128	128kbps	punto-punto

Tabla 4.5 Familia de radio-modems RAN.

Los radio-modems RAN son "transparentes", no importa el largo de la palabra a transmitir, o bien el tipo de paridad del protocolo.

Su conexión se realiza de una manera sencilla y rápida, por medio de conectores RS232-C (DB-25), ó por medio de una interfaz de tipo V.35 DCE.

Estos radio-modems pueden proveer servicio de radio comunicación entre una variedad importante de usuarios en el área metropolitana, a una velocidad de transmisión mayor de 128kbps para conexiones de tipo punto-punto. A continuación mostramos una configuración punto-multipunto (modelo RAN19).

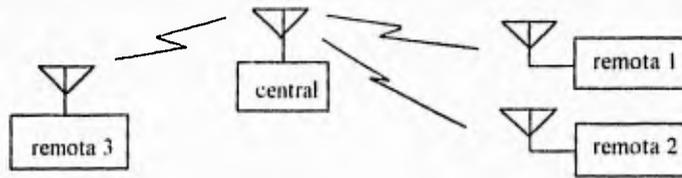


Diagrama 4.2 Comunicación punto-multipunto

PUERTO DE DATOS	RAN 9	RAN 19	RAN64	RAN128
RANGO DE DATOS	1,2, 2,4	1,2, 2,4	56 o 81	128
SÍNCRONA (kbps)	4,8, 9,6	4,8, 9,6	64	
TIPO DE OPERACION	Full O Half Duplex			
CONECTOR (DCE)	RS-232C		V.35	
RETRASO (miliseg)	8 a 120	4 a 60	2,5 a 37,5	2,0 a 30
PUERTO DE RF	RAN9	RAN19	RAN64	RAN128
FRECUENCIA (MHz)	928-960	400-512 o 820-960		
ANCHO DE BANDA	12,5	25	100	200
POTENCIA (WATTS)	5 (+ 37 dBm )			
NIVEL DE RECEPCIÓN	90 dBm a -107 dBm	-80 dBm a -98 dBm	-77 dBm a -95 dB	
REQUERIMIENTOS	115/230 V. 50/60 Hz AC. o -24 V. o -48 VDC			
TEMPERATURA	0° a 50° Celsius			
COSTO	USD 9,622			

Tabla 4.6 Especificaciones.

Este equipo presenta características sumamente similares al Ultradata. Ofrece una flexibilidad y sencillez de operación sumamente importante, además da una variedad de velocidades de transmisión, las cuales

optimizan su aplicación a una necesidad en particular. La potencia de transmisión está dentro del estándar de 5 Watts (+37 dBm), pudiendo cubrir una área de más de 50 Km. suficiente para nuestras necesidades. Su conexión y puesta en funcionamiento es muy sencilla no implicando mayores problemas, ni equipo adicional especial. Este equipo presenta una característica de mucha importancia, dado que no es capaz de establecer un enlace tipo punto-multipunto en su modelo RAN64, se puede encontrar en el mercado en su modelo RAN 64 de 400 MHz por \$ 9,890.00 (dolares americanos). El fabricante ofrece además una antena tipo Yagi para cada modulo con una ganancia de 10 dB en \$ 235.00 (dolares americanos). Adicionalmente se debe considerar gastos de operación e instalación, así como material misceláneo por un total de \$ 250.00 (dolares americanos).

#### IV.2.4 DM2000

El equipo Data Mover 2000 (DM200) es un dispositivo de comunicación que está provisto de una interface de radio comunicación entre el "HOST" de computadoras terminales manejando datos entre los equipos localizados en diferentes zonas geográficas.

Este equipo mantiene una comunicación de radio en una configuración de red, utilizando propiamente un protocolo de comunicación denominado Eliminación Múltiple por Colisión de Acceso (CEMA).

El equipo Data Mover Network permite reemplazar a los modems de tipo convencional, así como a las líneas telefónicas, ya que es capaz de operar en rangos mayores de 60 millas (100 kilómetros) entre dos puntos distantes (dependiendo de la topografía de lugar). El equipo Data Mover Network cumple con los requerimientos de usos múltiples, lo cual le permite manejar un variado número de protocolos.

El equipo puede ser usado únicamente para la transmisión de datos dentro de una red de comunicación, siendo capaz de transmitir a una velocidad de 9600 bits por segundo (9.6 Kbps.).

Cada equipo Data Mover cuando se encuentra dentro de una red de comunicación es capaz de comunicarse específicamente con un solo equipo. El equipo Data Mover consta de 3 partes principales que son las siguientes:

a)- Tarjeta procesadora. Se utiliza un microprocesador 68000 de Motorola, contiene memorias RAM y de tipo EPROM, sistema de vigilancia (Watch Dog). Se puede encontrar con dos o cuatro puertos seriales de salida para conectores RS-232C.

b)- Tarjeta Transmisora-Receptora. La tarjeta transmisora-receptora, consiste en un par de circuitos configurados específicamente para manejar radio-frecuencias, de donde se conecta una interface de antena de una impedancia de 50 Ohms

c)- Fuente de Poder. La fuente de poder funciona con 115/230 VAC 50/60 Hz y es capaz de proveer de +5 V<sub>DC</sub>, +12 V<sub>DC</sub>, y -12 V<sub>DC</sub>, para realizar la polarización de la tarjeta del microprocesador. Así como la tarjeta transmisora-receptora.

Este equipo en particular, ofrece una enorme gama de aplicaciones, dadas sus características de operación, aunque el fabricante lo recomienda para ser usado en redes de comunicación. Su velocidad de transmisión podría considerarse lenta, pero para transmisión de datos 9.6 Kbps son adecuados. Este equipo es un sistema completo de comunicación de datos dada su estructura.

La potencia de transmisión se encuentra dentro del estándar siendo esta de 4 Watts, cubriendo así nuestras necesidades. Las conexiones del equipo son simples y no requiere de equipo adicional. Este equipo se puede encontrar en su modelo DM220 para 400 MHz.

CONCEPTO	MODELO	
	12.5 Canales	25 Canales
Frecuencia	400-960 MHz	400-960 MHz
Ancho de banda	6 KHz	12 KHz
Espaciamiento de canales	12.5 KHz	25 KHz
Vel. Transmisión	9600 bps	9600 bps
Modulación	FSK de 4 estados	FSK de 2 estados
Pot. de salida	4 Watts máximo	4 Watts máximo
Sensibilidad	-100 dBm mínimo	-100 dBm mínimo
Conectores	DB-25 Hembra	DB-25 Hembra
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms
Temperatura	0° C a 50° C	0° C a 50° C
Protocolo	IBM 3270 Bisíncrono IBM SNA/SDLC Burroughs Asíncrono HDLC	IBM 3270 Bisíncrono IBM SNA/SDLC Burroughs Asíncrono HDLC
Microprocesador	Motorola 68000	Motorola 68000
Tipo de Antena	50 Ohms	50 Ohms

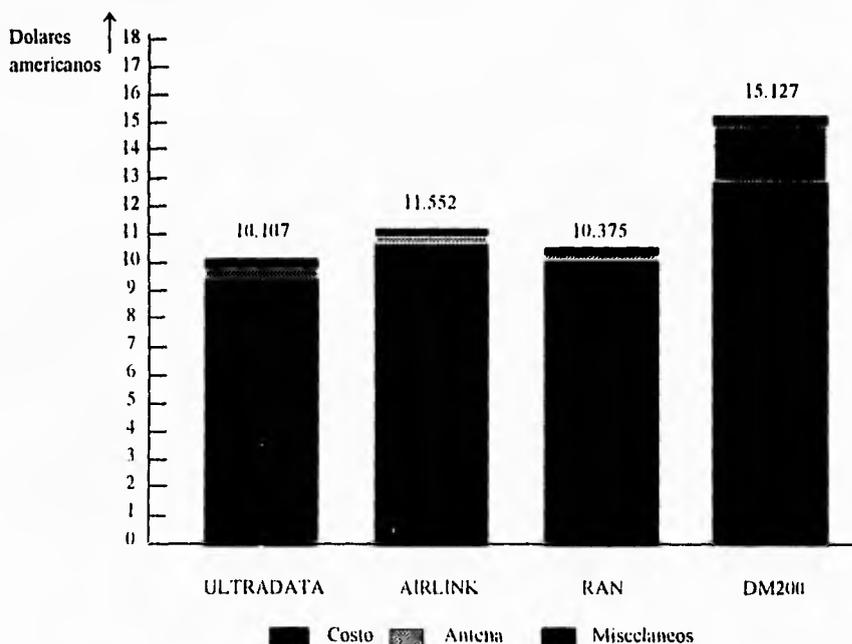
Tabla 4.7 Especificaciones del DM 2000.

### IV.3 Análisis costo-desempeño.

Un análisis del costo contra el desempeño se hace obligatorio cuando deseamos obtener una decisión adecuada al seleccionar un equipo.

Para este caso se considerarán las características globales de cada equipo, además de una serie de características adicionales, las cuales aumentaron su desempeño en términos generales.

Para poder apreciar en conjunto los equipos analizados, consideremos la siguiente gráfica.



Gráfica 4.1 Comparación de costo entre los equipos.

Como se puede observar en la gráfica anterior los costos son sumamente importantes dentro de los criterios considerados. Las características del equipo DM2000 lo hace muy interesante, pero su costo está totalmente fuera de cualquier posibilidad de adquisición, dado que puede decirse que en términos generales ofrece las mismas características de los otros equipos, pero con un costo muy elevado.

Las características del equipo AIRLINK lo hacen muy atractivo, además ahorra la tramitación de una licencia para radiocomunicación, pero globalmente presenta algunas limitaciones en el enlace, dado que el equipo es capaz de establecer un enlace punto-punto únicamente.

Los equipos más atractivos son el RAN64 y el ULTRADATA, estos son semejantes en costo, operación y características de funcionamiento.

#### IV.4 Selección del equipo.

Después de realizar una análisis de cada una de las características de los equipos, podemos definir en base a las condiciones del enlace, el tipo de equipo que tendrá el mejor desempeño.

Para escoger el equipo adecuado se realizó el siguiente análisis de los equipos de UHF considerados.

Cabe hacer mención que en este nivel será de mucha importancia el costo del equipo, así como las características de desempeño.

MARCA	CARACTERISTICAS	COSTO
RAN 64	Vel. de trans. = 56 a 64 Kbps. Tipo de enlace Punto-Punto. Frec. de Trans. = 960 MHz.	9,859.00
ULTRADATA 64	Vel. de trans. = 56 a 64 Kbps. Tipo de enlace Punto-Multipunto Frec. de Trans. = 960 MHz.	9,622.00

Tabla 4.8 Características de operación.

Nota: Los precios están en dolares.

Debido al tipo de enlace requerido, nuestro sistema deberá ser capaz de proporcionar un enlace punto-multipunto y además proporcionar una velocidad de transmisión de 64 Kbps.

Este valor de velocidad de transmisión se ha elegido, dado que no es muy grande, y para las necesidades no lo requieren. Por otra parte no es tan pequeño, que limite las posibilidades de crecimiento del sistema.

El único equipo que presenta esta importante característica es el

#### **ULTRADATA 64.**

Mostrando además un costo menor que los demás equipos evaluados. De esta forma el Radio-modem Ultradata 64 presenta la posibilidad de enlaces punto-multipunto, además de tener el costo más bajo de los equipos evaluados.

## **Capítulo V**

### **V Implementación del enlace.**

Diseño del enlace.

Diseño de obra.

Pruebas

## V Implementación del enlace.

Para implementar el enlace de datos se hace necesario establecer una estrategia de trabajo, es decir un plan o metodología que guie paso a paso facilitando así la instalación completa del equipo ya seleccionado.

Esta metodología deberá dar respuesta a todas las consideraciones particulares del lugar. De tal manera que podemos definirla de la siguiente forma:

### 1 Diseño del enlace.

#### A) Diseño del sistema de comunicación.

- A.1) Tipo de comunicación.
- A.2) Tipo de modulación.
- A.3) Equipo utilizado.

#### B) Estudio de propagación.

- B.1) Curvatura de la tierra.
- B.2) Zonas de Fresnel.
- B.3) Punto de reflexión.

### 2 Diseño de obra.

#### A) Edificio para la estación.

- A.1) Planos arquitectónicos.
- A.2) Subsistemas que integran el edificio.

#### B) Selección de la torre de transmisión.

- B.1) Ruta del enlace.
- B.2) Cálculo de la altura de las torres.

### 3 Pruebas.

- A) Pruebas al equipo.
- B) Pruebas a la estación.
- C) Pruebas al enlace total.

## V.1 Diseño del enlace.

En esta sección se sustentará el trabajo práctico en el análisis teórico de las variables a considerar dentro del sistema de comunicaciones. Básicamente se definirán los aspectos que deberán investigarse, analizarse y definirse tales como características orográficas del terreno, condiciones climatológicas, distancias entre enlaces, etc.

### **V.1.1 Diseño del sistema de comunicación.**

En esta sección se definirá el tipo de equipo a utilizar basándose en el análisis de los siguientes puntos:

- Tipos de Comunicación Disponibles.
- Tipos de Modulación Disponibles.
- Selección de equipo a utilizar.

#### **V.1.1.1 Tipo de comunicación.**

En los capítulos anteriores se ha explicado las bases de la propagación de microondas, sin embargo cuando utilizamos esta misma para crear un medio de transmisión es necesario considerar un enlace completo. En ocasiones se hace necesario considerarlo en secciones individuales pero interconectadas para ofrecer el medio de comunicación necesario. Una vez realizada esta consideración se iniciara una investigación la cual definirá las características generales del lugar a través del que se desea establecer comunicación, así mismo se analizaran las condiciones de atenuación por distancia de nuestro enlace. Ya recabados estos datos se podrá descartar en función de ellos cada sistema de comunicación, considerando atenuaciones por la distancia recorrida, atenuaciones por las condiciones atmosféricas, incapacidad de establecer comunicación debido a las características geográficas, y un aspecto muy importante, la factibilidad del sistema seleccionado, es decir que tan costoso pueda ser y si este se justifica por la calidad del servicio ofrecido. Para este trabajo se consideraron los siguientes sistemas de comunicaciones: Se analizaron las ventajas y desventajas que ofrecen, así como las características de comunicación de estos.

#### **V.1.1.2 Tipo de modulación.**

En esta sección se define el tipo de modulación a utilizar. Es conveniente el analizar algunas de ellas, o bien las que tienen mayor uso en los equipos. Para este trabajo, el tipo de modulación ya ha sido analizado con detenimiento en los capítulos anteriores, encontrándose que este parametro y el tipo de comunicación se encuentran íntimamente ligados así como en algunos casos predeterminados e inalterables por el cliente.

#### **V.1.1.3 Selección del equipo a utilizar.**

En esta sección se define y selecciona el equipo a utilizar dependiendo de la evaluación de las características de la zona del enlace de voz y datos. Dependiendo de estas características se define un grupo de equipos que sean afectados lo menor posible por estas, en base a ellos se selecciona un equipo el cual adicionalmente satisface las condiciones de factibilidad y rentabilidad.

Para el presente caso se escogieron 4 equipos de comunicación de tipo Radiomodems. Para cada uno de ellos se evaluaron, y analizaron sus características generales, obteniéndose como resultado la selección del equipo ULTRADATA 64, debido a sus características de operación, su adaptabilidad a las condiciones generales de la zona en donde se instalará, así como una alta rentabilidad.

### V.1.2 Estudio de propagación.

En esta sección se proporcionará la información necesaria para determinar la altitud de las torres que soportarán las antenas, para una adecuada comunicación, esto será en función de la topografía existente en el enlace de la señal y en los diferentes puntos a comunicar. Cabe hacer notar que cuando se refiere a la altitud dicha magnitud será tomada desde el nivel del mar. Los factores y cálculos de ellos a realizar serán los siguientes:

- Curvatura de la Tierra.
- Zonas de Fresnel.
- Punto de Reflexión.

Cada uno de éstos puntos, serán analizados y explicados de manera sencilla considerando su aplicación y uso en un caso como es del que se ocupa en este trabajo.

Así mismo se proporcionará información de tipo gráfica, en la cual será más sencillo localizar y definir ciertos valores deseados.

#### V.1.2.1 Curvatura de la tierra.

La comunicación de microondas se piensa que sólo es utilizada para enlaces en donde se tiene una línea recta entre los dos puntos, denominada "línea de vista". Pero no siempre es posible realizar los enlaces de microondas con "línea de vista", o podemos decir que este término no siempre tiene el mismo significado.

Las señales de microondas viajan en línea recta a través del espacio libre. La comunicación a nivel terrestre tiene que viajar a través de la atmósfera, lo cual implica que estas señales no podrán mantener una línea recta en su trayectoria. Las condiciones atmosféricas causan en la señal un efecto de refracción (curvatura) paralela a la superficie terrestre. Este efecto puede ser nocivo si deseamos que nuestra señal viaje a través de una trayectoria muy larga entre dos puntos. Para cuantificar esto se ha denominado un factor "K" el cual define el factor de la curvatura que afectará a nuestra trayectoria. Como ejemplo podemos mencionar que si la tierra no tuviera atmósfera que influyera a la trayectoria de nuestra señal, esta no se vería sometida a ningún efecto de refracción y el valor sería de  $K = 1$ . En la tabla 5.1 se definen algunos valores de K en función al clima y algunas condiciones atmosféricas.

Como podemos ver el valor de K puede variar enormemente en diferentes condiciones climatológicas y de altitud de cada área. Anteriormente el factor se había estandarizado en un valor de  $K = 3/4$  o  $K = 1.333$ . Actualmente sabemos que no serían muy válidos los cálculos tomando únicamente el valor de  $K = 1.333$ . la gráfica 5.1 muestra los factores de curvatura de K en relación de la distancia y la altura.

Hasta el momento se ha analizado el factor de curvatura y como afecta a la transmisión, ahora se determinará la manera de manipular dicho fenómeno para que afecte lo mínimo posible al enlace, para ello se debe determinar la altitud de las torres la cual se determina mediante la siguiente expresión.

$$H = (D_1 \cdot D_2) / (12.75 \times K)$$

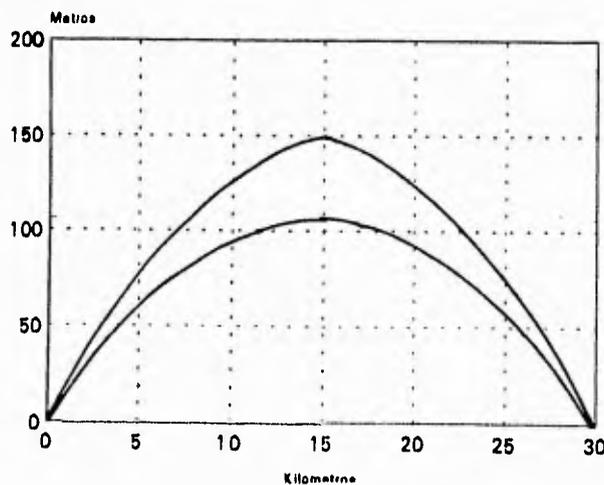
- Donde: H = Factor de incremento de curvatura.  
 $D_1$  = Distancia del extremo más cercano del enlace al obstáculo ( en Km )  
 $D_2$  = Distancia del extremos más lejano del enlace al

Este es un factor el cual se deberá sumar, como ya se menciona, a la altura nominal de cada uno de los obstáculos de la trayectoria.

Condiciones de Propagación					
	Perfecto	Ideal	Promedio	Difícil	Mala
Clima	Atmósfera estandar temperatura constante, sin niebla, sin ductos, condiciones en día y noche esencialmente las mismas	Sin niebla Clima seco No hay ductos es típico de zona montañosa	Niebla ligera, típico de superficies planas	Existen capas, niebla y es típico de zonas costeras	Niebla. Ita humedad típico de zonas costeras
K	1.33	1 a 1.33	0.66 a 1	0.5 a 0.66	0.4 a 0.5

Tabla 5.1 Valores de K en diferentes condiciones atmosféricas.

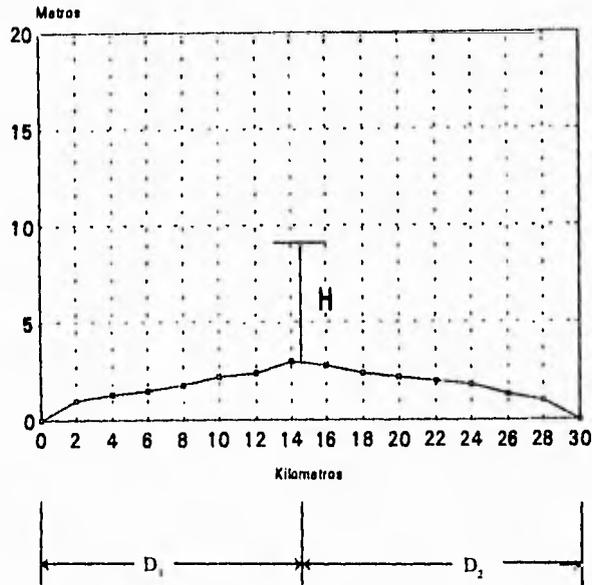
**Curvatura de la tierra.**  
valores de K



Gráfica 5.1 Factor de curvatura de K para los valores de 1 y para 1.333.

En la gráfica 5.2 se muestra un ejemplo de como adicionar este incremento a la altura nominal de cada obstáculo. En la gráfica únicamente se considero uno solo de ellos.

### Factor de curvatura. Incremento de altura



Gráfica 5.2 Factor de curvatura, adición de altura.

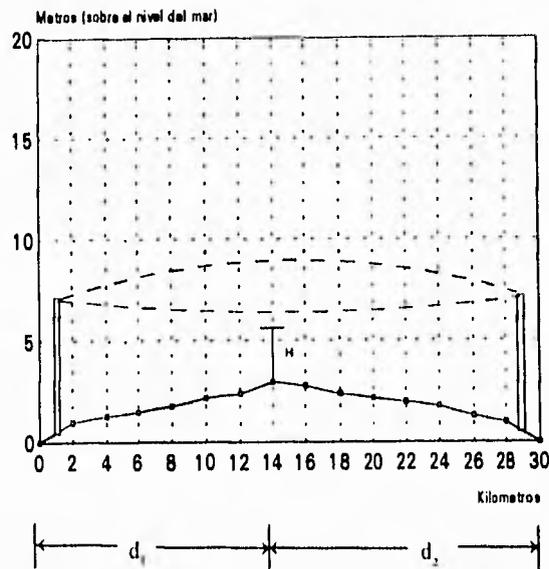
#### V.1.2.2 Zonas de Fresnel.

La teoría de Fresnel-Kirchhoff fue originalmente desarrollada para explicar y medir la difracción de la luz cuando esta pasaba a través de "ventanas" o "diafragmas" de diferentes formas y tamaños. La misma teoría fue aplicada también a las ondas de radio y ondas de audio. Esta se basa en el concepto de que cualquier elemento pequeño que lleve una trayectoria de onda, puede ser considerada como una segunda fuente generadora de ondas. Las señales de radio son enviadas a través del espacio por una antena transmisora, posteriormente llegarán a su destino, una antena receptora, pero la señal recibida no tendrá la misma magnitud que la transmitida originalmente, debido a que la señal al estar viajando en el espacio es refractada por la superficie terrestre. Esto ocasiona que debamos de sumar o restar un valor determinado a la señal recibida el cual dependerá de la distancia que exista entre las dos antenas. Si el patrón de radiación corresponde a 1 vez la longitud de onda, se sumará entonces una cantidad no mayor de 6 dB. Por otro lado si el patrón de radiación corresponde a 1.5 veces la longitud de onda, existirá una pérdida importante de la señal, la cual puede ser tan grande que imposibilite totalmente la comunicación. Las zonas de Fresnel

son áreas en forma de elipsoides, que rodean el patrón de radiación entre las dos antenas. En la gráfica 5.3 podemos observar un ejemplo.

Si una línea es dibujada desde la frontera de la primera zona de Fresnel a cada una de las dos antenas, la longitud total de las dos líneas, deberá ser 1.5 veces la longitud de onda del patrón de radiación directo. Si garantizamos que nuestra señal pueda pasar por arriba de la primera zona de fresnel, esto garantizará que la dispersión de la señal transmitida llegue a tener un efecto mínimo sobre nuestra transmisión. Para cumplir lo anterior debemos de elevar nuestra antena una determinada distancia, la cual podremos calcular con ayuda de la figura siguiente:

### Zonas de Fresnel. Distancias.



Gráfica 5.3 Ejemplo de para la primera zona de Fresnel

La expresión que nos permitirá determinar la magnitud de la primera zona de Fresnel es la siguiente:

$$F_1 = 17.3 \times (d_1 \times d_2) / (F\{\text{GHz}\} \times D)$$

Donde:  $d_1$  = Distancia en Km. desde el transmisor hasta el obstáculo.  
 $d_2$  = Distancia en Km. desde el receptor hasta el obstáculo.

$F\{\text{GHz}\}$  = Frecuencia de operación del enlace en GHz.  
 $D$  = Distancia total de la trayectoria ( $d_1 + d_2$ ) en Km.

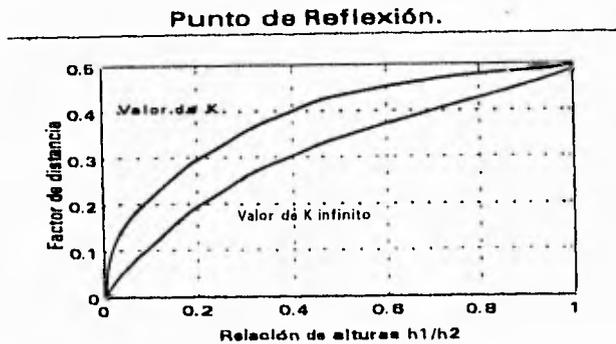
Como ya se menciono, si se desea reducir al mínimo los efectos de dispersión y por consiguiente aumentar la calidad de recepción se deberá garantizar un incremento de  $D$  a la altura de los obstáculos en la trayectoria de la señal o la línea de vista si existiese. Este valor de  $D$  será definido como sigue:

$$D = H F_1 = (0.6) \times F_1$$

Es decir se tomara un valor de 0.6 de la primer zona de Fresnel.

### V.1.2.3 Punto de reflexión.

El punto de reflexión esta profundamente ligado a las zonas de Fresnel, se ha visto que la onda de radio es reflectada en la tierra y este efecto genera una disminución de la recepción o bien en su caso se adicionará a la señal original una señal de ruido el cual imposibilitará totalmente en un caso extremo la comunicación. Es importante así mismo poder determinar el punto exacto en donde la señal es reflejada, dado que si este punto es una superficie rugosa el efecto nocivo será mínimo, por otro lado si este punto es una superficie plana como un liquido o una planicie, complicaría y afectaría enormemente la condiciones de comunicación haciéndolas muy variables en función del clima y difíciles de controlar. El nombre que recibe este punto de donde "choca" la señal con la superficie terrestre se denomina punto de reflexión. El cálculo de este punto se realiza en base a la siguiente relación presentada en la gráfica 5.4.



Gráfica 5.4 Cálculo de los puntos de reflexión.

$$\text{Relación} = h_1 / h_2$$

Donde:  $h_1$  = Altura de la torre 1 en metros.  
 $h_2$  = Altura de la torre 2 en metros.

Una vez conociendo el valor de  $K$  asignado a nuestro enlace de microondas, buscaremos en su gráfica el valor de la relación sobre el eje "x" seguiremos este valor hasta interceptarse con la gráfica de "k" asignada,

y encontraremos sobre el eje "y" el valor de  $D_p$ . La distancia desde la torre 1 al punto de reflexión será definido de la siguiente manera:

$$D_1 = D_p \times D$$

Donde:  $D$  = Distancia total del enlace.  
 $D_p$  = Relación entre alturas.

Finalmente debemos de recordar que este punto deberá de ser un lugar preferentemente rugoso o boscoso, evitando completamente lagos, ríos, o concentraciones de agua de dimensiones variables.

## V.2 Diseño de obra.

La forma, las dimensiones, el tipo, y las características generales que tendrá el local o edificio para la estación de comunicaciones se determinara en función de las condiciones y necesidades de operación, supervisión y mantenimiento de este mismo. Adicionalmente se deberá tomar en cuenta los sistema adicionales que deberá contener el local, con el objeto de ofrecer los servicios necesarios para el funcionamiento total del sistema.

Por otro lado se deberá determinar cuantas torres de comunicación serán necesarias utilizar, así como la ubicación exacta de cada una de ellas. Finalmente se calculará la altura de cada una de ellas en función de las condiciones de transmisión de datos que ofrece tanto el equipo de comunicaciones, como las características generales de la zona.

### V.2.1 Edificio para la estación.

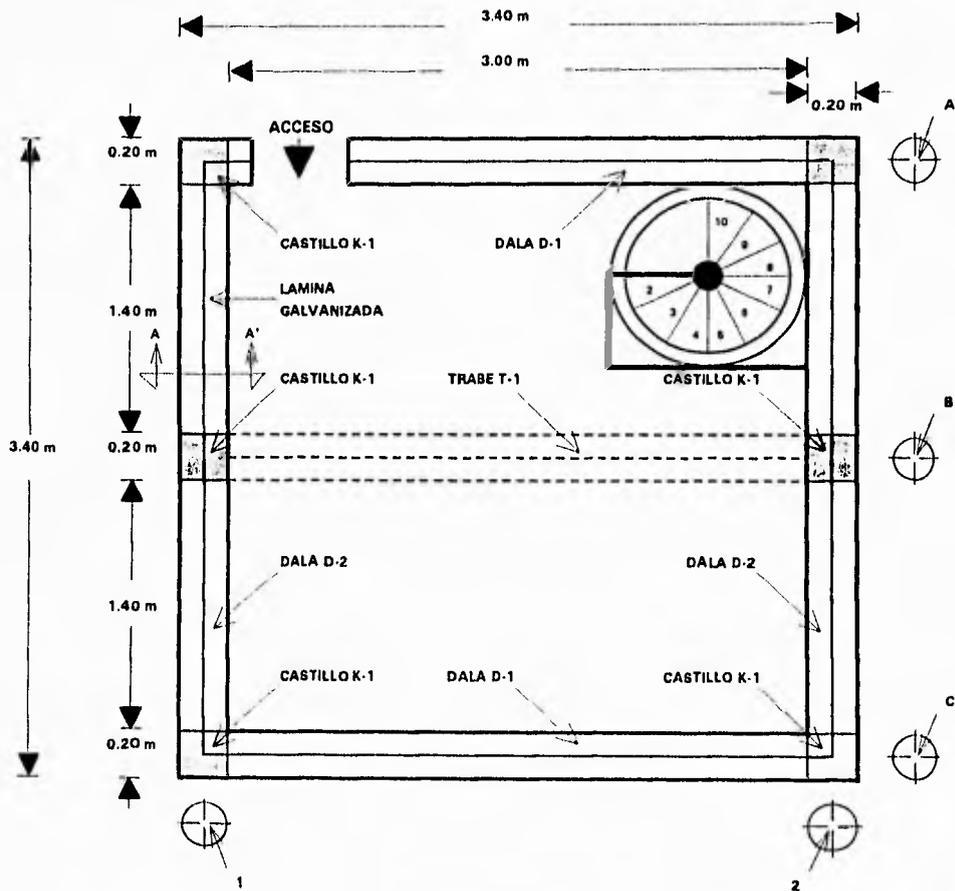
En esta sección se definirán las características de forma, dimensiones y tipo que deberá tener el local en el cual se instalará el equipo de comunicaciones.

#### V.2.1.1 Planos arquitectónicos.

El recinto en el que ubicaremos el sistema de comunicaciones, se denomina contenedor en algunos casos es de construcción prefabricada lo cual ofrece un costo de instalación bajo y atractivo.

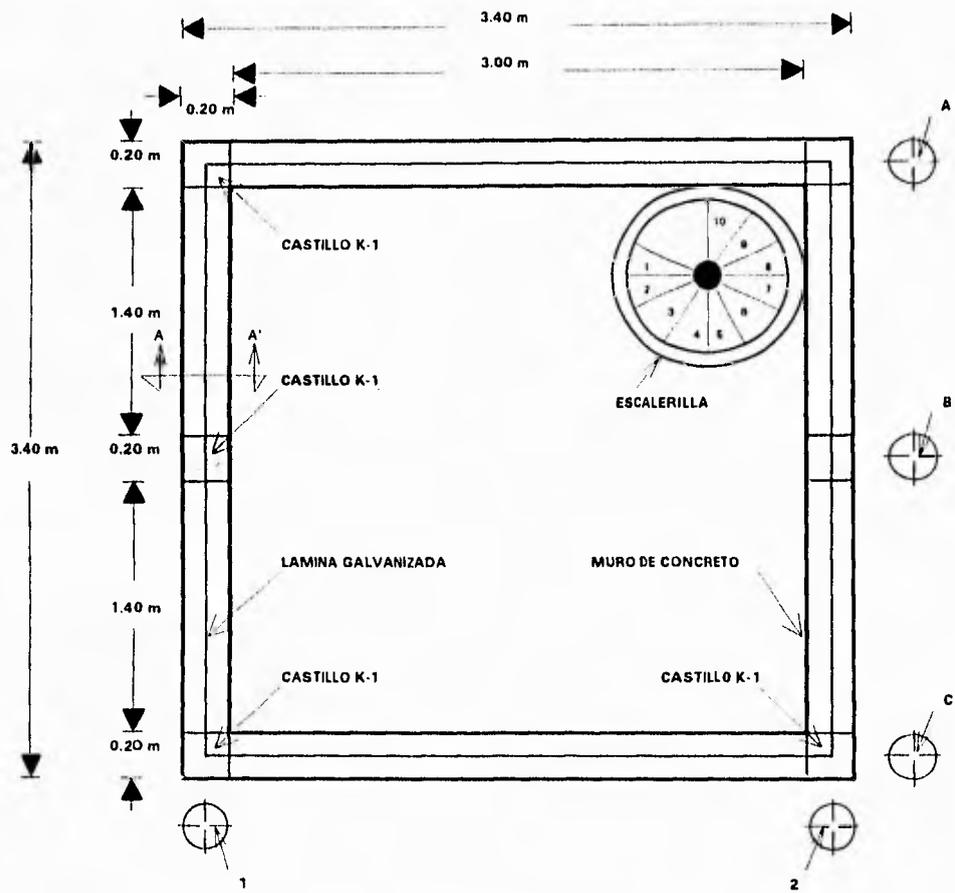
Dadas las características del equipo a utilizar así como su reducido tamaño, es suficiente considerar un local con dimensiones de: 3 m. de ancho, 5 m de largo, y 3 m de alto. El contenedor contara con dos niveles, sótano, y planta baja. En el sótano se ubicarán las baterías de respaldo para el equipo, así como la planta generadora de energía eléctrica, y podrá ser utilizado también como almacén de refacciones en caso de ser necesario. En la planta baja se ubicará el equipo de comunicaciones, se realizara la adecuación para el equipo de clima, se instalaran los componentes necesarios para el equipo de fuerza es decir suministro eléctrico, regulación, protección y conmutación.

Será necesario considerar adicionalmente las características que un local de este tipo requiere regularmente. A continuación se muestran los planos que se realizaron para este proyecto.



**PLANTA BAJA**

ACOTACIONES EN MTS.



**SOTANO**

ACOTACIONES EN MTS.

### V.2.1.2 Subsistemas que integran el edificio.

Dentro del contenedor, se localizarán los subsistemas que integran al local, dichos subsistemas son instalaciones específicas de equipos o servicios, los cuales en conjunto proporcionaran las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema de comunicación, se definen los siguientes:

- a)- Subsistema de Fuerza.
- b)- Subsistema de Clima.

#### a) Subsistema de fuerza.

Este en particular será de gran importancia dentro del óptimo funcionamiento de nuestro enlace, dado que tiene por objeto el proporcionar el suministro de energía eléctrica, necesario para la operación ininterrumpida del equipo de radiocomunicación.

Una configuración simple y general, puede ser la presentada en la figura 5.2. En la cual se contemplan tanto las acometidas de corriente alterna, así como el equipo necesario para convertir la energía a corriente directa.

En términos generales consta de dos partes importantes:

Sistema de fuerza	{	Etapa de A.C.
	}	Etapa de D.C.

#### Etapa de A.C.

Dentro de esta etapa se tienen los siguientes componentes:

- a)- Rectificador de D.C.
- b)- Rectificador de respaldo de D.C.
- c)- Acondicionadores de aire.
- d)- Lámparas de alumbrado.
- e)- Luz de señalización  
(instalada en la torre de la antena ).
- f)- Reguladores de voltaje.
- g)- Planta de emergencia.

#### a) Rectificadores de D.C.

Los equipos rectificadores deben proveer energía a los sistemas de Telecomunicaciones, a los convertidores continua-alterna (inversores), a las baterías y a los convertidores continua-continua.

La tensión alterna de la red, o la generada por los equipos que la reemplazan, es rectificada por medio de equipos con etapas de potencia con tiristores, o bien por medio de equipos con etapas de potencia con transistores.

Junto con las baterías, eventualmente los equipos que reemplazan a la red, los rectificadores deben conformar una fuente que asegure a los sistemas de telecomunicaciones la alimentación de corriente continua ininterrumpida.

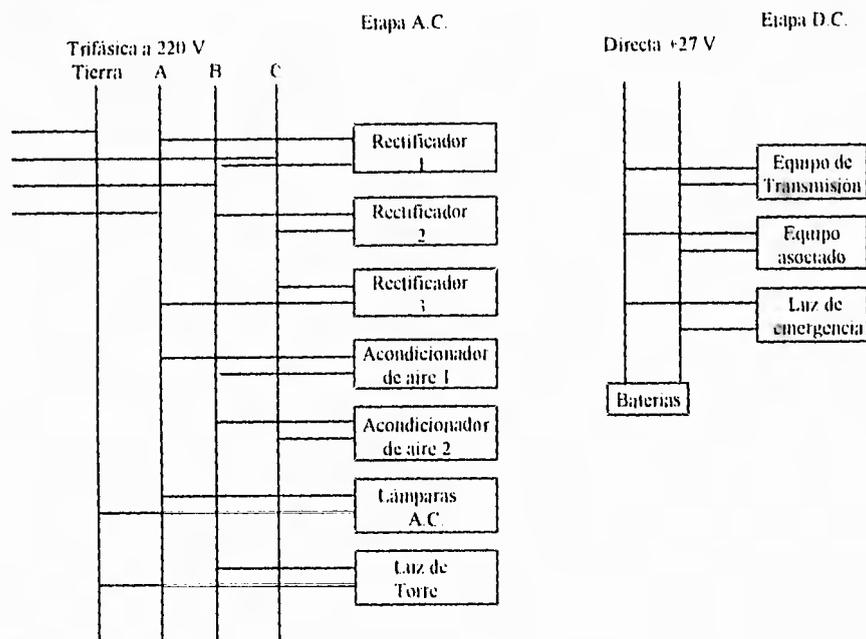


Figura 5.2 configuración del subsistema de fuerza.

A continuación se dan los modos de operación más importantes de los rectificadores

- Funcionamiento con rectificadores (sin baterías). Los sistemas de telecomunicaciones no reciben energía eléctrica en caso de fallas en el suministro.
- Funcionamiento en paralelo (con baterías). Se conectan en paralelo los rectificadores, la batería y el sistema de telecomunicaciones.
- Funcionamiento con conmutación (con batería). En caso de falla de la red, se conmuta de alimentación por red a la de baterías sin interrumpir el servicio.

Los componentes más importantes de un rectificador son los siguientes:

- Transformador principal.
- Juego de Tiristores.
- Módulo de regulación.
- Módulo de control.

- Modulo de protección.
- Modulo de supervisión.
- Modulo de señalización.

Los valores nominales de las tensiones continuas que suministran los rectificadores son 48 Volts y 60 Volts.

#### **b) Rectificadores de respaldo.**

Básicamente estos se consideran dentro de la configuración, para evitar el corte en el suministro de D.C., por algún daño o falla en el rectificador principal.

Las características de funcionamiento de este equipo, son las misma que el equipo principal, evitando de esta manera alguna falla por falta de capacidad de regulación.

#### **c) Acondicionadores de aire.**

Estos una vez seleccionados y como se mencionará posteriormente se encargarán de mantener una temperatura estable para un óptimo funcionamiento del equipo de telecomunicaciones.

#### **d) Lámparas de alumbrado.**

Estas lámparas proporcionarán la iluminación adecuada y necesaria para la operación y supervisión del equipo.

Para este caso, no será necesaria demasiada iluminación, dado que el equipo por características de fabricación requerirá del mínimo mantenimiento y supervisión.

Esto lleva a considerar 4 lámparas del tipo fluorescentes de "luz de día" de 39 Watts en arreglos dobles las cuales son capaces de proporcionar la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades del local.

#### **e) Luz de señalización.**

Esta luz de características especiales se hace obligatoria para estructuras de considerable altura, así como en lugares donde la geografía natural, o las condiciones de la zona, hagan necesario notar la estructura de la antena.

Esta luz destellará durante las noches y día de escasa luz natural, estableciéndose así un consumo mínimo de corriente eléctrica por parte de esta misma.

### **f) Reguladores de voltaje.**

Cargas tales como motores y lámparas incandescentes requieren de una operación cercana al voltaje y corriente nominal. Un voltaje excesivo acortará la vida de las lámparas, así como una corriente excesiva dañaría el embobinado de un motor.

De esta misma manera un equipo electrónico alteraría su operación bajo variaciones de voltaje y/o corriente creando mal funcionamiento del equipo y en el peor de los casos daños graves a este mismo.

Por tal motivo se hace totalmente necesario contar con un equipo capaz de eliminar estas variaciones de voltaje y corriente.

La selección del tipo de regulador esta determinada principalmente por la cantidad de potencia requerida por la carga.

En el presente caso el sistema requiere 115/230 Vac a 50/60 Hz. 3.5 A. Por tal motivo consideramos un regulador de voltaje de 600 VA. Manteniendo así un margen del 15% aproximadamente arriba del valor nominal de operación, ofreciendo seguridad en el funcionamiento del mismo.

### **g) Planta de emergencia.**

Si por algún motivo se suspendiera el suministro de energía eléctrica por un periodo largo de tiempo. Sería necesario contar con una planta de energía eléctrica de emergencia, la cual será capaz de satisfacer las necesidades eléctricas del equipo, manteniendo el enlace con los demás sitios.

Como en el caso anterior, la selección de la planta esta directamente relacionada con los requerimientos del sistema en general. El equipo presenta un consumo moderado de energía eléctrica, por lo cual no se hace necesario una planta generadora de emergencia de alta capacidad.

### **Etapa de D.C.**

Dentro de esta etapa tendremos los siguientes componentes:

- a)- Servicio de alimentación de D.C.
- b)- Luz de emergencia.
- c)- Banco de baterías.
- d)- Equipo de telecomunicaciones.

#### **a) Servicio de alimentación de D.C.**

En lo referente al suministro de corriente continua, existen diferentes clases de instalaciones o configuraciones en el servicio. En el siguiente cuadro sinótico se muestran los más importantes y comunes.

Servicio de corriente directa	Servicio con Baterías	
	Servicio con Rectificadores	
	Servicio en Paralelo	Servicio Tapón Servicio en paralelo con disponibilidad inmediata
	Servicio de Conmutación	Servicio de conmutación con interrupción Servicio de conmutación sin interrupción

**Servicio con baterías.**

En la tabla anterior se puede observar de una manera general los tipos de servicios existentes. Se considerará únicamente el servicio de conmutación sin interrupción. Esta configuración es la más adecuada para el proyecto dado que mantiene a la batería de respaldo casi en un 100% de su capacidad y en caso de falla realiza la conmutación del suministro hacia esta misma batería evitando así, cortes en la operación del sistema de comunicaciones.

La potencia de este equipo será determinada por las necesidades del sistema de comunicaciones, esta será de 1200 VA para un adecuado funcionamiento. Por lo cual se empleará un dispositivo denominado UPS, este mismo cumple con los requerimientos y ofrece una solución económica.

Estos sistemas se pueden encontrar con cualquier distribuidor de equipo de computo por un precio de aproximadamente \$315.00 (dolares americanos).

**b) Luz de emergencia.**

Esta luz especial para funcionar con D.C. se encenderá cuando por alguna razón falle el suministro de A.C. normal. Bajando así los requerimientos del local.

**c) Banco de baterías.**

Los banco de baterías tienen una cierta capacidad de Amperes/Hora, esta misma definirá cuanto tiempo será capaz de proporcionar energía de D.C.

Esta cantidad de Amperes/Hora también definirá cuantas baterías serán necesarias para mantener funcionando al sistema por una cantidad de horas predeterminadas. Existe una expresión la cual nos ayuda a obtener la cantidad de baterías necesarias.

$$t = \text{Ahr} / A$$

Donde  $t$  = tiempo de operación.  
 $\text{Ahr}$  = capacidad de las baterías.  
 $A$  = demanda de equipo en general.

Para este caso se tiene:

Si se desea que el tiempo de respaldo del equipo sea de 240 minutos, y considerando que la operación del equipo exige de una corriente nominal de 9 Amperes, la capacidad de las baterías será determinada por:

$$t = \text{Ahr} / A$$

despejando tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Ahr} &= A \cdot t \\ \text{Ahr} &= 9 \times 4/8p \\ \text{Ahr} &= 36 \text{ A/h} \end{aligned}$$

Por lo tanto las baterías deberán tener como característica primordial, el ofrecer un consumo mínimo de 36 A/h.

#### **d) Equipo de transmisión.**

El equipo de radiocomunicación, que se requiere para este caso operará con suministros de D.C. -24 Volts o de -48 Volts o bien 127 VAC como vías alternativas para mantener activo el sistema. De esta manera se tienen los subsistemas básicos para garantizar un adecuado funcionamiento del equipo instalado.

#### **Subsistema de clima**

El proceso de tratamiento de aire atmosférico que coordina los cinco factores que le son propios, sumando el nivel sonoro, para que el ocupante de un ambiente acondicionado se encuentre acogido confortablemente, son los siguientes:

Los agentes a combinar son:

- Temperatura (Calefacción o Refrigeración).
- Grado de humedad (Humidificación o Deshumidificación).
- Velocidad del aire (Movimiento y Circulación)
- Limpieza del aire (Filtrado)
- Ventilación (Renovación del aire)

Si se controla exclusivamente la temperatura máxima, se dice que el acondicionamiento es de verano o refrigeración; y si se controla la temperatura mínima, acondicionamiento de invierno o calefacción.

#### **Datos para el cálculo.**

En nuestro país se adoptó la norma europea del Reglamento de instalaciones de Calefacción, climatización y Agua Caliente Sanitaria (RDS 1618/1980 de 4 de julio), se indican unas normas que orientan o limitan las temperaturas, humedad relativa y velocidad del aire, a mantener en instalaciones de acondicionamiento que consumen energía, dando por supuesto que las mencionadas cifras no son de obligado cumplimiento para aquellos casos con procesos de producción que exijan, por sus peculiaridades, circunstancias distintas.

Dichas condiciones ambientales pueden resumirse de la siguiente forma:

Invierno:

Temperatura media interior máxima de 20°C.

Humedad máxima de 45%

Verano:

Temperatura media interior mínima de 25°C

Humedad mínima 55%

En ningún caso la temperatura de cualquier local en concreto debe superar los 22°C en invierno ni ser inferior a los 23°C en verano.

Las temperaturas que se indican son las más recomendables y tendrían que mantenerse en los locales acondicionados, tanto desde el punto de vista del bienestar de las personas como para conseguir un funcionamiento energético económico. Tampoco es aconsejable realizar saltos de temperatura (diferencias notables de temperatura entre el exterior y el interior) excesivamente elevados, ya que el contraste de temperaturas al rebasar los límites normales llegará a ser perjudicial.

De todo esto se desprende que la técnica del acondicionamiento de aire consiste en suministrar las condiciones atmosféricas más ventajosa en el interior de un lugar cerrado con independencia de cuanto acontezca en el exterior respecto a la meteorología. Supone, generalmente, ventilar o renovar el aire, calentarlo o enfriarlo conforme corresponda al tiempo de que se trate, así como humectarlo o enfriarlo conforme corresponda al tiempo de que se trate, así como humectarlo o deshumectarlo en función de las condiciones apetecidas o especificadas por adelantado.

Se podría sentar, para su estudio, dos grandes grupos a saber:

Acondicionamiento de aire en locales habitados, privados o públicos, que garanticen comodidad mediante equipos autónomos, partidos o compactos, que denominaríamos "climatización artificial".

Acondicionamiento de aire en la industria concretando a procesos de fabricación y producción que precisen mantener unas condiciones ambientales determinadas en el trabajo o en secciones de fabricación muy específicas.

### Renovación del aire. Ventilación.

La finalidad de la ventilación es intercambiar el aire contaminado (con un elevado ingrediente de polvo, humo, bacterias y olores) por otro aire limpio, mucho más conveniente para la respiración, y su contribución al bienestar puede ser tan importante como la que proporciona la temperatura y humedad.

El Reglamento de instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, por medio de su Instrucción Técnica IC.02, recomienda que tendrá que haber una toma de aire exterior que permita una aportación mínima de 2,2 dm<sup>3</sup>/s y persona, de aire de ventilación exterior, en toda instalación con control higrométrico, facilitando un cuadro según el tipo de locales que repetimos en la tabla 5.1.

Requerimiento de aire de ventilación en dm<sup>3</sup>/s

Tipo de local	Por persona		Por m <sup>2</sup> de superficie	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
1. Locales de viviendas				
1.1. Locales vivideros	2,5	4,0	0,40	-
1.2. Aseos y cuartos de baño (1) (2)	-	-	2	3,5
1.3. Cocina (1) (2)	-	-	0,8	1,5
2. Locales comerciales				
2.2. Tiendas. Locales de venta en general	3,5	6,0	-	-
2.2. Restaurantes, bares, cafeterías y similares:				
-Comedores	5,0	8,0	-	-
-Cafetería, bares, etc.	10	15	-	-
-Cocinas (1) (2)	15	-	3,5	-
2.3. Hoteles, residencias, moteles, etc.	3,5	6,0	-	-
-Cuartos de baño (1) (2)	-	-	2	3,5
-Salones sociables	7,0	10	-	-
-Vestíbulos de entrada	4,0	6,0	-	-
Salas de computadoras	2,5	4	-	-

Tabla 5.1. Caudales Aconsejados para la renovación del aire.

### Elección del acondicionador de aire apropiado.

El proyecto de una instalación de aire acondicionado es relativamente sencillo en lo que se refiere al cálculo de las pérdidas y ganancias del local a tratar, del volumen de aire, de la temperatura y grado higrométrico del mismo, todo ello con el margen apropiado para contrarrestar las ganancias o pérdidas

de calor aportadas al local. No obstante, su realización práctica tropieza con una serie de inconvenientes para la correcta aplicación del resultado de los cálculos y su armonización con las condiciones realmente existentes en el local o en los departamentos en los que vamos a intervenir modificando los factores ambientales.

El éxito estará asegurado si se logra elegir el procedimiento que vaya más acorde con el problema a resolver. Para ello tendremos presente lo siguiente.

*Clase de local y servicio a que esta destinado.* No es lo mismo acondicionar una oficina en donde se reúne un número apreciable de personas para desarrollar un trabajo y, por consiguiente, con importantes aportaciones de calor sensible, que acondicionar un local de comercio donde se mezcla el trabajo del personal empleado con las continuas entradas y salidas de los clientes, lo que ocasiona a consecuencia de la apertura de puertas, un flujo de aire exterior que se junta con el aire acondicionado para formar un todo común precisamente en el interior del local.

*El preambiente o ambiente natural.* Es decir, el ambiente, temperatura, humedad, etc., que rodea el local a estudiar, lo que permite evitar cambios atmosféricos demasiado bruscos.

*Instalaciones ya existentes de calefacción y ventilación.* Ello puede restar o sumar calorías o frigorías.

*Avenencia con su arquitectura.* Es obligado replantearse la arquitectura del local para ver cómo resolver mejor la disposición y ubicación de los equipos.

Para facilitar al instalador de aire acondicionado el cálculo de acondicionadores de aire de ventana y consola, los más comunes, hemos elegido la hoja de cálculo (Tabla 5.2) de la compañía White-Westinghouse que reproducimos, bien entendido que esta orientada a encontrar las cargas térmicas para unidades completamente autónomas y que no requieran condiciones precisas de temperatura y humedad.

Es bastante frecuente referirse a las cargas en términos de frigorías/hora o kcal/h, denominándose carga térmica a cualquier agente cuyo efecto sea el de modificar la temperatura seca o humedad absoluta del espacio acondicionado.

Las siguientes instrucciones están numeradas para que se correspondan con los apartados o conceptos señalados en la tabla 5.2 que indican los factores de corrección a aplicar para el cálculo de la estimación de las cargas de refrigeración.

1. Determinar la superficie en  $m^2$  de cada ventana, para cada orientación y multiplicarla por el factor oportuno. El área de la ventana es el área del hueco abierto en la pared, en el que está colocada la ventana. Para ventanas con cortinas, visillos o persianas interiores, elegir el factor denominado como **sombreadas o con cortinas**. Para ventanas sombreadas con toldo, persianas y similares que den al exterior o que tengan ambas a la vez (protección exterior e interior) emplear el factor **Con toldos exteriores**. Igualmente, multiplicar los factores por 0,5 si se utiliza ladrillo de vidrio y por 0,8 si es doble cristal. Cristal sencillo incluye todos los tipos de espesor para ventanas y **Doble Cristal contiene** todos los tipos de cristal doble con cámara de aire y ladrillos de cristal. Escribir la cifra que contenga la **orientación con más carga térmica**.

2. Multiplicar el total de  $m^2$  de todas las ventanas del local que no se pusieron en el párrafo 1, por el factor correspondiente.

Apartado	Dimensión					Factor	Carga de enfriamiento frigorías por hora dimensión X factor
	Metros cuadrados	Uso de día			Uso de noche solamente		
No sombreados		Sombreados o con cortinas	Con toldos exteriores				
1. Ventanas: Ganancia de Calor del sol Usar solamente la orientación con mayor carga							Indicar sólo una Para ladrillo de vidrio, multiplicar los factores por 0,5. Para doble cristal o doble cristal con cámara de aire multiplicar por 0.8
a) Nordeste.....	161.4	67,25	53,80	0			
b) Este.....	269	107,60	67,25	0			
c) Sudeste.....	201.75	80,70	53,80	0			
d) Sur.....	201.75	94,15	53,80	0			
e) Sudeste.....	295.90	121,05	80,70	0			
f) Oeste.....	403.50	174,85	121,05	0			
g) Noroeste.....	322.80	134,50	94,15	0			
h) Norte.....	0	0	0	0			
2. Ventanas: Transmisión de Calor Ganancia: Total de las ventanas no incluidas en 1	Metros cuadrados						
a) Cristal sencillo		37,66			37,66		
b) Doble cristal o ladrillo de vidrio		18,83			18,83		
3. Paredes - a) Exterior	Metros lineales	Construcción					
- Orientación al Norte		ligera	pesada		24,60		
- Otra orientación		16,40	24,60		24,60		
-b) Interior		24,60	49,20		24,60		
Solamente cuando el local del otro lado de la pared no tiene acondicionamiento de aire.		24,60			24,60		

4. Tejado o techo (Usar uno solamnete)	Metros cuadrados				
a) Tejado -No aislado		51,11	13,45		
b) Tejado - Aislado		21,52	8,07		
c) Techo - Bajo piso ocupado		8,07	8,07		
d) Techo - Aislado-Bajo ático		13,45	10,76		
e) Techo - No aislado Bajo ático		32,28	18,83		
5. Piso (No usar cuando está sobre el suelo o sótano)	Metros cuadrados	8,07	8,07		
6. Personas y ventilación (Númro de personas)		150	150		
7. Lamparas y equipo eléctrico en uso	watts	0,86	0,86		
8. Puertas y arcos continuamente abiertos a un espacio no acondicionado ancho	Metros lineales	246	246		
9. Suma total					
10. Total carga de enfriamiento		(Apartado9) X 1,10	(factor de corrección) =		

Tabla 5.2 Cálculo de la carga de enfriamiento para acondicionadores de aire e ventana y consola.

3. Incluir los metros lineales y multiplicar por el factor de : a) todas las paredes que dan al exterior orientadas al Norte, b) todas las demás paredes que dan al exterior y tienen otra orientación, considerando que las paredes que estén constantemente en sombra debido a edificios adyacentes serán estimadas como

**Orientadas al Norte.** No se tendrá presente si la sombra procede de árboles, arbustos, etc., y c) Todas las paredes interiores correspondientes a una zona no acondicionada. No tomar en cuenta las paredes del local a acondicionar que limiten con la de otro ya acondicionado.

Todas las puertas deben considerarse como paredes. Además una **Construcción ligera** es cualquier estructura o pared de mampostería que tenga un espesor igual o menor de 20 cm. Una pared maestra aislada o de mampostería de más de 20 cm de grueso, se juzga como **Construcción pesada**

4. Seleccionada la correspondiente categoría conforma a uno solo de los apartados a, b, c, d, e, multiplicar el total de m<sup>2</sup> de la superficie de tejado o techo por el factor que le incumbe.

5. Multiplicar el total de m<sup>2</sup> de piso por el factor dado. Si el suelo del piso descansa directamente sobre un basamento o sobre la tierra, esta anotación no se tendrá en cuenta.

6. El número de personas que normalmente ocupan la habitación o el local a acondicionar, se multiplica por el factor. Tomar un mínimo de dos personas para el cálculo.

7. Sumar la potencia total de Watts de todas las lámparas y otros aparatos eléctricos, excepto el acondicionador, que estarán en funcionamiento normal cuando la unidad está en acción, y multiplicar el número total de Watts por el factor que le atañe. En caso de lámparas fluorescentes se aumenta el valor antes obtenido en un 25% debido al calor cedido por las reactancias.

8. Si alguna arcada o puerta está continuamente abierta a una zona o local no acondicionado, multiplicar su anchura en metros lineales por el factor aconsejado.

Cuando el ancho de la puerta o arco excede de un metro y medio, la carga de enfriamiento necesaria puede ser mayor que la calculada. En estos casos deben considerarse como una sola habitación las dos partes separadas por la puerta o el arco, y hacer el cálculo total sobre esta nueva base.

9. Sumar todas las anotaciones de los 8 apartados anteriores.

10. Multiplicar la suma total obtenida en el número 9 por el factor de corrección.

El resultado conseguido es la carga de enfriamiento total en frigorías/hora.

El apartado adecuado debe seleccionarse de forma que la potencia frigorífica, frigorías/hora, sea ligeramente superior al cálculo hallado

Cuestionario de anteproyecto de una instalación de aire acondicionado.

**Datos del cliente.**

1. Comisión Federal de Electricidad.
2. Termoeléctrica Carbón II, Nava Coahuila.  
Datos relativos al local a acondicionar.
3. Dibujo del croquis.
4. Dimensiones del local.

LARGO : 5.40 m.

ALTO : 2.50 m.

ANCHO : 3.40 m.

5. Número de ventanas.  
Sin ventanas.
8. Clase de techo.  
Sobre tejado.
9. Clase de suelo.  
Sobre sótano.
10. No. de ocupantes 2
11. Tipo de actividad.  
Cuarto de comunicaciones.
12. Equipo de comunicaciones, computadora y regulador.
13. Iluminación , 2 juegos de lámparas fluorescentes de: 2x75 W.

Cálculo según la tabla 5.2

3. Paredes: muros exteriores.

Orientados al Norte: 1

$$3.40 \times 24.60 = 83.64$$

Otra orientación

$$3.40 + 3.40 + 3.40 = 10.20 \times 49.20 = 501.84$$

$$\text{Total} \times \text{Muros} = 585.24$$

4. Tejado o Techo

Techo

$$3.40 \times 3.40 \times 51.11 = 590.83$$

6. Personas

$$2 \times 150 = 300$$

7. Lámparas y equipo eléctrico en uso.

Lámparas	150 W + 0.25 (150) = 187.50
----------	-----------------------------

Equipo de comunicaciones	40 W
--------------------------	------

Equipo de computo	300 W
-------------------	-------

$$527.5 \times 0.86 = 453.65$$

Nota : todos los valores en Kcal/hr

$$\text{suma total} = 1929.72 \text{ kcal/hr}$$

$$1929.72 \times 1.1 = 2122.69$$

TOTAL 2122.89 Kcal/hr.

### V.2.2 Selección de la torre de transmisión.

Una vez que se ha determinado el tipo de edificio que albergará al sistema de comunicaciones, deberá dedicarse el análisis al diseño de la ruta que deberá seguir la comunicación. Así mismo se deberá calcular en base a la condiciones generales de la zona, la altura que deberá tener cada una de las torres de comunicación, de manera tal que cualquier obstáculo o interferencia afecten en lo mínimo a la comunicación. A continuación se analizarán estos dos aspectos de importancia.

Para determinar la altura que deberán tener las torres de transmisión de señal de microondas, se deberán considerar las atenuaciones y efectos nocivos a la señal por la geografía propia del terreno. Por tal razón se explicaron anteriormente tres puntos importantes Curvatura de la Tierra, Zonas de Fresnel y Punto de Reflexión. En base a estos se realizará el cálculo de la altura de las torres. El método que se utilizará es el denominado "Método del Análisis Gráfico" el cual a continuación se ha desglosado en pasos para su uso.

#### "Método de Análisis Gráfico"

- a) Obtener el perfil del terreno en la ruta a utilizar, graficando a escala conveniente sobre una tierra plana.
- b) Se analiza el perfil obtenido para determinar los puntos que podrán presentar obstrucción a la señal, a estos puntos los denominaremos "obstáculos".
- c) Para cada uno de estos puntos (obstáculos) se calcula el valor de  $Dh$  (curvatura de la tierra).
- d) Para cada uno de los obstáculos también se calcula el valor del 60% de la primera zona de Fresnel (tal y como se explicó anteriormente).
- e) Para cada uno de los obstáculos se suman los valores obtenidos en los incisos "c" y "d", a su altura nominal. Esta misma altura se marcará en la gráfica obtenida en el inciso "a" y "c". Esta será la nueva altura del obstáculo.
- f) Después de realizar los cálculos para todos los obstáculos, se trazara una línea recta entre transmisor y receptor, de tal manera que se "libren" todos los obstáculos (considerando su nueva altura).
- g) Se lee en la gráfica la nueva altura que deberá tener cada una de las torres de transmisión.

#### V.2.2.1 Ruta de enlace.

En esta sección se analizarán las características geográficas, y topográficas de la zona, con el objeto de diseñar la ruta de enlace adecuado que deberá seguir la comunicación, evitando en lo posible, cruces con ríos, lagunas y cualquier otro obstáculo que sea capaz de generar algún efecto de dispersión o reflexión no deseado.

El primer paso a seguir será el de buscar una carta topográfica de la zona, estas se encuentran disponibles para cualquier persona que así lo solicite en el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, bastará con acudir y seleccionar la más adecuada

Ya que se cuenta con ella se diseñará la trayectoria que deberá seguir la comunicación buscando siempre seguir una línea recta. Seleccionando los sitios que presenten línea de vista entre ellos.

Una vez definida esta ruta se analizará con detenimiento, cada una de sus características, altitud del terreno cada 50 m ( o menos si es posible ), orografía, vegetación, acumulaciones intermitentes de agua etc.

Una vez recabada esta información será utilizada para generar un documento denominado perfil de ruta. Para ello se recomienda utilizar papel milimétrico, en él se trazarán las características orográficas, y de latitud del terreno por el cual pase la ruta de enlace, ubicando cuidadosamente ríos, lagunas, acumulaciones de agua, bosques, y cualquier otro obstáculo que como se menciono pueda ser capaz de alterar de cualquier forma la señal de comunicación.

Para este proyecto, se evaluaron la características propias del terreno; la ubicación de las unidades de transmisión - recepción se realizó en base a una de las condiciones iniciales del proyecto. Debido a que esta definía los sitios en donde se localizarían la planta de bombeo y las estaciones de comunicación

De esta manera fue necesario realizar tres perfiles, uno para cada enlace de comunicaciones: hacia el Río Escondido, uno para el Río Bravo y uno adicional para la estación intermedia de bombeo. Cada uno de ellos se muestran a continuación.

#### **V.2.2.2 Cálculo de la altura de las torres.**

En esta sección se calculará la altura que deberá tener cada una de las torres de comunicación, basando este cálculo en los efectos producidos a consecuencia de las características del terreno tales como: Curvatura de la tierra, y las zonas de Fresnel.

Inicialmente, se deberá ubicar detalladamente cada uno de los obstáculos que se presenten en la ruta de enlace. Se entiende como obstáculo a cualquier objeto capaz de crear un efecto de refracción, atenuación, interferencia, ruido, etc. a la señal de radio (tales como ríos, lagos, edificios, construcciones altas de concreto con estructura de acero, etc). De igual manera se deberá ubicar cualquier acumulación de vegetación en el perfil, ya que pueden ser sitios útiles en el momento en que se ubique el punto de reflexión. Adicionalmente se deberá tener previamente definidos alguno datos tales como: la distancia total de enlace, la frecuencia de transmisión del equipo, y el valor asociado al factor K (determinado por las condiciones atmosféricas del lugar).

El segundo paso a seguir será hacer una lista de obstáculos para cada enlace tal y como se presenta a continuación. Para este proyecto fue necesario, considera tres rutas de enlace y para cada una de ellas se realizan los cálculos correspondientes.

#### **Para enlace a Río Escondido.**

Distancia total del enlace  $D = 11 \text{ Km}$ .

Frecuencia de transmisión  $f = 960 \text{ MHz} = 0.960 \text{ GHz}$

Valor de K  $K = 0.66$

Tabla de obstáculos.

Obstáculo	Distancia al transmisor	Altura sobre el nivel del mar
A	7.7 (Km)	302 (m)

Se calculará el valor para la curvatura de la tierra, mediante la siguiente expresión:

$$Ah_1 = (d_1 \times d_2) / (12.75 \times K)$$

Sustituyendo valores tenemos

$$Ah_1 = (7.7 \times 3.3) / (12.75 \times 0.66)$$

$$Ah_1 = 3.019 \text{ m.}$$

Se calculará el valor para la primera zona de Fresnel, mediante la siguiente expresión:

$$F_1 = 17.3 \times (d_1 \times d_2) / (f(\text{GHz}) \times D)$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$F_1 = 17.3 \times (7.7 \times 3.3) / (0.960 \times 11)$$

$$F_1 = 26.83$$

Para satisfacer el cumplimiento del 60 % o menos de la primera zona de Fresnel, se tiene:

$$AF_1 = 0.6 \times F_1$$

$$AF_1 = 0.6 \times 26.83$$

$$AF_1 = 16.10 \text{ m.}$$

Ahora, se sumara algebraicamente el valor obtenido de la curvatura de la tierra, y el valor de 60 % de la primera zona de Fresnel, obteniendo de esta manera el valor de la altura que deberán de ser capaces de rebasar las torres de transmisión.

$$Ah_1 = Ah_1 + AF_1$$

$$Ah_1 = 3.019 + 16.10$$

$$Ah_1 = 19.12 \text{ m.}$$

Altura total

En la gráfica se dibujará cuidadosamente y a escala este valor, indicando así la altura que presenta el obstáculo para el enlace considerando los factores de curvatura y zonas de Fresnel.

Posteriormente se trazara una línea recta entre los dos enlaces cuidando que ésta misma libre sin problema dicho obstáculo con los incrementos de altura mencionados. El valor de altura que se indique en la gráfica será la que deberán tener las torres, tomándose en su defecto el valor mayor más cercano al valor real.

Para este proyecto y para este enlace en particular, se obtuvo que el valor de alturas que deberá sobrepasa el enlace será de 19.1 m. Dado que no existe en el mercado una torre construida con dicha altura específica, se tomo el valor mayor más próximo disponible, que para el caso fue de una torre de 20 m.

De esta manera se puede concluir que para este enlace, será necesario instala en los puntos transmisor y receptor una torre de 20 m de altura respectivamente en cada sitio. Logrando así un enlace libre de interferencias y con un mínimo de atenuaciones debidas a las características propia del terreno, así como a la distancia total del recorrido.

Finalmente se realizará la determinación del punto de reflexión del enlace. Este punto es importante saberlo, ya que se buscara que sea un lugar el cual presente acumulaciones de vegetación, de siembra o en terminos generales sea una superficie rugosa. Garantizando de esta manera que al chocar la señal allí se dispersará, evitando de esta manera el crear un efecto de reflexión de la señal introduciendo ruido, atenuaciones, etc.

El cálculo se realizará por medio de la siguiente expresión:

$$r = h_1 / h_2$$

Para el proyecto se tiene.

$$r = 20 / 15$$

$$r = 0.75$$

Este valor se buscara en la gráfica 5.3 este indicará un valor de factor, el cual deberá multiplicarse por la distancia total de enlace, obteniendose así la ubicación exacta del punto de reflexión. Para este caso tenemos:

$$r = 0.75 \Rightarrow \text{en la gráfica} \Rightarrow = 0.48$$

Multiplicando el factor por la distancia total.

$$d_{pr} = Fr \times D$$

$$d_{pr} = 0.48 \times 11 \text{ Km.}$$

$$d_{pr} = 5.28 \text{ Km.}$$

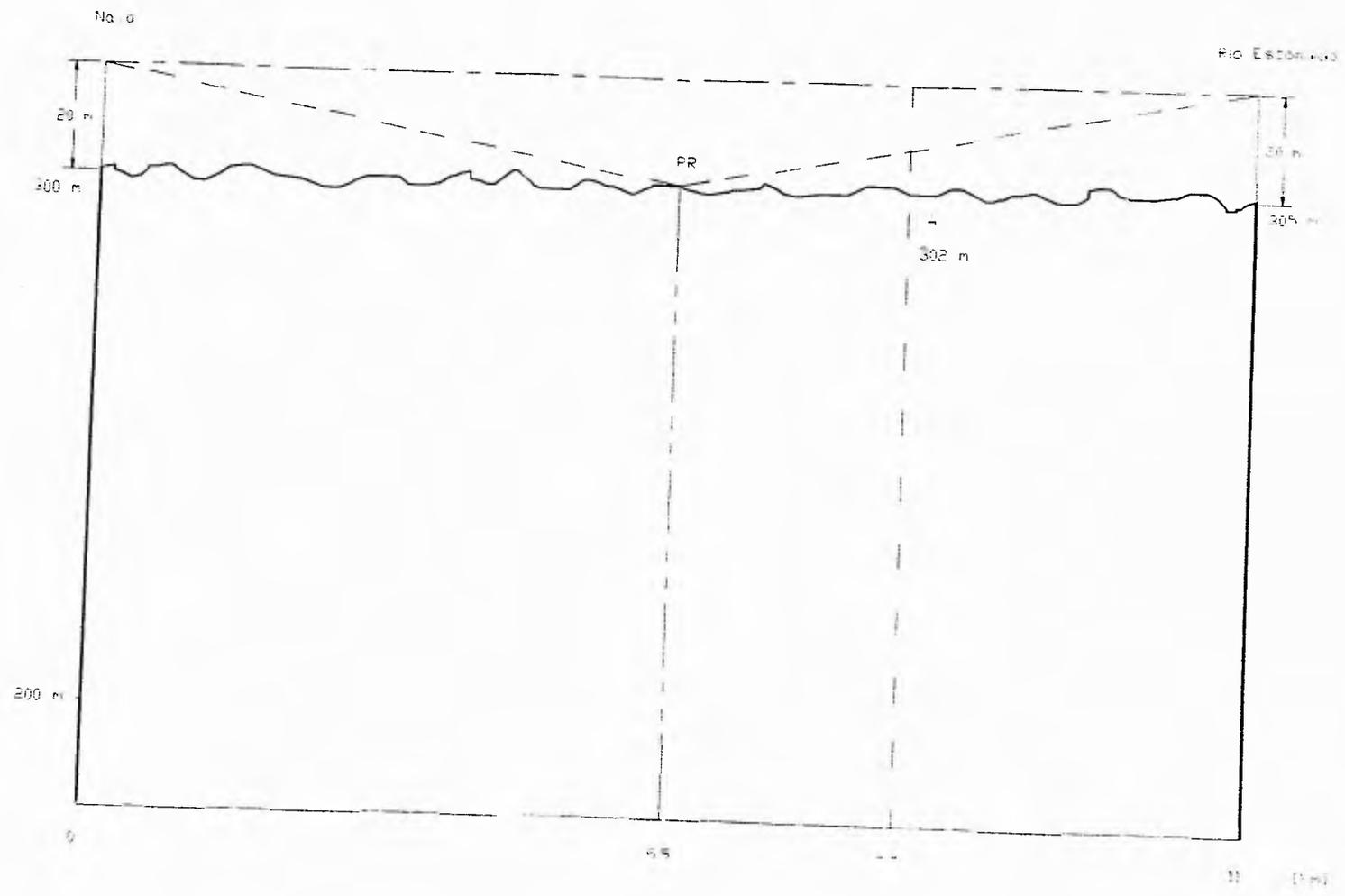
Esta distancia es medida a partir del sitio del transmisor. Una vez determinado el punto de reflexión se verificará en el perfil del terreno que este presente una superficie rugosa capaz de disper de manera efectiva esta señal Para el proyecto, no existe problema alguno, debido a que el punto de reflexión se encuentra en una zona de vegetación, ofreciendo una adecuada dispersión a la señal. Así terminan los cálculos necesario para un enlace. A continuación se mostraran los cálculos para los dos restantes, ya sin un análisis a detalle.

#### **Enlace para Rio Bravo (Estación Intermedia).**

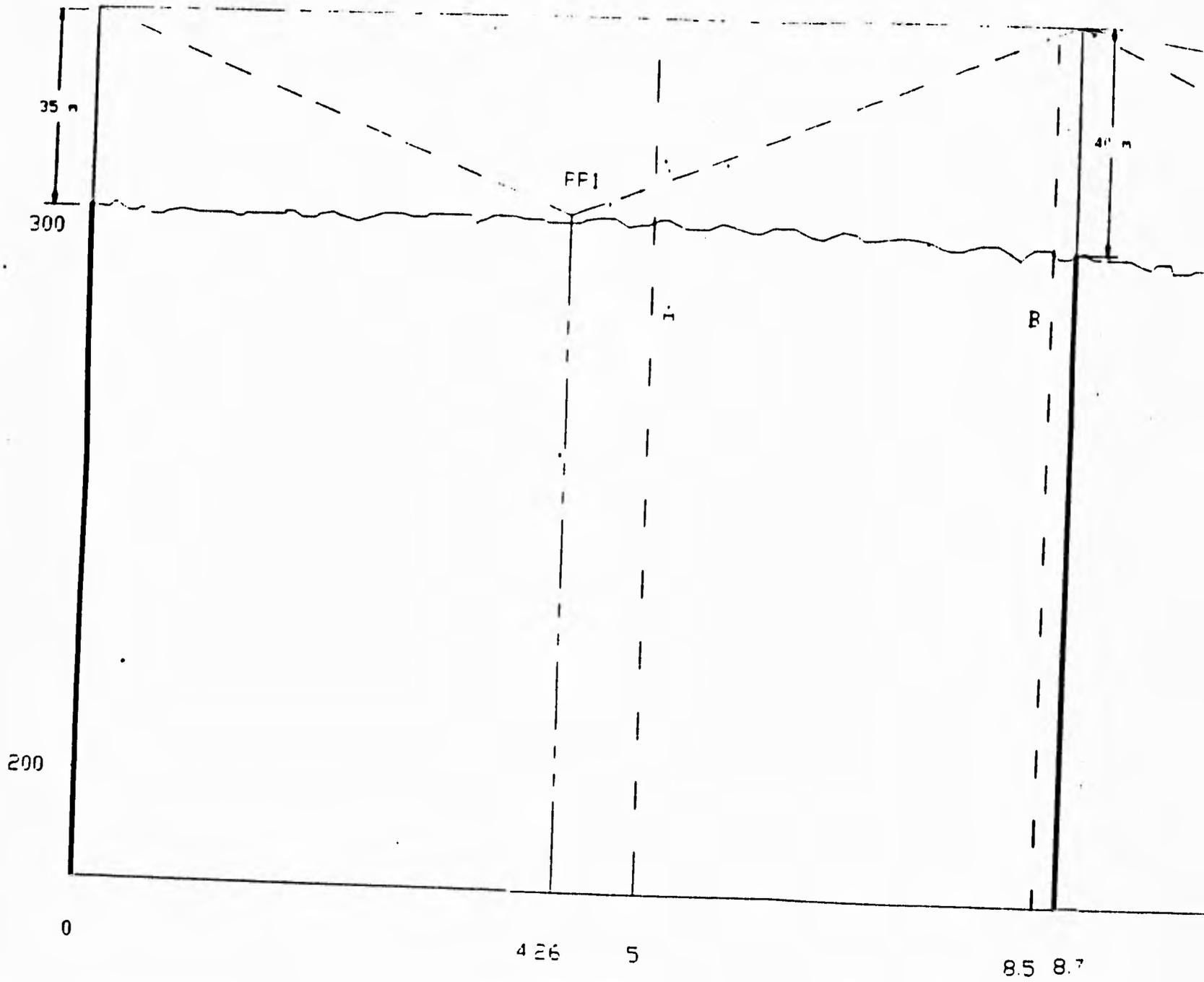
Distancia total del enlace  $D = 21.6 \text{ Km.}$

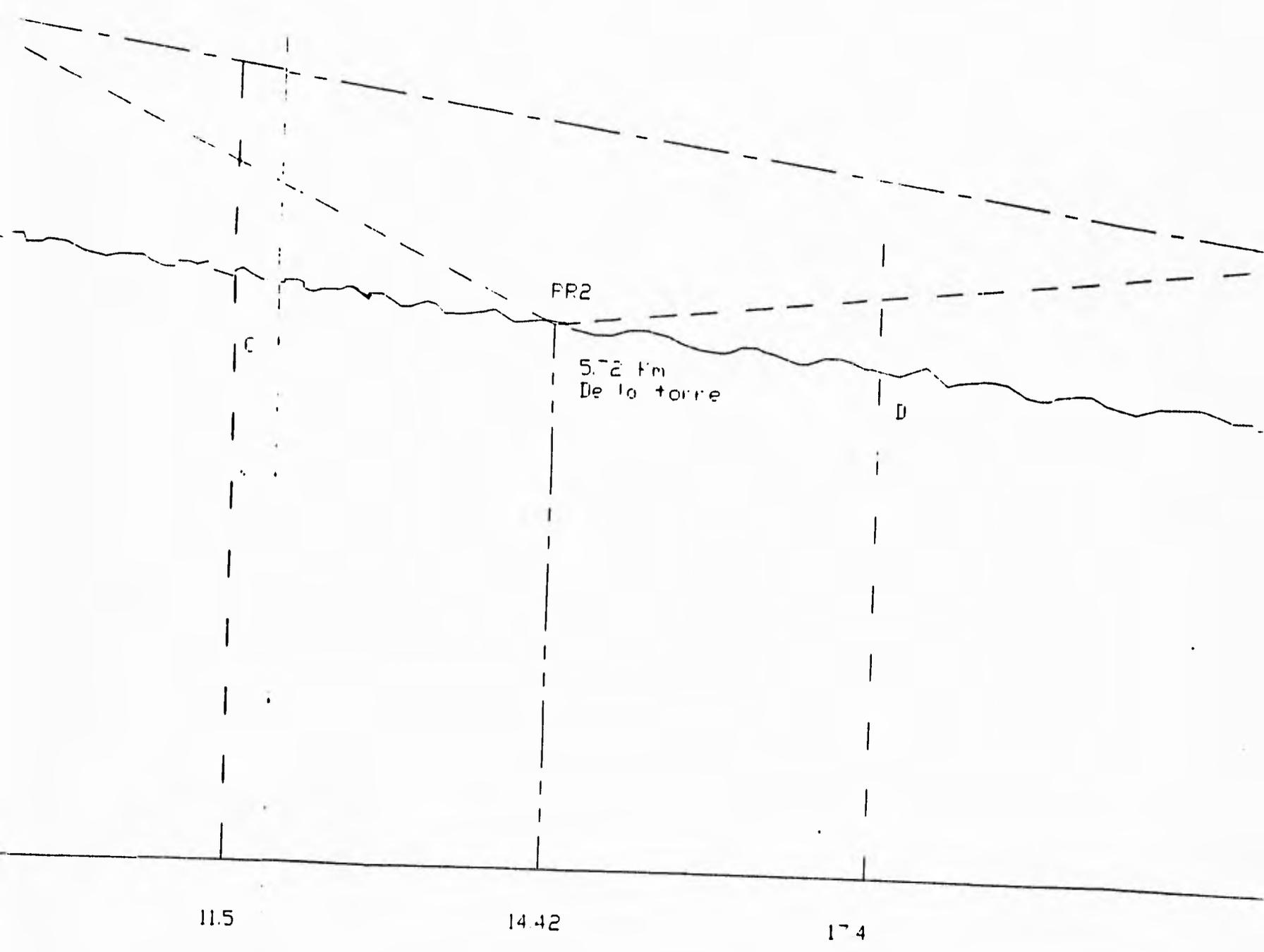
Frecuencia de Transmisión  $f = 960 \text{ MHz.}$

Valor de K  $K = 0.66$



No. 9





PR2

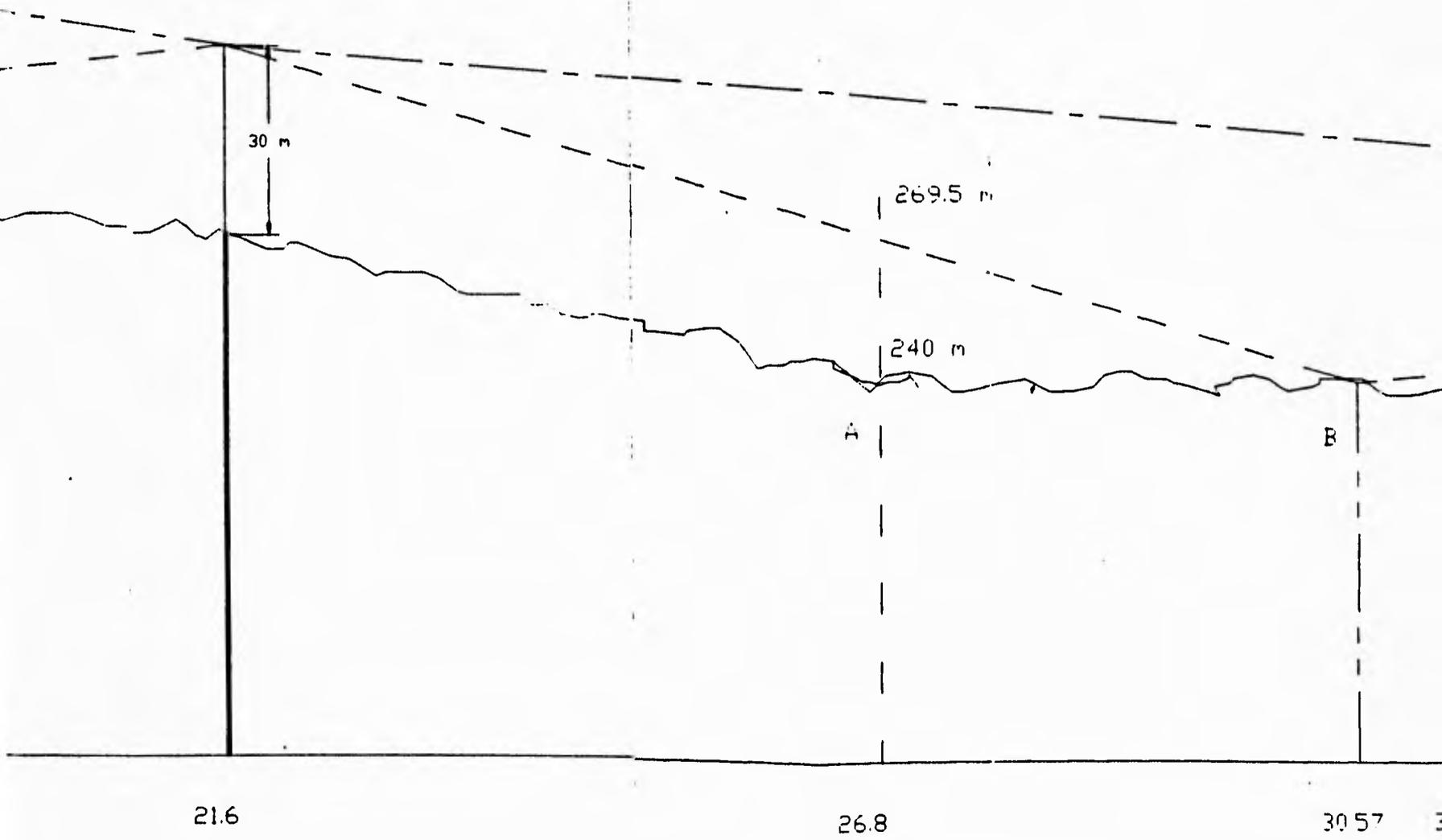
5.72 fm  
De la torre

11.5

14.42

17.4

Punto de enlace  
Planta I



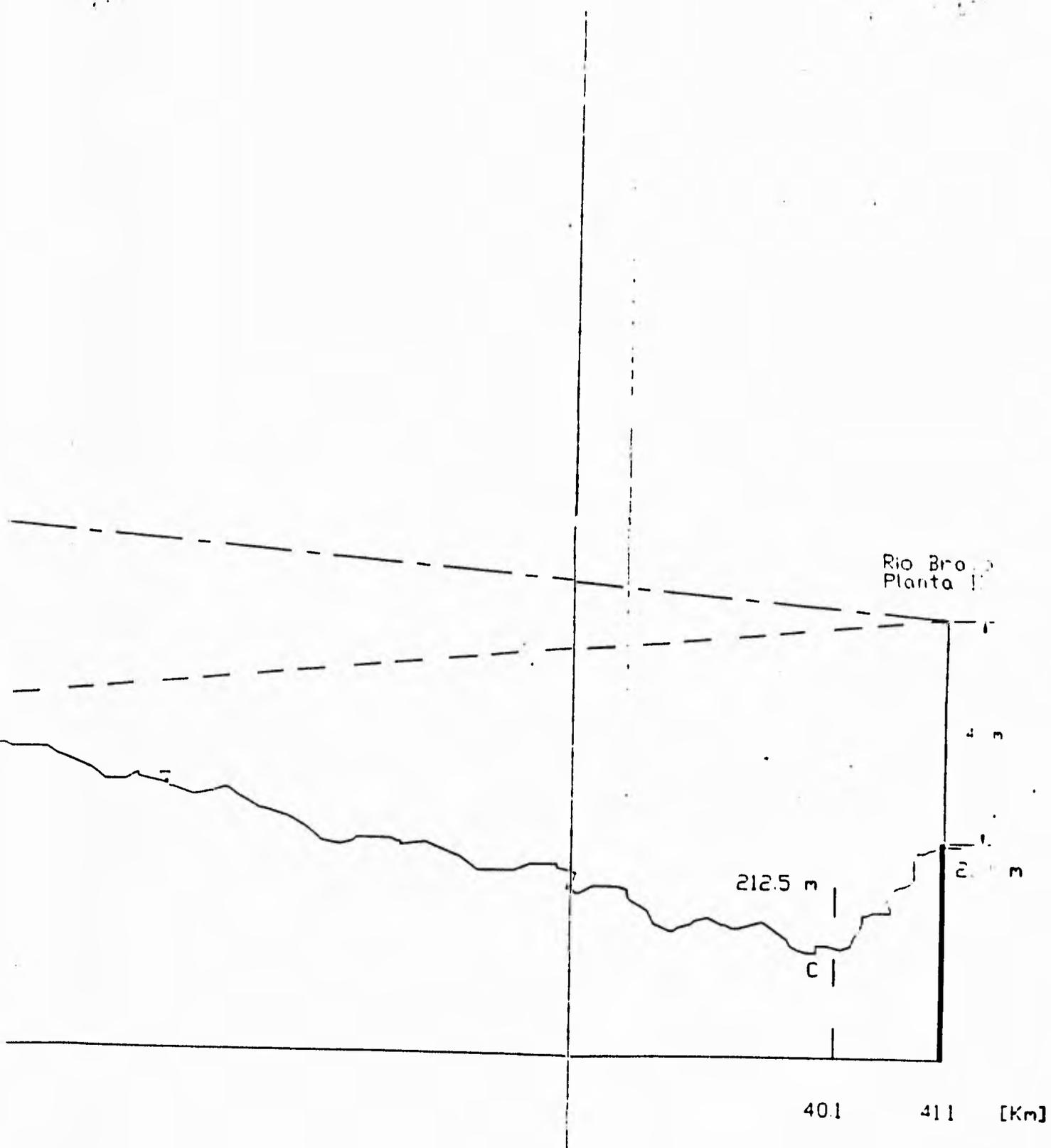


Tabla de Obstáculos

Obstáculo	Distancia al transmisor	Altura sobre el nivel del mar
A	5.0 (Km)	296 (m)
B	8.5 (Km)	295 (m)
C	11.5 (Km)	288 (m)
D	17.4 (Km)	268 (m)

Cálculos para la curvatura de la tierra, para cada obstáculo.

$$Ah_A = (5 \times 16.6)/(12.75 \times 0.66) = 9.86 \text{ m.}$$

$$Ah_B = (8.5 \times 13.1)/(12.75 \times 0.66) = 13.23 \text{ m.}$$

$$Ah_C = (11.5 \times 10.1)/(12.75 \times 0.66) = 13.80 \text{ m.}$$

$$Ah_D = (17.4 \times 11.2)/(12.75 \times 0.66) = 8.68 \text{ m.}$$

Cálculos para satisfacer el 60 % de la primer zona de Fresnel, para cada obstáculo.

$$AF_A = (17.3 \times (5 \times 16.6))/(0.96 \times 21.6) = 20.76 \text{ m.}$$

$$AF_B = (17.3 \times (8.5 \times 13.1))/(0.96 \times 21.6) = 24.05 \text{ m.}$$

$$AF_C = (17.3 \times (11.5 \times 10.1))/(0.96 \times 21.6) = 24.56 \text{ m.}$$

$$AF_D = (17.3 \times (17.4 \times 11.2))/(0.96 \times 21.6) = 19.48 \text{ mts.}$$

Cálculo total de incremento de altura para cada obstáculo.

Obstáculo	altura total
A	326.62 (m)
B	332.28 (m)
C	326.36 (m)
D	296.16 (m)

De igual forma el valor de altura total de cada obstáculo se dibujara cuidadosamente y se trazara una línea recta la cual deberá librar sin problema esta misma, definiendo de esta manera el valor de altura que deberá tener cada torre de comunicaciones.

Dadas las características especiales de este enlace se hizo necesario ubicar un repetidor pasivo entre el receptor ubicado entre Nava y la planta de bombeo intermedia. Ya que de no hacerse así, se tendrían que instalar torres para las antenas de dimensiones enormes, (aproximadamente 60 m a 70 m.) y con un costo evidentemente alto. Para la torre ubicada en la planta Termoeléctrica, se selecciono una altura de 35 m, para el repetidor pasivo se selecciono una torre de 40 m, para la estación intermedia se selecciono una torre de 30 m.

El cálculo de los puntos de reflexión se realizó ubicando gráficamente en los perfiles los sitios respectivos cuidando además que fueran superficies rugosas, capaces de ofrecer la dispersión deseada.

A) Cálculo para el punto de reflexión de Nava a la torre del repetidor pasivo, para ello se consideró la expresión:

$$Pr = h1/h2$$

$$Pr = 30/40$$

$$Pr = 0.75$$

Este valor en la gráfica 5.4 se tiene:

$$Pr = 0.75 \Rightarrow \text{En la gráfica} = 0.46 F_{pr} = 0.46$$

$$D_{pr} = D \times F_{pr}$$

$$D_{pr} = 9.26 \times 0.46$$

$$D_{pr} = 4.26 \text{ Km}$$

Cálculo para el punto de reflexión de la torre del receptor pasivo a la planta de bombeo intermedia.

$$Pr = h1/h2$$

$$Pr = 35/40$$

$$Pr = 0.875$$

Este valor en la gráfica 5.4 se tiene:

$$Pr = 0.875 \Rightarrow \text{En la gráfica} = 0.47 \quad F_{pr} = 0.47$$

$$D_{pr} = D \times F_{pr}$$

$$D_{pr} = 12.17 \times 0.47 \quad D = 12.17$$

$$D_{pr} = 5.72 \text{ Km}$$

**Enlace para Río Bravo (frontera Río Bravo).**

Distancia total del enlace  $D = 19.5 \text{ Km}$

Frecuencia de Transmisión  $f = 0.960 \text{ GHz}$

Valor de  $K \quad K = 0.66$

Tabla de Obstáculos.

Obstáculos	Distancia al transmisor	Altura sobre el nivel del mar
A	5.2 (Km)	240 (m)
B	9.8 (Km)	240 (m)
C	18.5 (Km)	200 (m)

Cálculos para la curvatura de la tierra, para cada obstáculo.

$$Ah_A = (5.2 \times 14.3)/(12.75 \times 0.66) = 8.83 \text{ m.}$$

$$Ah_B = (9.8 \times 9.7)/(12.75 \times 0.66) = 11.29 \text{ mts.}$$

$$Ah_C = (18.5 \times 1)/(12.75 \times 0.66) = 2.19 \text{ m}$$

Cálculos para satisfacer el 60 % de la primer zona de Fresnel, para cada obstáculo

$$AF_{1A} = (17.3 \times (5.2 \times 14.3)) / (0.96 \times 19.5) = 20.68 \text{ mts.}$$

$$AF_{1B} = (17.3 \times (9.8 \times 9.7)) / (0.96 \times 19.5) = 23.39 \text{ mts.}$$

$$AF_{1C} = (17.3 \times (9.8 \times 9.7)) / (0.96 \times 19.5) = 10.00 \text{ mts.}$$

Cálculo total de altura para cada obstáculo.

Obstáculo	Altura Total
A	269.51 (m)
B	274.68 (m)
C	212.5 (m)

También en este caso el valor de altura total de cada obstáculo se dibujará cuidadosamente, para posteriormente trazar una línea recta entre cada punto de enlace buscando que libre sin problema estos mismos. De nuevo esta será la manera en la cual se definirá el valor de altura que deberá tener las torres de comunicaciones, en este caso no se presentó ningún problema para librar los obstáculos obteniéndose la altura de la torre de 30 m. a 40 m los cuales se consideran apenas adecuados a un enlace del tipo que se está manejando.

De igual forma se realizó el cálculo de los puntos de reflexión resultando en cada caso incidir en superficies rugosas. Uno de ellos se ubicó sobre un sembrado, no presentando ningún problema para la dispersión de la señal.

Cálculo para el punto de reflexión de entre las torres de la estación intermedia a Rio Bravo.

$$Pr = h1/h2$$

$$Pr = 30/40$$

$$Pr = 0.75$$

Este valor se compara en la gráfica 5.4 de donde se obtiene el factor:

$$Pr = 0.75 \Rightarrow \text{En la gráfica } F_{1r} = 0.46$$

$$D_{1r} = D \times F_{1r}$$

$$D_{1r} = 19.5 \times 0.46$$

$$D_{1r} = 8.97 \text{ Km}$$

### V.2.3 Cálculo de ganancias.

En esta sección se realizarán los cálculos respectivos para determinar la ganancia y/o atenuaciones que presente el enlace para cada una de las rutas seleccionadas. Determinando además si las características del equipo son suficientes para establecer satisfactoriamente la comunicación.

Para saber si un enlace de microondas tiene la capacidad de alcanzar a transmitir y recibir información, de un punto a otro, es a través de dos características importantes como se pudo percatar anteriormente y esto es tanto las pérdidas debidas al medio de transmisión como las pérdidas en el sistema de comunicación y por otro lado la sensibilidad del equipo (umbral) y las ganancias que pudiera haber en algunos de los elementos del mismo sistema. Tanto las pérdidas como ganancias se obtienen a través de la expresión:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_s + G_{RX} - L_{RX} - L_{MISC}$$

Donde:

$P_{RX}$  = Potencia recibida en el receptor [ $dB_w$ ]

$P_{TX}$  = Potencia en el transmisor [ $dB_w$ ]

$L_{TX}$  = Pérdidas en el punto transmisor (debidas a cable coaxial, conectores diplexores, convalidores etc.)

$G_{TX}$  = Ganancia de la antena transmisora en [dB]

$L_s$  = Pérdidas en el espacio libre.

$G_{RX}$  = Ganancia de la antena receptora [dB]

$L_{RX}$  = Pérdidas en el punto receptor (debidas a cable coaxial, conectores etc.)

$L_{MISC}$  = Pérdidas misceláneas (margen de implementación desviación por lluvia, interferencia radioeléctrica margen de enlace) [dB]

Los datos que a continuación se están tomando son adquiridos a través de los manuales de los distribuidores de equipos para comunicaciones de radio enlace.

El equipo de ULTRADATA 64 tiene una ganancia de  $P_{TX} = +37$  dBm. con una sensibilidad de umbral de  $-95$  dBm

Dos conectores para cable coaxial tienen en conjunto una pérdida de 0.5 dB

El cable coaxial tiene una pérdida de 2.3 dB por cada 100 ft

La antena Yagi tiene una ganancia de transmisión  $G_{TX} = 11$  dB

Una antena de recepción tipo Yagi tiene una ganancia  $G_{RX} = 12$  dB

La frecuencia a utilizar en el enlace es de 960 MHz

Las pérdidas encontradas en el enlace de Nava a Rio Escondido, de las cuales se hizo una lista de las mismas desde el punto de transmisión al punto de recepción las cuales son las siguientes:

$$P_{TX} = 37 \text{ dB}_m \text{ que son equivalentes a } 7 \text{ dB}_w \quad 7 \text{ dB}_w$$

$L_{TX}$  = Pérdidas en el cable + pérdidas en los conectores

Pérdidas en el cable 2.3 dB por cada 100 ft

los cuales son equivalentes a 2.3 dB por cada 30.48 m

considerando una distancia desde el transmisor a la antena de 25 m

como se puede apreciar da una pérdida de:

$$\frac{x}{25 \text{ m}} = \frac{2.3 \text{ dB}}{30.48 \text{ m}}$$

$$x = 1.89 \text{ dB}$$

$$-1.89 \text{ dB}$$

Pérdidas en los conectores de 0.5 dB	-0.5 dB
$G_{TX} = 11$ dB	11 dB
Las pérdidas en el espacio libre se obtienen a través de la expresión:	
$L_s = 20 \log \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)$	
cuya expresión se utiliza más comúnmente como:	
$L_s = 32.44 + 20 \log D_m + 20 \log F_{MHz}$	
sustituyendo valores obtenemos	
$L_s = 32.44 + 20 \log 11 + 20 \log 960$	
$L_s = 112.92$ dB	- 112.92 dB
$L_{RX}$	
Puesto que las dimensiones del cable son las mismas tenemos que las anteriores	
pérdidas en el cables es de 1.89 dB	- 1.89 dB
pérdidas por los conectores es de 0.5 dB	- 0.5 dB
$L_{MISC}$	
Margen de implementación de 3 dB	- 3 dB
Las pérdidas totales son	<hr/> -102.7 dB

Haciendo el mismo procedimiento que el anterior se encontró que las pérdidas en el enlace de la Planta I a Río Bravo planta II, con la diferencia de que al unir estos dos puntos se utilizó un repetidor pasivo, con lo cual el nivel de recepción queda expresado de la siguiente forma.

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_s + G_{RX} - L_{RX} - L_{MISC} - L_{PER REP}$$

$L_{PER REP}$  = pérdidas en el repetidor

$$P_{TX} = 7 \text{ dB}$$

7 dB

$L_{TX}$  = Pérdidas en el cable + pérdidas en los conectores

Pérdidas en el cable 2.3 dB por 30.48 m

considerando una distancia desde el transmisor a la antena de 40 m

lo cual como se puede apreciar da una pérdida de:

$$\frac{x}{40 \text{ m}} = \frac{2.3 \text{ dB}}{30.48 \text{ m}}$$

por lo que las pérdidas en el cable es de 3.02 dB	- 3.02 dB
Pérdidas en los conectores de 0.5 dB	-0.5 dB
$G_{TX} = 11$ dB	11 dB
$L_s = 32.44 + 20 \log D_m + 20 \log F_{MHz}$	
sustituyendo valores obtenemos	
$L_s = 32.44 + 20 \log 21.6 + 20 \log 960$	
$L_s = 118.77$ dB	-118.77
$L_{RX}$	
Considerando que la distancia del cable es de 35 m	
$\frac{x}{35 \text{ m}} = \frac{2.3 \text{ dB}}{30.48 \text{ m}}$	
por lo que las pérdidas en el cable es de 2.64 dB	- 2.64 dB
pérdidas por los conectores es de 0.5 dB	- 0.5 dB
$L_{MISC}$	
Margen de implementación de 1 dB	-3 dB
$L_{PER.REP}$	
Pérdidas en el repetidor pasivo es de 3 dB	- 3 dB
Pérdidas por conectores es de 0.5 dB	- 0.5 dB
las pérdidas totales son de:	<hr/> - 113.93 dB <sub>w</sub>

Las pérdidas encontradas en el enlace de la Planta I a Rio Bravo (Planta II) de las cuales se hizo una lista de las mismas desde el punto de transmisión al punto de recepción las cuales son las siguientes:

$P_{TX} = 37 \text{ dB}_m$  que son equivalentes a  $7 \text{ dB}_w$  7 dB<sub>w</sub>

$L_{TX} =$  Pérdidas en el cable + pérdidas en los conectores  
 Pérdidas en el cable 2.3 dB por cada 30.48 m  
 considerando una distancia desde el transmisor a la antena de 35 m  
 lo cual como se puede apreciar da una pérdida de:

$$\frac{x}{35\text{m}} = \frac{2.3\text{dB}}{30.48 \text{ m}}$$

Pérdidas en el cable de 2.64 dB	-2.64 dB
Pérdidas en los conectores de 0.5 dB	-0.5 dB
$G_{TX} = 11$ dB	11 dB
Las pérdidas en el espacio libre se obtienen a través de la expresión:	
$L_s = 32.44 + 20 \log D_m + 20 \log F_{MHz}$	
sustituyendo valores obtenemos	
$L_s = 32.44 + 20 \log 19.5 + 20 \log 960$	
$L_s = 117.88$ dB	-117.88 dB <sub>w</sub>
$L_{RX}$	
Las dimensiones del cable es de 45 m	
x    2.3dB	
45 m    30.48 m	
Pérdidas en el cable de 3.396 dB	-3.396 dB
Pérdidas por los conectores es de 0.5 dB	-0.5 dB
$L_{Misc}$	
Margen de implementación de 3 dB	-3 dB
Las pérdidas totales son:	<hr/> -97.93 dB <sub>w</sub>

Recordemos que el umbral del equipo es de -95 dB<sub>m</sub> lo que equivale a -125 dB<sub>w</sub>, en todos los casos las pérdidas no están alcanzando este valor por lo que se puede decir que el enlace, teóricamente se pueden llevar a cabo, aun con las pérdidas debidas al medio de propagación y a los elementos que atenuan la señal.

### V.3 Pruebas.

En esta sección se iniciará, una serie de pruebas físicas al equipo, todas ellas con el fin de garantizar la correcta operación de este. Así mismo se realizarán las pruebas necesarias al local buscando que este cumpla con los requerimientos antes mencionados. Finalmente se instalará el equipo dentro de local y se probará su operación inicial, para posteriormente establecer el enlace con una de las estaciones remotas.

#### V.3.1 Pruebas al equipo de telecomunicaciones.

En esta sección se realizarán pruebas físicas al equipo, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. Para el proyecto no fue posible realizar esta prueba debido a que no se implementó físicamente este mismo. Evidentemente esto trajo como consecuencia limitantes técnicas, como esta

---

### **V.3.2 Pruebas a la estación.**

En esta sección se realizarán las pruebas e inspecciones necesarias a local del equipo de comunicaciones, con el fin de verificar el cumplimiento de los requerimientos solicitados para él.

### **V.3.3 Pruebas al enlace total.**

En esta sección se instala completamente el equipo de comunicaciones dentro del local destinado para esto, se instalan las torres de comunicaciones y se realiza la totalidad de los cableados. Así mismo, se instalan los equipos adicionales tales como baterías de respaldo y si es necesario la planta generadora de electricidad. Finalmente se pone en operación dos o más equipos dentro de los respectivos locales, estableciéndose el enlace total. Para ello se tienen que realizar los ajustes "finos" a la orientación de las antenas de comunicación, por medio de un analizador de espectros, el cual indicará en que momento el equipo receptor detecta la señal portadora del equipo transmisor, estableciéndose de esta manera el enlace completo.

Una vez operando cada uno de los enlaces, se hace necesario monitorear el sistema por un periodo de tiempo, con el fin de detectar alguna falla o mal funcionamiento debido básicamente a la reciente puesta en operación del equipo, y en caso de ser necesario realizar ajustes al mismo.

## Conclusiones.

Las necesidades de incrementar el suministro de energía eléctrica en la zona noreste del país ha obligado a los organismos gubernamentales a reforzar este aspecto, de esta manera la Comisión Federal de electricidad consiente de ello, instaló una planta termoeléctrica en la zona. Así mismo fue necesario concebir un sistema de comunicación de datos capaz de ofrecer el medio para controlar los sistemas hidráulicos de bombeo, satisfaciendo las necesidades de operación de dicha planta.

A lo largo del desarrollo de este trabajo se pudo constatar la importancia de diseñar un sistema de comunicaciones que sea de fácil instalación, y de operación así como de mantenimiento y en caso de ser necesario un servicio sencillo, mismo que posea especificaciones de operación acordes a las condiciones generales de los lugares en donde se instalará cada equipo de transmisión-recepción. La evaluación y análisis de cada una de las condiciones atmosféricas, geográficas y climatológicas contribuyeron a determinar un perfil característico de la zona. El cual fue determinante para la especificación del equipo a emplear.

Por otro lado, la evaluación en particular de cada una de los equipos existentes en el mercado mexicano fue de gran utilidad en la selección del sistema de comunicaciones a utilizar. Se pudo ofrecer no únicamente un trabajo de investigación particularizado a las necesidades de CFE para la planta Termoeléctrica de Carbón II, además se presento una guía practica y sencilla la cual tiene la finalidad de orientar a cualquier persona del área acerca de los pasos necesarios a seguir para la implementación de un enlace de datos.

Cabe mencionar que la investigación se sustentó en el objetivo primordial de ofrecer un medio de comunicación adecuado, considerando que la solución planteada resuelva las necesidades del cliente. Sin embargo y debido a causas ajenas a nuestro control, no fue posible implementar físicamente el enlace, con las limitantes técnicas que ello implica.

La propuesta ha aportado el conocimiento de temas nuevos, los cuales no se han tratado con anterioridad, como es la introducción a los equipos conocidos como radiomodems, los cuales son capaces de manejar la transmisión y recepción de datos a través del espacio; se pudo concluir que dadas sus características generales se ofrece una solución óptima para los requerimientos del proyecto, dado que ofrece un fácil manejo general, características de bajo costo y alta rentabilidad atractivas.

Adicionalmente se tuvo la oportunidad de poner en practica los conocimientos teóricos sobre la materia, tales como: radiación y propagación de ondas electromagnéticas; tipos de medios de transmisión de datos, tipos de sistemas de comunicación, tipos de técnicas de modulación, así como los diferentes tipos de radio - enlace. Cada uno de ellos aportando los conocimientos y las bases teóricas necesarias para alcanzar el objetivo del presente trabajo.

## Apendice A

### Interfases RS232-C y V.35

El estándar por excelencia en el mundo de los ordenadores y de las comunicaciones es en la actualidad el RS-232C de la EIA.

#### Interfaz RS-232C.

La denominación correcta del RS-232C es "Interfaz entre DTE y DCE" que utiliza intercambio de datos binarios en serie y es aplicable a la recomendación V.24 del CCITT, que es casi idéntico al RS-232C; sin embargo las características eléctricas de la señal se especifican separadamente en la recomendación V.28 del CCITT.

El estándar RS-232C cubre cuatro áreas:

1. Características mecánicas de la interfaz (que nos dará algunas sorpresas).
2. Paso de señal eléctrica por la interfaz.
3. Función de cada señal.
4. Subconjunto de señales para ciertas aplicaciones.

#### Nivel mecánico.

Como cualquier otro estándar, el principal propósito del RS-232C es servir de referencia a los diseñadores de equipos; por lo tanto no resulta didáctico y no es de fácil lectura. Algunos creen que el estándar define el conector DB-25, lo cual no es cierto. De lo que se ocupa la sección mecánica es de la asignación de señales a los contactos del conector; qué parte del equipo contiene el conector hembra (el DCE), longitud del cable máxima recomendada (15 metros), y máxima capacidad del cable (2500 picofaradios), como el conector DB-25 va casi siempre asociada con el RS-232C, se muestra la disposición de sus contactos en la figura A.2. Sin embargo no está definida en el estándar y algunos fabricantes (entre los que destaca IBM) utilizan otro conector en gran parte de sus equipos.

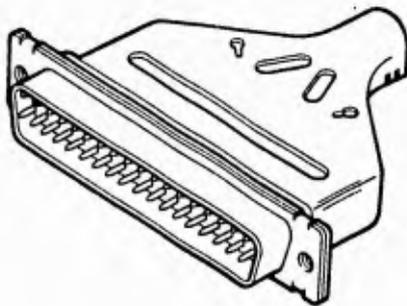


Figura A.2. El conector D. El conector D de 25-pines es usado por los equipos RS-232, RS-366, RS-530 y el V.24.

### Niveles eléctricos y funcional.

Aunque no tiene mucho sentido decir que es un estándar, hay partes más importantes que otras, si es cierto que las secciones eléctricas y funcional son el corazón del RS-232 (El nivel eléctrico cubre todas las especificaciones importantes del voltaje y corriente en cada patilla, aparte de aspectos tales como el no se perjudicar el equipo si se cortocircuitan dos patillas cualesquiera). (Esto no significa que el circuito siga funcionando, pero tampoco va a quedar dañado.) El nivel funcional o lógico, quizá el más importante de todos define la secuencia de las señales y las acciones que llevan a cabo el DTE y el DCE como respuesta.

Aunque el estándar RS-232C define los procedimientos de respuesta automática del modem y de inversión del sentido de transmisión en comunicaciones semiduplex, no define el marcado automático; es el estándar RS-366 de EIA el que se encarga de ello. Como veremos más adelante muchos modems actuales incorporan marcado automático de manera inimaginables para los autores del RS-232C y RS-366.

#### Análisis de las patillas del RS-232C.

En la figura A.1 las señales van numeradas y denominada según tres sistemas normalizados, más un cuarto sistema que no está normalizado pero que utiliza mucha gente. El primer sistema es de numeración y se refiere a las patillas que manejan la interfaz con regularidad. El segundo es la designación de EIA, BA, BB, CB etc. La tercera designación es del CCITT: 103, 104 106 etc. La cuarta es una arquitectura de la descripción (en inglés) de la señal, TD (Transmitted Data, transmisión de datos), RD (Received Data, recepción de datos), etc. estas abreviaturas no están normalizadas, es frecuente que haya más de una para una señal determinada. Ahora haremos un análisis de las patillas y veremos las señales según su categoría y función.

El RS-232 y el CCITT V.24 están bueno como el RS-530 especificando formalmente el uso de un D-shape conector interface de 25-pines similares al conector ilustrado en la figura A.2 Un cable para 25 conectores individuales es sujetado por la parte angosta del conector, cuando los conectores individuales son soldados para definir las conexiones del pin dentro del conector

El CCITT X.20 y el X.21 equipo compatible usa un conector subminiatura D de 15- posiciones y tienen 10 pines predefinidos como el conector D de 25- posiciones ilustrado en la figura A.2. El CCITT V.35 equipo compatible usa uno de 34 posiciones conectores serie "M" milar para el conector ilustrado en la figura A.3 el RS-449 equipo compatible usa un conector D de 37- posiciones y puede obsionalmente usar un conector D de 9- posiciones Mientras que el equipo compatible RS-366 usa uno conector D de 25- posiciones similar al conector ilustrado en la figura A.2.

Tal vez la selección más común para el conector de 25-pines manufacturado para una tarjeta adaptadora serial-paralelo para uso en la IBM PC AT y computadoras personales compatibles. El puerto serial RS-232-C sobre la tarjeta usa un conector de 9-pines la cual resulta en el desarrollo de un mercado viable para convertidores de 9-pines a 25-pines consistiendo para un conector de 9 pines y 25-pines sobre terminales opuestas para un cable corto el cual intercambiar circuitos son ruteados en una manera específica para suministrar un nivel requerido para la compatibilidad.

La mejor diferencia entre RS-232-D y el RS232-C es la nueva revisión de soporte, ambos equipos de comunicación local y remota por la adición de señales para soportar estas funciones y modificando el uso del grado de protección del conductor para proveer una capacidad de protección.

**A.4 Análisis de las patillas del RS-232C.**

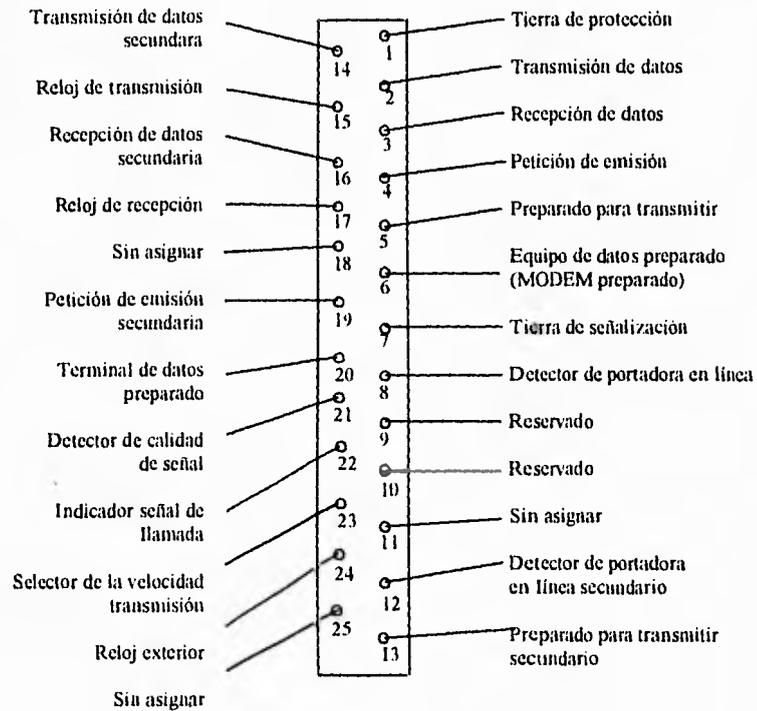


Figura A.1 Típico conector hembra RS-232C

N.º PAT	EIA CKT	CCITT CKT	Descripción de la señal	Abrev. común	De DCE	A DTE
1	AA	101	Tierra de protección (chasis)	GND		
2	BA	103	Transmisión de datos	TD		X
3	BB	104	Recepción de datos	RT	X	
4	CA	105	Petición de emisión	RTS		X
5	CB	106	Preparado para transmitir	CTS	X	
6	CC	107	Equipo de datos preparado	DSR	X	
7	AB	102	Tierra de señal/Retorno común	SG	X	X
8	CF	109	Detector de señal de línea recibida	DCD	X	
9			Reservada			
10			Reservada			
11			Sin asignar			
12	SCF	122	Detector de señal de línea recibida secundaria		X	
13	SCB	121	Preparado para transmitir secundario		X	
14	SBA	118	Transmisión de datos secundaria		X	
15	DB	114	Sincronismo en transmisión (por DCE)		X	
16	SSB	119	Recepción de datos secundaria		X	
17	DD	115	Sincronización de recepción		X	
18			Sin asignar			
19	SCA	120	Petición de emisión secundaria			X
20	CD	108/2	Terminal de datos preparado	DTR		X
21	CG	110	Detector de calidad de la señal	SQ	X	
22	CE	125	Indicador de señal de llamada	RI	X	
23	CH	11	Selector de velocidad binaria (DTE)			X
23	CI	112	Selector de velocidad binaria (DCE)		X	
24	DA	113	Sincronismo en transmisión (por DTE)			X
25			Sin asignar			

Tabla A.1 Designación de las patillas del RS-232C.

### Interfaz V.35

El estándar del CCITT V.35 fue desarrollado para soporte de alta velocidad de transmisión, típicamente 48, 56 y 64 Kbps. Originalmente la interfaz V.35 fue diseñada hacia el interior de la computadora del cuadro principal para soportar la transmisión de 48 Kbps sobre la facilidad de las guías de onda analógica. Hoy el estándar V.35 es la interfaz prevalente para la facilidad de transmisión común de datos digitales de 56 Kbps en los Estados Unidos y 48 Kbps para el acarreo común de transmisión digital.

Las características de la señal eléctrica del V.35 son una combinación de voltaje desbalanceado y una corriente balanceada. Si bien las señales de control son eléctricamente desbalanceadas y son compatibles con el RS-232 y el CCITT V.28, los circuitos de intercambio de datos y reloj son dirigidos para balancear

la conducción usando señal diferencial similar para el RS-422 y el CCITT V.11 V.35 usando un conector de 34-pins en el ISO 2593 similar para el conector ilustrado en la figura A.3.

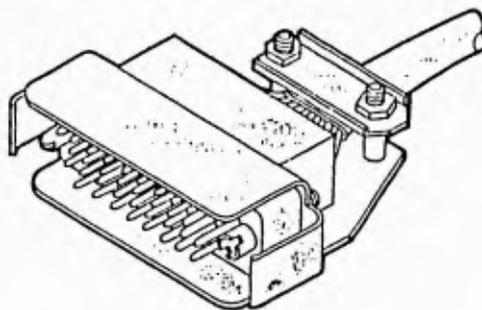


Figura A.3. El conector series V-35. El conector V.35 tiene 34-pins.

## Bibliografía

Reglamento de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Freeman, Roger L. Telecommunication System Engineering. Wiley Series in Telecommunications. John Wiley & Sons. Second Edition. 1989.

Stremler, Ferrel G. Sistemas de Comunicación. Fondo Educativo Interamericana. Cuarta Edición 1985.

Ziemer, R.E. y Tranter, W. H. Principios de Comunicaciones, Sistemas Modulación y Ruido. Trillas. Segunda Edición. 1988.

Smith, Woodrow. Manual de Antenas. Hispano Americana S.A. 1967.

Jordan, Eduard C. (Editor in Chief). Reference Data for Engineers Radio, Electronics, Computer and Communications. Seven Edition. Howard W. Sams & Company.

Kraus, John D. Antenas. McGraw-Hill Book Company. Second Edition 1988.

Blanis, Constantine A. Antenna Teory, Analysis and Desing. Jonh Wiley & Sons. Segunda Edición 1982.

Manual. RAN, Radio Area Networks. Multipoins Networks 1993.

Manual. ULTRADATA Digital RF Private Data Communications Systems. International Mobile Machines Corporation 1993.

Manual. DM200. Comtek Telecommunication Inc.

Manual. AIRLINK. Specifications. Cylink Corporation.

Held, Gilbert. Understanding Data Communications from Fundamenntals to Networking. John Wiley & Sons 1991.

Gumhalter, Hans. Sistemas de Alimentación de Energía para las Telecomunicaicones Parte I. Principios Basicos. Marcombo S.A. SIEMENS 1987 Primera Edición.

Friend, George E. Et al. A Fondo Transmisión de Datos y Comunicaciones. Ediciones Anaya Multimedia, S.A. Primera Edición 1987.

Yamene, Naburu. Fundamentos de Propagación de Microondas. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Segunda Edición