

6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**CAMPUS ARAGÓN**

293371

**ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA PARA  
UN ENLACE DE MICROONDAS EN LA  
CIUDAD DE PUEBLA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
(ÁREA: COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA)  
**P R E S E N T A N:**  
**FRANCISCO JAVIER ARCE SOTO**  
**MARTÍN CASTRO MODESTO**

ASESOR: ING. RAUL BARRÓN VERA

**MEXICO**

**2001**





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

**REGISTRO  
PROVISIONAL**

MARTIN CASTRO MODESTO  
Presente.

En contestación a la solicitud de fecha 8 de febrero del año en curso, presentada por Francisco Javier Arce Soto y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el profesor, ING. RAUL BARRON VERA, pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado "ESTUDIO DE LINEA DE VISTA PARA UN ENLACE DE MICROONDAS EN LA CIUDAD DE PUEBLA", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx. 10 de febrero de 2000  
EL DIRECTOR

LIC. CARLOS EDUARDO LEVY VELAZQUEZ



c c p Secretaría Académica  
c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
c c p Asesor de Tesis

CELV/AIR/MCA/hmm\*

*[Handwritten signatures]*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

**REGISTRO  
PROVISIONAL**

FRANCISCO JAVIER ARCE SOTO  
Presente.

En contestación a la solicitud de fecha 8 de febrero del año en curso, presentada por Martín Castro Modesto y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el profesor, ING. RAUL BARRON VERA, pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado ESTUDIO DE LINEA DE VISTA PARA UN ENLACE DE MICROONDAS EN LA CIUDAD DE PUEBLA", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes -- Profesionales en esta escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx. 10 de febrero del 2000  
EL DIRECTOR

LIC. CARLOS EDUARDO LEVY VAZQUEZ



c c p Secretaría Académica  
c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
c c p Asesor de Tesis

CELV/AIR/MCA/hmm\*

## *El Final de un Triunfo*

*Hemos llegado al final de una meta... sólo una porque estamos seguros de que nos propondremos más, sin embargo queremos manifestar nuestra alegría por haber logrado concluir este gran sueño y hacer partícipes a todas las personas que fueron parte de este triunfo...*

*Sólo alguien puede lograr que todos nuestros sueños se cumplan y esta no fue la excepción, gracias Dios por cuidarnos en el camino.*

*Ahora toca agradecer a las personas más importantes en nuestras vidas... ellos son quienes nos vieron crecer y apoyaron en todo momento sin condición... cualquier adjetivo de agradecimiento sería poco por todo lo que hicieron por nosotros... gracias a nuestros Padres y Hermanas, los amamos.*

*Gracias a todos nuestros amigos y compañeros de escuela, a toda la banda de IME de la ENEP Aragón quienes hicieron tan ameno cada día de clases.*

*Gracias a todos los profesores que compartieron sus conocimientos con nosotros y de esta manera convertirse en inmortales, en especial al Ing. Raúl Barrón Vera por tener la disposición y paciencia para guiar este trabajo.*

*Martín y Francisco Javier*

*A ustedes:*

*Las personas quienes me dieron vida y todo lo que poseo, ustedes de quienes siempre he tenido apoyo, amor y todo lo mejor de esta vida, ustedes que durante todo este tiempo han estado en todas mis vivencias, buenas o malas y que en esos instantes, en que los he necesitado, siempre estuvieron y han estado a mi lado, les doy gracias por todos esos momentos de felicidad que hemos compartido juntos y que nunca se borrarán en lo que me reste de vida, todas esas vivencias y muchas cosas más, nunca las olvidare y siempre viviré agradecido con Dios por haberme entregado a esa pareja tan encantadora como lo son ustedes, mis Papas: Pepe y Magos.*

*Y a ese par de hermosos luceros que son mis hermanas, Esmeralda y Erika a quienes de igual manera les doy gracias por su apoyo y compañía durante todo este tiempo y lo que nos quede de vida...*

*Los adoro a ustedes: Mi Familia.*

*Francisco Javier*

## *El Regalo más Hermoso del Mundo...*

*Sólo hay un poder tan grande en este mundo que nos puede mantener vivos y con la suficiente fe para realizar todo lo que nuestra imaginación ambicione... el Amor y es este poder que Dios nos ha otorgado el que me mueve para gritar al mundo a quien debo todo lo que soy en esta vida...*

*Ella es la mujer más incondicional de mi vida, es la única que daría su corazón y vida para nunca verme sufrir, ella es el ser que jamás me ha fallado y nunca ha dejado que pena alguna embargue mi corazón además de que siempre tiene el consuelo adecuado y sólo basta una mágica caricia de ella para darme el aliento infinito que me hace seguir siempre adelante; esta mujer incomparable es mi Madre... gracias Mamá por darme la vida y el amor que me hicieron llegar hasta este momento.*

*Él es el hombre de la voluntad inquebrantable y la fe más grande que he conocido, él es quien me enseñó que mientras exista salud y fuerza a mi familia nunca le hará falta algo que comer, él es el héroe más grande que he tenido y el mejor ejemplo de tenacidad y amor hacia el trabajo, te agradezco Papá el haberme guiado en mi camino y así haber alcanzado este triunfo.*

*Por último ella es la otra mujer más importante en mi vida, no existe persona alguna con quien pueda pelear tan a gusto como lo hago con ella, su característica principal es que es poseedora de un gran corazón y sentimientos que brillan en la oscuridad; es de carácter de tormenta, sin embargo siempre está cuando la necesito... gracias a mi Hermana por su compañía y amor que me ha dado desde que llego a compartir su vida conmigo.*

*Ellos Mercedes, Florencio y María del Carmen son mi orgullo y razón de vivir, gracias por ser el motor que mueve mi universo... los amo con la infinita fe que inculcaron en mi corazón.*

*Gracias Dios por darme vida y dejarme llegar a este final feliz y recibir el regalo más Hermoso del mundo.*

*Con amor... Martín*

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

## CAPÍTULO I

### CONCEPTOS DE RADIO

	Pag.
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 TERMINOLOGÍA DE LA RADIO .....	3
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS .....	4
1.4 TRANSMISIONES DE RADIO MÓVIL .....	8
1.5 RUIDO E INTERFERENCIA .....	10
1.6 PERDIDAS EN EL ESPACIO .....	11
1.7 ALTERNATIVAS DE LOS ENLACES DE RADIO .....	14
1.8 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RADIO DE MICROONDAS .....	14
1.9 TRANSMISIÓN DE DATOS Y ORGANIZACIONES DE ESTANDARIZACIÓN .....	23
1.10 DETECCIÓN DE ERRORES .....	25
1.11 CORRECCIÓN DE ERRORES .....	27
1.12 TRANSMISIÓN EN SERIE Y PARALELO .....	27
1.13 TRANSMISIÓN SÍNCRONA Y ASÍNCRONA .....	29
1.14 OPERACIÓN DE DOS HILOS CONTRA CUATRO HILOS .....	30
1.15 SINCRONIZACIÓN .....	32
1.16 REPETIDORES Y REGENERADORES .....	34
1.17 VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL .....	35



1.18	DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL .....	35
1.19	MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DEL TIEMPO DE SEÑALES DIGITALES Y SEÑALES ANALÓGICAS .....	38
1.20	SISTEMAS DE MULTICANALIZACIÓN .....	43
1.21	SISTEMAS DE ANTENAS Y TORRES .....	43
1.22	ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA.....	47

## **CAPÍTULO II**

### **MICROONDAS**

II.1	INTRODUCCIÓN .....	54
II.2	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE MICROONDAS .....	54
II.3	ALGUNOS DISPOSITIVOS GUÍAONDAS .....	60
II.4	ACOPLAMIENTO DE GUÍAONDAS .....	65
II.5	DISPOSITIVOS DETECTORES .....	66
II.6	CAVIDADES RESONANTES .....	68
II.7	KLISTRONES .....	70
II.8	MAGNETRONES .....	74
II.9	TUBOS DE ONDA PROGRESIVA Y OSCILADORES DE ONDA REGRESIVA .....	77
II.10	MEDICIONES DE MICROONDAS .....	80
II.11	RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE GUÍAONDAS .....	82

## **CAPÍTULO III**

### **CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN ENLACE DE MICROONDAS**

III.1	MÉTODO BÁSICO PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ENLACES DE MICROONDAS .....	84
III.2	ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE MICROONDAS .....	84
III.3	SOFTWARE PATH LOSS .....	91
III.4	TRABAJO DE ESCRITORIO PARA EL DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS CON EL APOYO DEL SOFTWARE PATH LOSS .....	111
III.5	INVESTIGACIÓN DEL TERRENO REAL .....	116
III.6	INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL LUGAR PLANEADO PARA LA ESTACIÓN .....	118
III.7	PUESTA EN SERVICIO .....	121
III.8	INSTALACIÓN DEL EQUIPO .....	122
III.9	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO .....	129

## CAPÍTULO IV

### PROYECTO DEL ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA ENTRE LA CENTRAL CAMIONERA Y LA ZONA DE EXPANSIÓN INDUSTRIAL DE CALERA EN LA CIUDAD DE PUEBLA

IV.1	INTRODUCCIÓN.....	133
IV.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	135
	IV.2.1 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	135
	IV.2.2 CRITERIO DE DISEÑO DEL ENLACE .....	135
	IV.2.3 CRITERIO DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.....	136
IV.3	INFORMACIÓN DE LOS SITIOS .....	137
	IV.3.1 SITIO CENTRAL CAMIONERA .....	137
	IV.3.1.1 INFORMACIÓN DEL SITIO	
	IV.3.1.2 INFORMACIÓN DE TORRE Y SOPORTES	
	IV.3.1.3 INFORMACIÓN DE LA ANTENA	
	IV.3.1.4 CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO CENTRAL CAMIONERA	
	IV.3.2 SITIO CALERA.....	149
	IV.3.2.1 INFORMACIÓN DEL SITIO	
	IV.3.2.2 INFORMACIÓN DE TORRE Y SOPORTES	
	IV.3.2.3 INFORMACIÓN DE LA ANTENA	
	IV.3.2.4 CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO CALERA	
IV.4	POLIGONAL DEL ENLACE Y UBICACIÓN EN LA CARTA TOPOGRÁFICA .....	159
IV.5	PLAN DE FRECUENCIAS.....	161
IV.6	CARACTERÍSTICAS DEL RADIOMODEM.....	162
IV.7	DATOS DEL ENLACE .....	163
IV.8	HOJAS DE CÁLCULOS DEL ENLACE EN EL PATHLOSS .....	164
	IV.8.1 CÁLCULOS CONSIDERANDO CABLE COAXIAL HELIAX DE ½" Y ANTENAS ESTÁNDAR DE 60 CM.....	164
	IV.8.2 CÁLCULOS CONSIDERANDO CABLE COAXIAL HELIAX DE ½" Y ANTENAS ESTÁNDAR DE 120 CM.....	165
	IV.8.3 CÁLCULOS CONSIDERANDO COAXIAL HELIAX DE ½" DEL LADO DE CALERA Y GUIA DE ONDA DEL LADO CENTRAL CAMIONERA CON ANTENAS DE 60 CM .....	166

IV.9	RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS .....	169
IV.10	PERFIL DEL ENLACE .....	170
IV.11	EQUIPO DE MEDICIÓN .....	171
IV.11.1	EQUIPO EMPLEADO EN EL ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA .....	171
IV.11.2	EQUIPOS DE MEDICIÓN EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS A EQUIPOS DE MICROONDA .....	173
	CONCLUSIONES .....	174
	BILIOGRAFÍA .....	177

# INTRODUCCION

El avance Tecnológico que el hombre ha realizado a través del tiempo ha sido en gran parte para satisfacer diversas necesidades y una de ellas es el estar comunicado, sea cual sea la manera de hacerlo, el hombre requiere de una gran cantidad de elementos y técnicas que le permitan mantener una comunicación con sus semejante, siendo los medios para hacerlo la voz, el video o los datos.

El hecho de mantener siempre una comunicación ya sea a corta o a larga distancia nos lleva a tener toda una infraestructura la cual utiliza medios físicos o no físicos, la utilización de uno y otro dependerá de muchos factores como lo son costos, situación geográfica, distancia, capacidad, etc.

Los medios físicos se refieren a todas aquellas canalizaciones necesarias que se tienen que realizar para tender el cableado de cualquier tipo, ya sea cobre ó fibra óptica, esto con la única finalidad de transportar la información que se desee desde el punto de transmisión hasta el punto de recepción que manejemos ó en una red integra de Telecomunicaciones.

Los medios no físicos comprenden todas aquellas comunicaciones que se implementan de un punto a otro sin necesidad de tender ningún tipo de cableado. Dichos medios utilizan el espectro radio eléctrico y son conexiones vía microondas o satelitales.

Las comunicaciones vía microondas se empezaron a utilizar desde la segunda guerra mundial. Las microondas son ondas de radio generadas a muy altas frecuencias.

La emisión de microondas para telecomunicaciones se realiza a través de torres transmisoras, instaladas en línea visual en puntos elevados a distancias entre 30 y 50 kilómetros y se enfocan en esas direcciones.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer todos los elementos que se requieren para realizar una “línea de vista”, la cual forma parte importante para llevar a cabo el levantamiento físico de dos sitios los cuales estarán en una conexión vía microondas, la línea de vista es para asegurar que el enlace (para distancias cortas) no tendrá problemas de obstáculos que lo obstruyan a través de su trayectoria de un punto a otro.

Anteriormente para realizar este tipo de enlaces se tenían que desarrollar muchos cálculos matemáticos para poder saber las características que tendrá el enlace a través de la trayectoria que se define de entre uno y otro punto a enlazar. Actualmente se cuenta con herramientas de software y bases de datos geográficos que nos brindan un gran apoyo para el diseño total de un enlace vía microondas.

A través de los 4 capítulos que comprende este trabajo, se explicarán diferentes aspectos que se tienen que tomar en cuenta para diseñar un enlace de microondas y obtener así los mejores resultados en una comunicación a través de este medio.

El capítulo 1 explica todos los fundamentos teóricos que se deben tener para saber como es una comunicación inalámbrica de este tipo, también se habla sobre las características de antenas y torres que se utilizan en los enlaces de microondas.

El capítulo 2 nos habla de cómo se generan las microondas y los medios físicos que se utilizan para transportarlas así como las bandas de frecuencias en que operan.

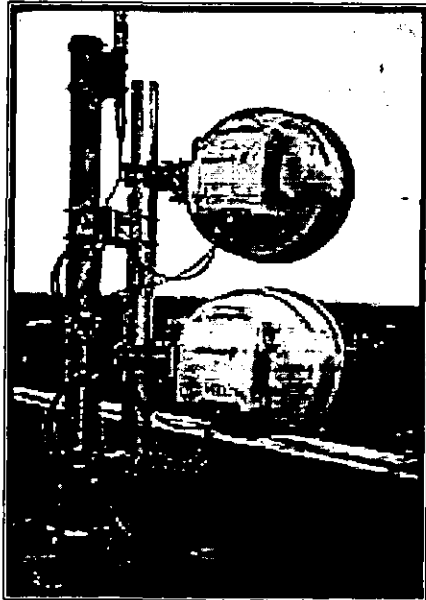
El capítulo 3 explica lo que se tiene que realizar para diseñar un enlace de microondas, así como todas las herramientas que se requieren para el levantamiento físico.

El capítulo 4 es un proyecto real de cómo realizar un enlace de microondas, dando a conocer todas las características y especificaciones de las estaciones en donde se realizo el enlace.

Finalmente y para concluir tendremos las conclusiones y la bibliografía consultada para el desarrollo del presente trabajo.

# CAPÍTULO I

## CONCEPTOS DE RADIO



## 1.1 INTRODUCCIÓN

Contar con un lenguaje común es la primera etapa para la comprensión de cualquier problema. A principios de este siglo, durante el desarrollo de la telegrafía y la radio, debido a la carencia de un lenguaje de telecomunicaciones, los ingenieros trataban los problemas con más casualidad que tecnología. Por razones que no fueron entendidas en aquella época, la velocidad de transmisión de los símbolos del código Morse al ser enviados a través de cables de larga distancia se vio reducida en gran medida, esto llevó al abandono de las transmisiones digitales; en aquel tiempo eran necesarias tres horas para transmitir el texto contenido en una página desde Europa hacia América a través de un cable submarino. Tiempo más tarde con la invención del teléfono, observamos por una parte, el nacimiento de las transmisiones análogas que en ese entonces ganaron terreno sobre las digitales las cuales no tenían la tecnología necesaria para hacerla práctica, y por otra parte, la construcción del monopolio más grande de la industria basándose en el cable de cobre y el “estancamiento” de la tecnología de la radio.

Las técnicas de modulación analógicas, están siendo suplantadas por otras digitales poderosas y complejas, cuyos circuitos individuales son construidos a partir de capas de programación extremadamente sofisticadas y luego combinadas dentro de sistemas ingeniosos de múltiple acceso. Esto ha dado como resultado sistemas de información con una gran ganancia en costo, calidad y capacidad. Sin embargo, la diversificación tan extensa de estas nuevas técnicas digitales dificulta la adecuada selección de una de ellas para un caso en particular, sin embargo cabe mencionar que el sistema que se presenta en el capítulo IV utiliza una forma de transmisión análoga con técnicas de modulación más sofisticadas que en el pasado por lo que podemos decir que se ha avanzado en también en esta materia combinado con técnicas de multiplexión y codificación digitales formando un sistema híbrido el cual hoy en día es muy común en el medio de las telecomunicaciones, además de que el utilizar técnicas digitales o analógicas depende de la aplicación en la cual se vaya a utilizar.

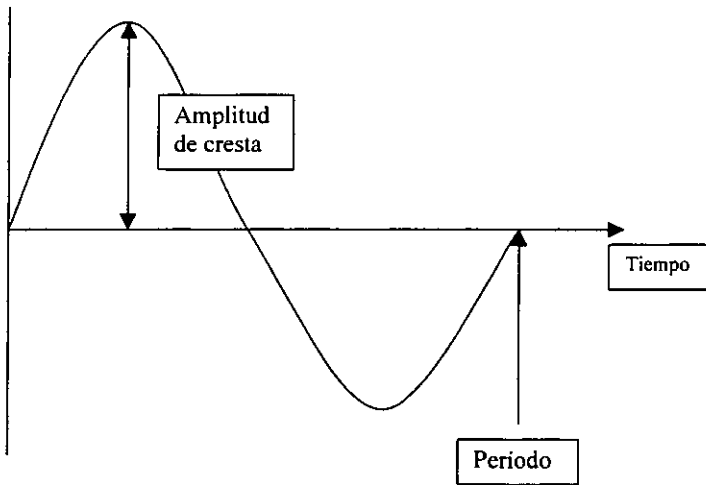
Anteriormente en las transmisiones analógicas la selección de la modulación FM era indiscutible, por otro lado con el renacimiento de la radio, la promesa de ser liberados de la liga a un punto o ubicación fijos de la red de telecomunicaciones y disfrutar de los mismos servicios en forma móvil (inalámbrico) esta cada vez más cercana. En fin, la combinación de las técnicas digitales y de informática ha obligado a las compañías de telecomunicaciones a modificar sus estrategias dada la amenaza constante de quedar obsoletas y fuera de la competencia tecnológica.



## 1.2 TERMINOLOGÍA DE LA RADIO

La Radio es una forma de energía electromagnética que se propaga en el espacio a la velocidad de la luz. Para nuestros propósitos, la onda de radio puede ser vista como una onda senoidal (ver figura I.1) cuyas características más importantes son:

- A) La Amplitud, magnitud de las crestas de la onda senoidal;
- B) La Frecuencia, número de ciclos que ocurren en un segundo; en el caso senoidal un ciclo está formado de dos crestas una positiva y otra negativa, la medida de la frecuencia es el Hertz (Hz) que define el número de ciclos por segundo;
- C) La Fase, ángulo de la onda a un momento preciso en el tiempo.



**Figura I.1 Forma de Onda de radio**

La Frecuencia de la onda es muy importante dado que a diferentes frecuencias la onda interactúa en forma diferente con el medio ambiente; algunas frecuencias permiten una propagación en línea directa, otras pueden rebotar y reflejarse en la ionosfera para una propagación a miles de kilómetros al horizonte, las ondas llamadas milimétricas tienden a ser absorbidas por el follaje de los árboles o la humedad atmosférica, mientras que otras a más baja frecuencias penetran sin muchas pérdidas.

### I.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

La Fig. 1.2 muestra un diagrama de la repartición del espectro electromagnético en función de la frecuencia y de la longitud de la onda. A menudo las ondas electromagnéticas están definidas en función de la longitud de onda permitiendo relacionarlas más fácilmente a las dimensiones de los componentes físicos: las antenas, las líneas de transmisión, los transistores y receptores, etc.

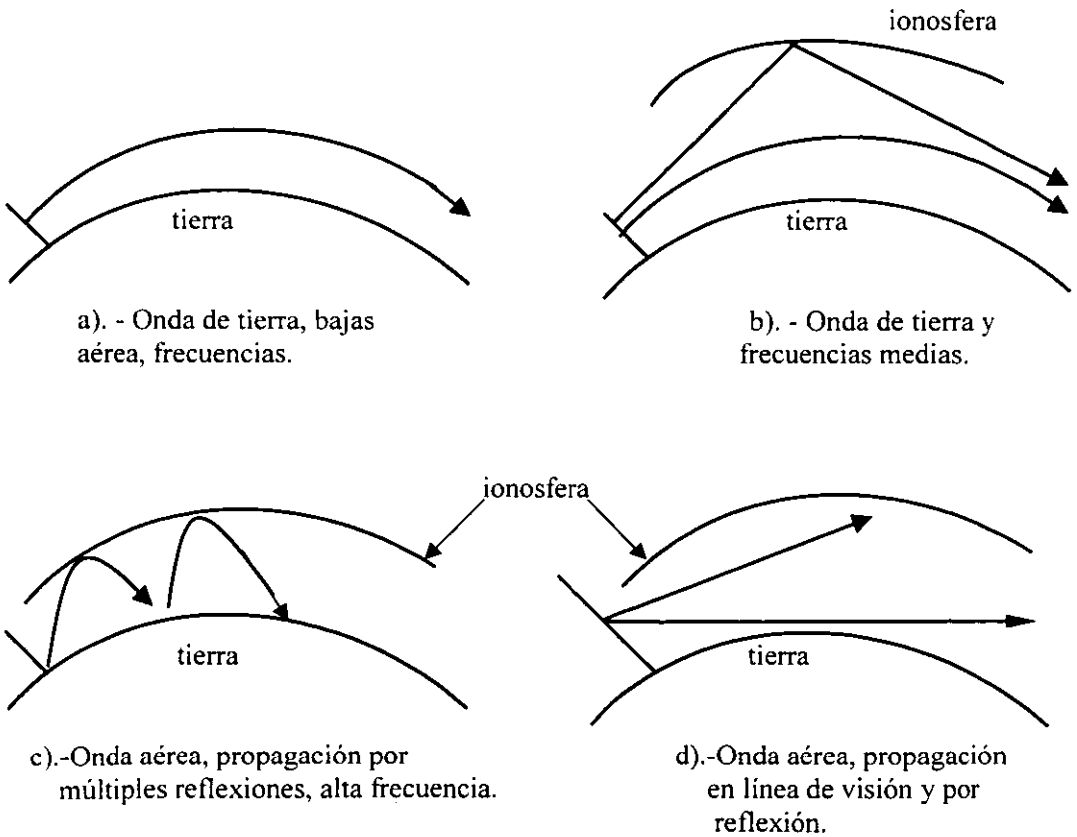
La banda del espectro electromagnético cuyas ondas tienen longitudes inferiores a  $10^{-14}$  metros corresponde a los rayos cósmicos, que provienen del espacio exterior y tienen una gran potencia de penetración. Luego entre  $10^{-10}$  y  $10^{-14}$  metros encontramos a los rayos gama, los cuales son liberados por los materiales radioactivos. Estas ondas son utilizadas en hospitales con el objeto de eliminar células de cáncer y otras enfermedades del cuerpo humano, pero obviamente por razones de seguridad sus fuentes deben ser mantenidas en contenedores de plomo. Entre las longitudes de onda de  $10^{-9}$  y  $10^{-11}$  metros encontramos a los rayos X, los cuales pueden penetrar los tejidos del cuerpo humano y por lo tanto pueden ser utilizados como una herramienta de diagnóstico en la medicina, la industria y la ciencia para producir fotografías de rayos X. Los rayos ultravioleta cuyas longitudes de onda se encuentran entre 380 y 5 nanómetros están presentes en la luz solar, y en grandes cantidades, pueden afectar la vida humana, por el contrario en pequeñas cantidades presentan efectos benéficos en el campo de la dermatología. La banda entre 740 nanómetros y 400 nanómetros corresponde a la luz visible, cuando nuestros ojos reciben ondas electromagnéticas en esta parte del espectro producen impulsos eléctricos que luego son interpretados como la visión por nuestro cerebro; cada uno de los colores visibles tiene a una longitud de onda (o frecuencia) diferente.



En el caso de las ondas de radio comunicación el espectro electromagnético puede ser dividido en cinco grandes bandas:

- A) Debajo de 100 KHz la transmisión es realizada por medio de ondas de tierra u ondas aéreas a múltiples reflexiones entre la tierra y la parte baja de la ionosfera. En esta banda la atenuación de las ondas es pequeña pero la dificultad práctica para realizar antenas eficientes a grandes dimensiones (a 750 metros o mayores) provoca que los transmisores requeridos deban operar a potencias muy elevadas. Esta banda es utilizada para comunicaciones de tipo de radio difusión en los sistemas de navegación entre barcos y estaciones costeras.
- B) En la banda entre 100 KHz y 1500 KHz la propagación se realiza principalmente en formas de tierra dado que las ondas aéreas son fuertemente atenuadas, especialmente durante el día. Estas frecuencias también son utilizadas para la radio difusión y ciertas ayudas de navegación.
- C) Entre 1500 KHz y 6 MHz la propagación se realiza en formas de ondas de tierra y aéreas. Esta banda es utilizada para comunicaciones a distancias moderadas.
- D) La siguiente banda esta comprendida entre 6 MHz y 30 MHz, la propagación depende casi totalmente de la onda aérea y por lo tanto de las condiciones en la ionosfera. Con poca atenuación y en condiciones adecuadas es posible cubrir largas distancias. Esta banda es normalmente utilizada para la radio difusión y las telecomunicaciones a larga distancia.
- E) Arriba de 30 MHz las ondas de radio pasan a través de la ionosfera y son utilizadas donde son posibles los enlaces con una línea de visión entre el transmisor y el receptor, aunque la trayectoria también puede incluir reflexiones. Esta banda es utilizada para la radio difusión de las señales de radio y televisión, los enlaces de microondas punto a punto incluyendo la transmisión hacia y desde los satélites, el radar y recientemente las telecomunicaciones móviles. Dada la corta longitud de las ondas, antenas pequeñas y eficientes pueden ser utilizadas lo que representa una ventaja considerable para las telecomunicaciones móviles.

Las ondas en esta banda, debido a la atenuación y la absorción solo pueden viajar distancias cortas en comparación a las ondas de frecuencia más bajas, a menos que se utilicen antenas parabólicas (en el caso de satélites y sistemas de microondas terrestres). Otra ventaja de estas ondas es la posibilidad de reutilización de las frecuencias (sistemas celulares) sin que los transmisores se interfieran entre ellos. Los sistemas de radio móvil utilizan de forma muy extensa las bandas UHF y VHF, la figura I.3 muestra las diferentes formas de propagación de las ondas de radio.



**Figura I.3 Propagación de las ondas de Radio**

## I.4 TRANSMISIONES DE RADIO MÓVIL

La mayoría de las telecomunicaciones por medio de las ondas de radio están basadas en la transmisión de una onda continua de frecuencia o amplitud fija definida como la portadora. La información, tal que la voz o los datos, es impresa en la onda portadora por medio de la variación de la amplitud, la frecuencia o la fase (o la combinación de algunas de ellas), este proceso es llamado la modulación. La variación de la portadora puede ser continua en cuyo caso la modulación es de tipo análogo, o la variación puede ser en forma de cambios discretos o pasos, niveles o pulsos en cuyo caso la modulación es de tipo digital. Las forma más comunes de la modulación análoga son la modulación de amplitud y la modulación de la frecuencia. Actualmente una serie de modulaciones de tipo digital están bajo consideración para el desarrollo y la implantación de los futuros servicios de telecomunicaciones móviles.

La onda portadora y la moduladora constituyen entonces la señal que es capaz de viajar a través del espacio y que contiene además la información a transmitir. Las primeras comunicaciones de radio móvil eran del tipo simplex o "push to talk" donde solo un participante podía hablar en un momento dado. Actualmente, por cada comunicación móvil dos frecuencia portadoras son utilizadas, una para transmitir de la terminal del abonado (teléfono de bolsillo, de automóvil, avión, etc.) hacia la terminal de base y otra para transmitir de la terminal de base hacia la terminal del abonado (ver figura I.4).

El uso de dos frecuencias es la forma más fácil de implantar una operación duplex, lo cual significa que los dos participantes pueden comunicar al mismo tiempo en forma natural. La separación entre estas dos frecuencias es llamada separación de portadoras y tiene un gran impacto en el costo del funcionamiento del sistema móvil. La portadora modulada ocupa una región estrecha en el espectro alrededor de una frecuencia de la portadora no modulada o nominal, el ancho de esta región —el ancho de banda ocupado— es comúnmente definido como el canal de radio.

Algunos sistemas utilizan un ancho de banda estrecho, típicamente entre 25 y 30 KHz por cada transmisión, otros de banda ancha utilizan algunos MHz. Por ejemplo en Gran Bretaña, uno de los sistemas de telefonía móvil se encuentra en la banda UHF, entre 890 MHz y 950 MHz, cada canal tiene un ancho de banda de 25 KHz y una separación entre canales de 25 KHz.

Dado que todas las conversaciones en los sistemas de telefonía móvil son de tipo duplex dos canales son requeridos por cada comunicación, esto hace necesario la reutilización de las frecuencias para el aprovechamiento máximo del espectro y la disponibilidad de canales. Sin embargo, el diseño de un sistema móvil para la cobertura de una área requiere la consideración de otros factores como: la interferencia entre transmisores que se encuentren operando a la misma frecuencia, las condiciones del medio ambiente que puedan afectar la onda portadora durante la propagación, el cumplimiento de ciertas condiciones para asegurar la calidad del canal de comunicación, etc.

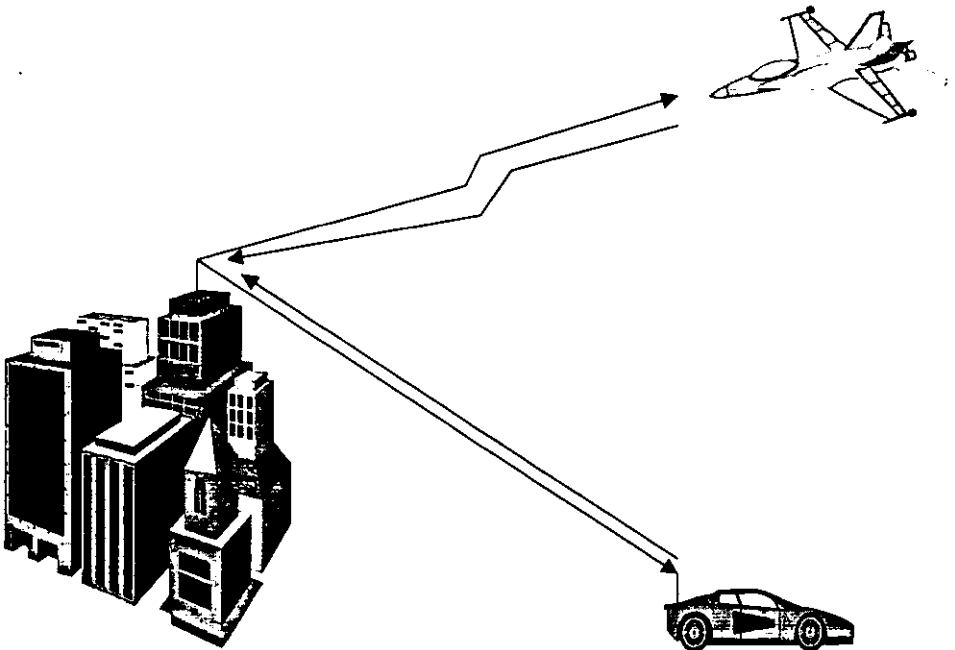


Figura I.4 Telecomunicaciones móviles

## I.5 RUIDO E INTERFERENCIA

La transmisión de la señal de radio es afectada por el ruido y la interferencia; el ruido es considerado como el resultado de los procesos aleatorios que producen energía de radio - frecuencia, como por ejemplo, el encendido de un auto, el ruido térmico de un receptor, etc. La relación entre el nivel de la señal y el nivel de ruido es la Relación Señal a Ruido RSR (signal Noise Radio SNR) o la relación entre la Portadora y el Ruido P/R (carrier-to-Noise C/N). Esta última es la medida más básica de la calidad de la señal. Por su lado la interferencia es una forma de degradación de la señal producida por otras emisiones de radio.

Existen dos tipos de interferencias: La interferencia del canal adyacente, que ocurre cuando la energía de una portadora está presente en un canal adyacente (figura I.5) y la interferencia de los canales adyacentes la cual ocurre cuando dos transmisiones en la misma frecuencia de portadora llegan a un receptor.

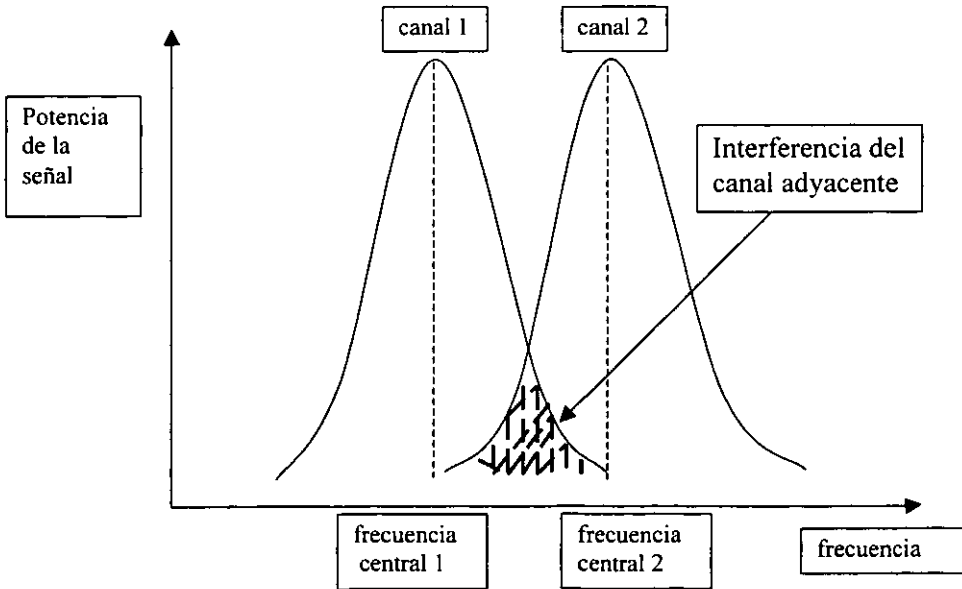


Figura I.5 Interferencia del canal adyacente



El interés de la radio digital es la reducción y simplificación de todas las fuentes de degradación de las características de la señal de radio digital, dicho de otra forma la disminución de la ocurrencia de errores durante la transmisión de las señales digitales, lo cual es definido como el rango de error de bits (BER);

## I.6 PÉRDIDAS EN EL ESPACIO

Otro concepto básico de la propagación de la onda de radio es la predicción (budget) de las pérdidas del enlace de radio, el cual determina la calidad de la transmisión. Una predicción será diseñada para asegurar que una señal de nivel suficiente sobrevivirá al proceso de transmisión y alcanzará un SNR o un BER requerido y aceptable para la operación del sistema. La predicción del enlace es medida en términos de decibeles (dB), la figura I.6 presenta los parámetros de una predicción típica.

$$G_s = L_e + M + L_t + L_m + L_d - G_r - G_t$$

Donde

$G_s$  = Ganancia del sistema en dB

$L_e$  = Pérdidas en el espacio libre

$L_t$  = Pérdidas debidas a las líneas de transmisión

$L_m$  = Pérdidas debidas a otros factores (desalineamiento)

$L_d$  = Pérdidas debidas a las desadaptaciones de los componentes de la radio

$M$  = Margen de desvanecimiento

$G_t$  = Ganancia de la antena transmisora

$G_r$  = Ganancia de la antena receptora

Figura I.6 Predicción de un enlace

A lo largo de su trayectoria, la señal estará expuesta a una serie de obstáculos que pueden impedir que alcance su receptor probable, una falla de radio durante algunos milisegundos puede reproducir una degradación notable del canal de comunicaciones. Estos obstáculos son de tres tipos principalmente:

- a) **ESPACIO LIBRE.**- En el caso más simple - transmisor omnidireccional - la potencia recibida de la señal disminuye cuando el receptor se aleja del transmisor. En el vacío " El espacio libre " la intensidad de la señal disminuirá en forma inversa y proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, si la señal recibida a un kilómetro de distancia del transmisor es de un Watt, esta misma señal será de un cuarto de Watt a 2 kilómetros. En la práctica, debido a que las telecomunicaciones móviles no se realizan en el espacio libre, las pérdidas de la trayectoria serán más severas de lo que prevé este teorema. Este tipo de sistema puede ser modelado de forma más precisa por medio del inverso cubico de la distancia y hasta de una potencia más elevada. El establecimiento de este teorema refleja los efectos del terreno, la atmósfera y otros elementos del mundo real. Estas pérdidas también son altamente dependientes de la frecuencia. Cabe notar que el análisis de la propagación de las ondas de radio es todavía un campo empírico, especialmente en el caso de las nuevas aplicaciones, los servicios móviles y las nuevas frecuencias elevadas.
  
- b) **ATENUACIÓN.**- Debido a los efectos de la atenuación, las ondas de radio pueden ser parcialmente o totalmente desvanecidas cuando su energía es absorbida o desvanecida por obstáculos físicos del medio ambiente. El elemento de absorción puede ser la lluvia, el follaje de los árboles, una montaña, etc. La causa específica de la severidad de la atenuación depende principalmente de la frecuencia, por ejemplo las ondas electromagnéticas de 1 GHz no son afectadas relativamente por la lluvia, por el contrario, las ondas de frecuencia superiores a 10 GHz son normalmente afectadas. Entre más elevada sea la frecuencia mayor será la atenuación, por esta razón, para obtener el mismo nivel de calidad de una señal recibida, será necesaria una potencia de transmisión más elevada a frecuencias más elevadas, por ejemplo la FCC (Federal Communications Commission) permite una potencia máxima de transmisión de 100 KW para las radiodifusoras de señales de televisión en la parte baja de la banda de 50 a 90 MHz, en el caso de la banda de 500 a 800 MHz la máxima potencia de transmisión permitida es de 5000 KW.

En México por ejemplo la potencia máxima permitida para enlaces de microondas con la técnica de espectro disperso es de 36 dBm en la banda de 902-928 MHz y sin límite para sistemas operando en las bandas 2400-2483.5 y 5725-5850 MHz según la norma oficial mexicana NOM-121-SCT-1994.\*

Históricamente, el desarrollo de la tecnología de la radio ha procedido desde las frecuencias bajas hacia las frecuencias elevadas debido a que la mayoría de las aplicaciones actuales requieren más ancho de banda, esto solo es posible a frecuencias más elevadas. Otros efectos importantes de la atenuación de las ondas de radio sobretodo en las zonas urbanas son las múltiples reflexiones y la atenuación debido al follaje de los árboles lo que lleva a la creación del efecto fantasma.

c) DESVANECIMIENTO.- Una onda de radio también puede ser reflejada por cualquier objeto en la atmósfera: una montaña, un edificio, un aeroplano, etc. Estas reflexiones producirán necesariamente diferentes trayectorias creando uno de los problemas más difíciles en la transmisión de la radio. La dispersión por retardo, propagación de la señal por diferentes trayectorias, producirá que la señal viaje por múltiples trayectorias las cuales llegarán con una diferencia en el tiempo produciendo una deformación por retardo. En la práctica este retraso provocará una dispersión de las señales produciendo una interferencia de símbolos en el caso de los bits digitales.

Otro efecto importante es el desvanecimiento de Rayleigh: dado que la fase de las múltiples trayectorias será modificada por las reflexiones en el caso de una señal directa y una señal reflejada con una diferencia de fase de 180 grados esto producirá la cancelación de la señal a la entrada del receptor.

El tercer efecto importante, presente solo en las aplicaciones móviles, es el defasamiento Doppler, el movimiento de un receptor con respecto a un transmisor producirá un defasamiento Doppler: cuando un transmisor móvil envía una frecuencia a un receptor inmóvil, el receptor observará una señal diferente, es decir, ligeramente superior en frecuencia a la transmitida o en el caso contrario será una frecuencia ligeramente inferior.

\* Esta norma sigue vigente desde el 11 de noviembre de 1994 y entro en vigor al día siguiente de su publicación en el diario oficial

## 1.7 ALTERNATIVAS DE LOS ENLACES DE RADIO

El enlace de radio, entre la estación base y las terminales móviles, es la parte principal del sistema. La selección de una tecnología de radio, determinará en gran medida las características económicas y de funcionamiento del sistema.

Hace 20 años la selección de sistemas era mucho más simple dado que existía una tecnología predominante: La transmisión de las señales en forma análoga utilizando la modulación en frecuencia (FM). Hoy por el contrario existen una docena de alternativas, la mayor parte del dominio digital, basadas en los métodos de modulación y las técnicas de codificación de la voz. Pero, hablando en forma más extensa, existen dos super familias de tecnologías para los enlaces de radio que serán consideradas en la próxima generación de los sistemas celulares:

1. Las técnicas de modulación análogas avanzadas
2. Las técnicas digitales

## 1.8 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RADIO DE MICROONDAS

### ➤ UNIDAD DE INTERFAZ DE LA LÍNEA Y LA UNIDAD DE MODULACIÓN

La mayoría de los sistemas de transmisión, ya sean por cable o por radio, requieren de un equipo interfaz entre el equipo transmisor y la línea de transmisión. Las funciones típicas de este equipo de interfaz para los sistemas de radio son: proveer una ganancia o atenuación de las señales para establecer niveles de transmisión para optimizar el funcionamiento de la relación señal a ruido a transmitir. Por otra parte, una conmutación automática de protección puede ser requerida con el objeto de asegurar que una falla en los amplificadores de la unidad de interfaz y del equipo asociado no afectará el funcionamiento general del sistema.

En los sistemas de radio la señal de banda base es utilizada para modular la portadora de radio. En los sistemas de larga distancia y algunos de corta distancia, la modulación y la demodulación son realizadas a frecuencia intermedia (FI) por el trancceptor terminal respectivamente, según sea el caso de donde sé este. Generalmente la multiplexión de los canales de información, la codificación y decodificación de las señales lo mismo que la modulación de la misma se encuentra concentrado en un solo módulo o equipo el cual se denomina interfaz o IDU (indoor unit – unidad interna) como se muestra en la siguiente figura.

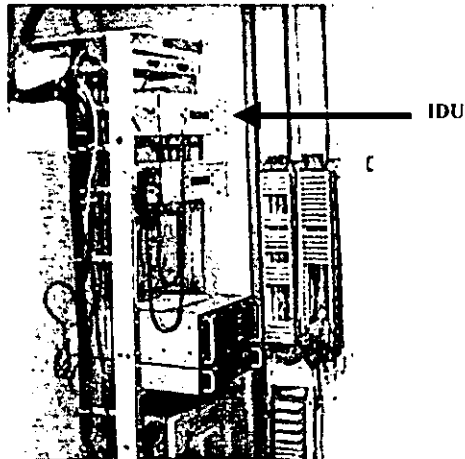


Figura I.7 Interfaz

➤ CABLE DE BANDA BASE Y CONECTORES

El cable banda base es precisamente el que conduce la señal de banda base desde la interfaz hasta la unidad de radiofrecuencia (ODU). Generalmente la señal de banda base es de baja frecuencia (del orden de MHz y dependiendo del ancho de banda que se maneje), por lo que no se tiene mucha pérdida a través del cable y este puede ser lo bastante largo como para comunicar una unidad de RF que se encuentre en una torre la cual esta fijada en la azotea de un edificio hasta el cuarto de comunicaciones que puede estar en la planta baja del edificio. Cabe mencionar que la longitud del cable banda base depende del equipo (interfaz) que se este utilizando debido a que la gran mayoría cuentan con un sistema de compensación de cable el cual permite longitudes mayores en combinación con el tipo de cable que se este usando, por ejemplo un cable coaxial RG-6 (9248 clave de manual) de 75 ohms con un equipo con sistema de compensación típico soporta hasta una longitud de cable de 300 metros. A continuación se presenta en las siguientes figuras (Fig. I.8 a y b) algunos ejemplos de cables y los conectores que se utilizan para su interconexión.

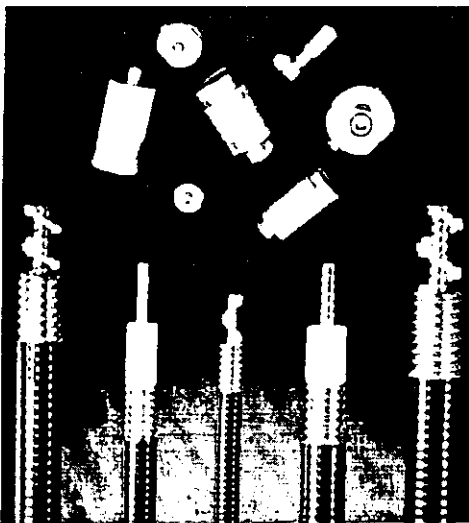


Figura I.8 a) Coaxiales y conectores

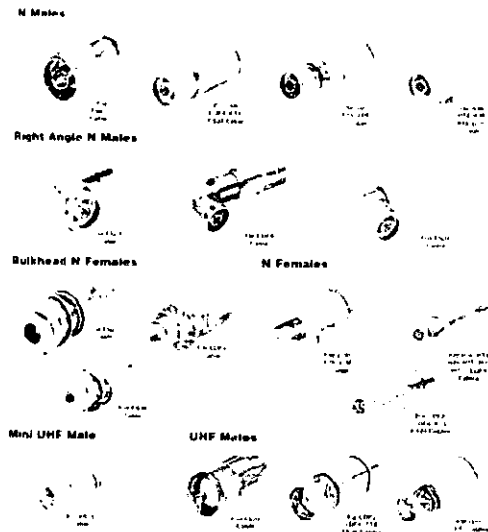


Figura I.8 b) Conectores

\* Para consultar datos técnicos acerca del tipo de cable y conectores se puede consultar el manual de GABRIEL ELECTRONICS que se menciona en la bibliografía, lo mismo que la dirección de ANDREW en Internet que también se menciona al final de la tesis.

## ➤ UNIDAD DE RADIOFRECUENCIA

La unidad de radio frecuencia o también llamada ODU (outdoor unit – unidad externa) no es más que el transmisor y receptor en un mismo modulo, generalmente se encuentra situada junto con la antena. En el transmisor de microondas la señal de banda base modula la frecuencia de la portadora de FI (frecuencia intermedia) la cual comúnmente es de 70 MHz, esto se logra a través del modulador. La FI y sus bandas laterales asociadas se convierten en ascendentes en la región de las microondas por el mezclador, el oscilador de microondas y un filtro pasabandas, de ahí la señal pasa a la línea de transmisión y finalmente a la antena. El receptor por su parte hace la operación inversa es decir, una vez recibida la señal de RF por la antena y conducida al receptor por la línea de transmisión el filtro pasabanda, el mezclador y el oscilador de microondas convierten descendentemente la frecuencia de RF de microondas a frecuencias de FI y pasan al demodulador. El demodulador restaura la señal de banda base a su amplitud original contra las características de las frecuencias.

A continuación en la Fig. I.9 a) se muestra una fotografía de una antena con su respectiva unidad de RF y en la Fig. I.9 b) un esquema simplificado de un transmisor y receptor de microondas.

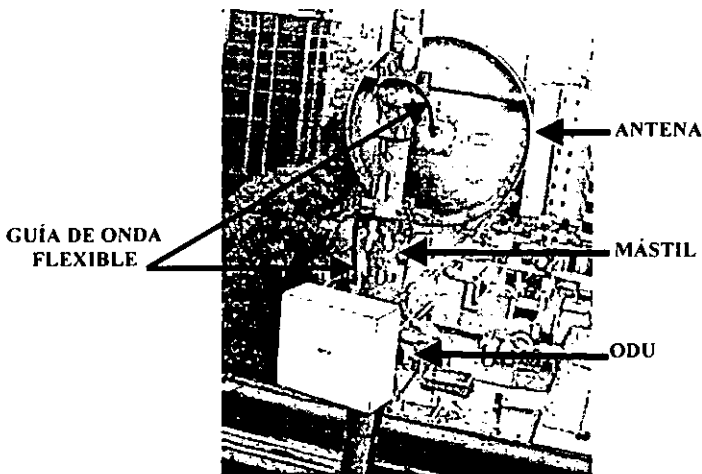


Figura I.9 a) Unidad de RF con antena

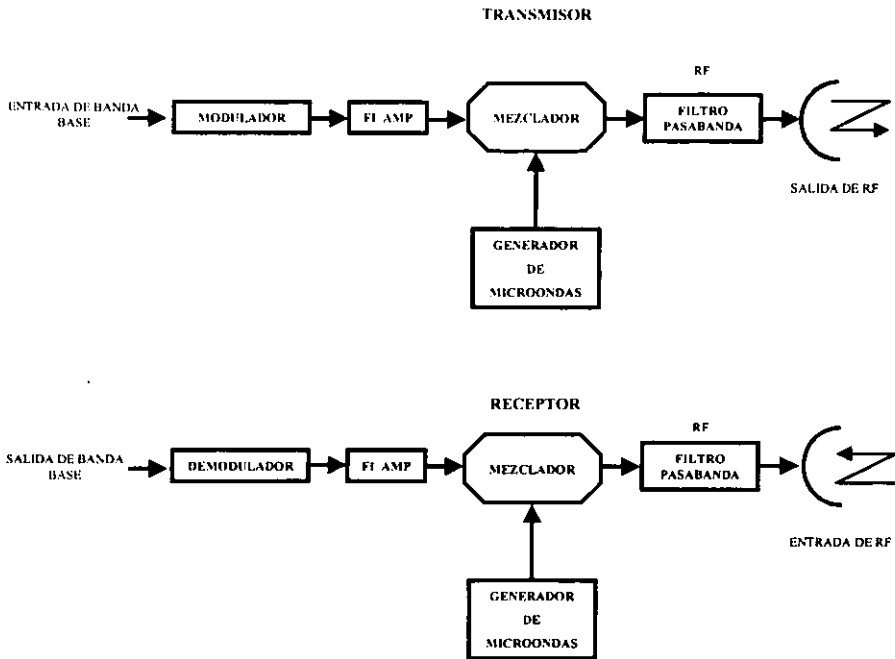


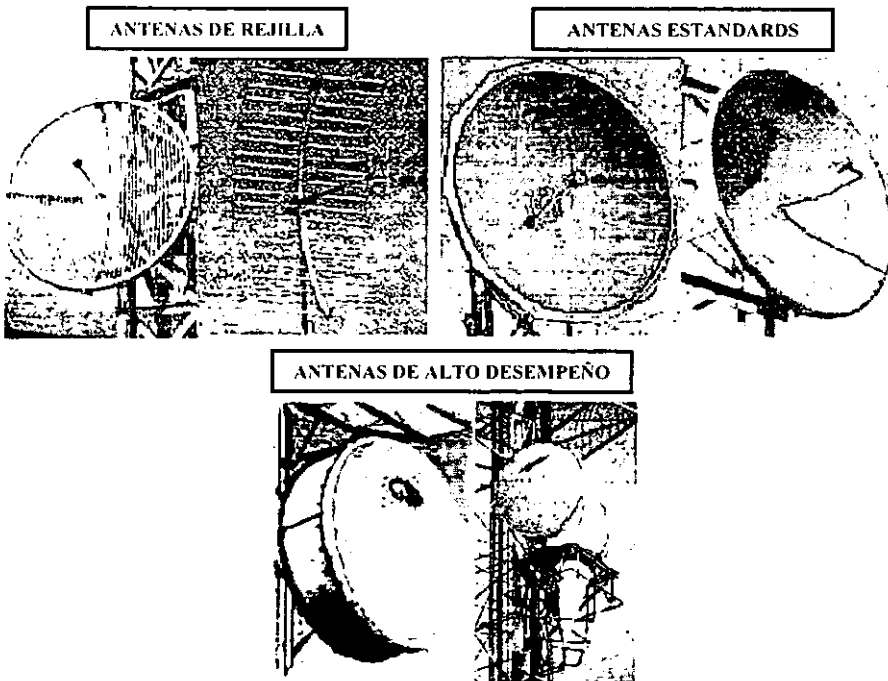
Figura I.9 b) Diagrama a bloques simplificado de un sistema de radio de microondas



## ➤ LÍNEA DE TRANSMISIÓN Y SISTEMA RADIANTE

Una vez que la señal de banda base con toda la información a transmitir ya modulada, es procesada por la unidad de RF, es hasta entonces cuando se considera de alta frecuencia, microondas o también llamada señal de RF, de manera que a partir de ahí el medio que utilice la señal para viajar se le denomina línea de transmisión. Las líneas de transmisión empleadas para transportar la señal son el cable coaxial y la guía de onda. Algunos equipos utilizan la guía de onda a la salida/entrada de la unidad de RF y hasta la antena como se ve en la figura anterior (fig. I.9 a).

Otra parte importante de un sistema de microondas es el sistema radiante o antena el cual es la interfaz entre el espacio y la línea de transmisión, tanto para transmitir como para recibir. En la figura I.10 se muestran los tipos más comunes de antenas.



**Figura I.10 Tipos de antenas**

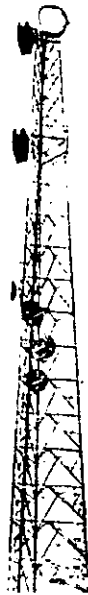
\* Si se desea ver otro tipo de antenas para diferentes aplicaciones de microondas se puede consultar la página en internet de GABRIELO o ANDREW, las cuales se mencionan al final del presente trabajo.

## ➤ MÁSTIL Y TIPOS DE TORRES

El mástil es una estructura metálica en forma de tubo el cual se utiliza cuando la antena no necesita de gran altura para librar los obstáculos que se encuentren en la trayectoria del enlace o también en los casos en los que se cuenta con un edificio o estructura lo suficientemente alta para colocar el mástil y tampoco se tienen problemas de obstáculos ver figura I.9 a).

Existen esencialmente tres tipos de torres:

Autosoportadas. Este tipo de torre es de estructura piramidal y metálica, no requieren de mucho espacio para su instalación y su peso es considerable. Generalmente se utilizan para soportar antenas de grandes dimensiones.



**Figura I.11 Torre autosoportada**

Arriostradas o cableadas. Estas torres se mantienen estables por medio de tensores, son más ligeras que las autosoportadas y debido a los tensores o retenidas requieren de un gran espacio para su instalación, entre más alta sea la torre más espacio se necesita para su instalación.

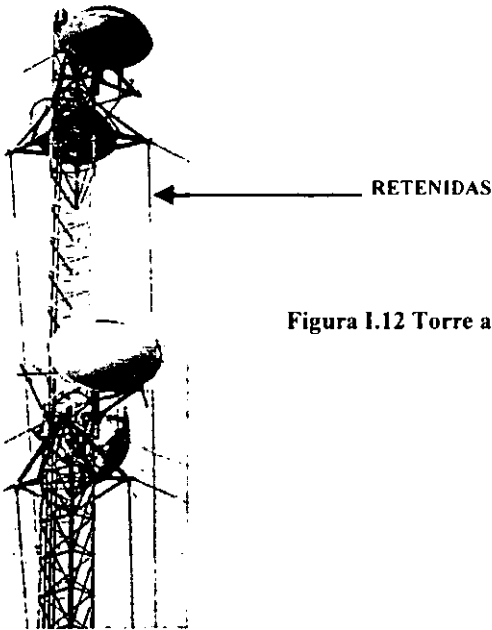


Figura I.12 Torre arriostrada

Monopolar. Es de estructura cilíndrica y metálica, la línea de transmisión se cablea por el interior del tubo.

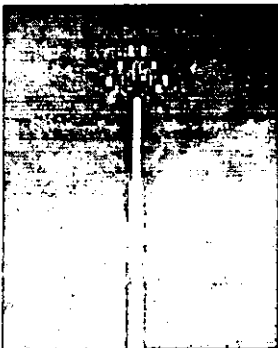


Figura I.13 Monopolo

Por último se muestra en la figura I.14 todos los componentes que forman un equipo de radio de microondas, se debe tener en cuenta que para conformar un enlace entre dos puntos se debe contar con dos equipos y sus complementos, uno para cada sitio. Cabe mencionar que hay equipos como el de espectro disperso, que es precisamente el que se utiliza para implementar el proyecto del capítulo IV, en donde la Unidad de RF y la interfaz están en un mismo modulo, por lo que sólo se conecta un cable (con pocas perdidas) o guía de onda desde la interfaz a la antena y no existe una ODU, esto quiere decir que desde el momento que sale la señal desde la interfaz ya se maneja alta frecuencia.

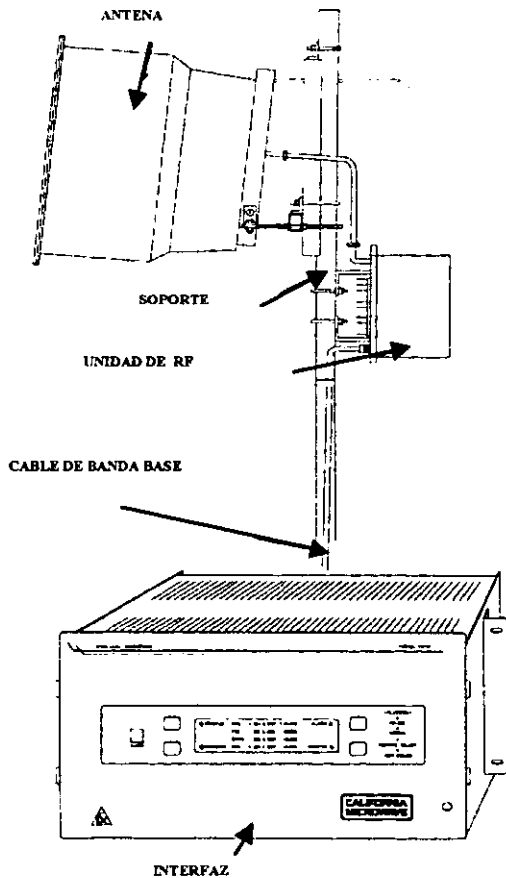


Figura I.14 Componentes de un sistema de radio

## **I.9 TRANSMISIÓN DE DATOS Y ORGANIZACIONES DE ESTANDARIZACIÓN**

### **1. Codificación de Datos.**

La comunicación de datos es el proceso de transferir información digital (normalmente en forma binaria), entre dos o más puntos. La información que es procesada y organizada son denominados como los datos. En la fuente y el destino, los datos están en forma digital, pero durante la transmisión, pueden estar en forma digital o analógica.

#### **Sistema de Comunicación Digital.**

Información en el canal la cual ha sido convertida a valores discretos.

#### **Razones para digitalizar:**

- Facilidad de Transmisión.
- Velocidad de Transmisión.
- Inmunidad al ruido.

Para asegurar una transferencia de información ordenada, entre dos o más sistemas de comunicaciones, se establecen estándares. Algunas de las organizaciones que imponen dichos estándares son:

#### **➤ La Organización Internacional de Estándares (ISO)**

Crea los conjuntos de reglas y estándares para gráficos, intercambio de documentos y tecnologías relacionadas. También es la responsable de supervisar y coordinar el trabajo de otras organizaciones que definen estándares.

#### **➤ La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT - antes CCITT Comité Consultivo Internacional para Telefonía y Telegrafía)**

Es la organización de estándares para las Naciones Unidas y desarrolla los conjuntos de reglas y estándares recomendados para la comunicación telefónica y telegráfica.

Las especificaciones que ha desarrollado son 3:

- Serie V, para interfaz de módems.
  - Serie X, para comunicación de datos.
  - Serie I y Q, para la Red Digital de Servicios Integrados.
- **Instituto de Estándares Nacional Americano (Ansi)**  
Es la agencia de estándares oficial de Estados Unidos.
- **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)**  
Organización de ingenieros en electrónica, computo y comunicaciones.
- **Asociación de Industrias Electrónicas (EIA)**  
Es una organización de los Estados Unidos que establece y recomienda estándares industriales. Es la responsable de desarrollar los estándares recomendados para datos y telecomunicaciones.

Los códigos de comunicación de datos son secuencias de bit prescritas, usadas para codificar caracteres y símbolos. Esencialmente, existen sólo tres tipos de caracteres usados en los códigos de comunicación de datos: caracteres de control de enlace de datos, los cuales se usan para facilitar el flujo ordenado de información de una fuente a un destino; caracteres de control gráfico, lo cual involucra la síntesis o presentación de la información en la terminal de recepción, y caracteres alfa/numéricos, los cuales se usan para representar los múltiples símbolos usados para letras, números y puntuación.

Los 3 conjuntos de caracteres, más comunes, actualmente usados para la codificación de caracteres son:

- **Código Baudot**

Con el código de 5 bits que utiliza sólo existen 25 o 32 combinaciones posibles, lo cual es insuficiente para representar las letras del alfabeto, los dígitos y los signos de puntuación, así como caracteres de control. Por lo tanto, el código baudot usa caracteres de cambio de posición de letra, para expandir su capacidad a 58 caracteres.

- Código ASCII (Código Estándar Americano para el Intercambio de Información)

Surgió en 1963, como resultado de la estandarización de los códigos de comunicación de datos. Es un código de teletipo modelo 33, del Sistema Bell, llamado Código para Intercambio de Información Estándar. Este código ha progresado conforme han pasado los años. Es un conjunto de caracteres de 7 bits que tiene 128 combinaciones. El séptimo bit es utilizado para el bit de paridad. Este código es el más utilizado hoy en día.

- Código EBCDIC

Es un código de 8 bits, desarrollado por IBM y se usa extensamente en IBM y equipo compatible con IBM. Con 8 bits, son posibles 256 combinaciones, lo cual lo hace que sea el conjunto de caracteres más poderoso.

Un sistema de comunicación está expuesto a que ocurran errores y es necesario desarrollar e implementar procedimientos para el control de errores. El control de errores puede dividirse en dos categorías generales: detección de errores y corrección de errores.

## 1.10 DETECCIÓN DE ERRORES

Es el proceso de monitorear la información recibida y determinar cuando un error de transmisión ha ocurrido. Las técnicas usadas para la detección de errores no identifican cual bit es erróneo, solamente se indica que un error ha ocurrido. El propósito de la detección de errores no es impedir que éstos ocurran, pero previene que los errores no detectados ocurran. Las técnicas de detección de errores más comunes son:

- **Redundancia.** Involucra transmitir cada carácter dos veces. Si el mismo carácter no se recibe dos veces sucesivamente, ha ocurrido error en la transmisión.

- **Codificación de cuenta exacta.** Con la codificación de cuenta exacta, el número de unos, en cada carácter, es el mismo.
- **Paridad.** Es el esquema de detección de error, más usado para los sistemas de comunicación de datos y se usa con chequeo de redundancia vertical y horizontal. Con la paridad, un solo bit (el bit de paridad) se agrega a cada carácter para forzar el total de números unos en el carácter, incluyendo el bit de paridad, para que sea un número impar (paridad impar) o un número par (paridad par). Un ejemplo de esto, el código ASCII de la letra "C" es 43 en hexadecimal o "P" 1000011 en binario, con el bit P representando el bit de paridad. Hay 3 unos en el código, no contando el bit de paridad. Si se utiliza paridad impar, el bit P se hace 0, así mantenemos el total de unos en tres, un número impar. Mientras que si usamos paridad par el bit P se hace 1, siendo el número total de unos igual a cuatro que es un número par.
- **Chequeo de redundancia vertical y horizontal. (VRC)** es un esquema de detección de errores que usa la paridad para determinar si un error de transmisión ha ocurrido dentro de un carácter. Por esto, también se le llama paridad de carácter. Con el VRC, cada carácter tiene un bit de paridad agregado a él, antes de la transmisión. Puede usar paridad par o impar.
- **Revisión de redundancia cíclica. (CRC)** Es el esquema más confiable para la detección de errores. Con este, se detectan el 99.95 % de todos los errores de transmisión. Se usa con códigos de 8 bits como EBCDIC o códigos de 7 bits, cuando no se utiliza la paridad.



## I.11 CORRECCIÓN DE ERRORES

Para la corrección de errores se utilizan los siguientes métodos:

- **Sustitución de símbolos.** Se diseñó para usarse en un ambiente humano, es decir, en la terminal de recepción se analizan los datos recibidos y se toman decisiones sobre su integridad, y todo esto es llevado a cabo por la persona que está a cargo del sistema. Si un carácter se recibe en error, en vez de revertirse a un nivel superior de corrección de errores o mostrar el carácter erróneo, un carácter único que es indefinido por el código de caracteres, se sustituye por el carácter malo. Si por ejemplo, el mensaje "Comunicación" se recibe con un error en el último carácter, se mostraría como "ComunicacióP".

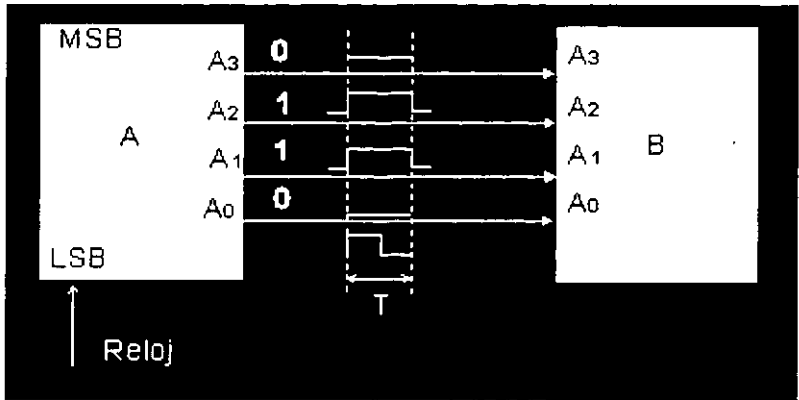
Un operador puede discernir el mensaje correcto por inspección, y no se necesita la retransmisión. Pero si el mensaje no se puede descifrar, es necesario la retransmisión.

- **Retransmisión.** Es volver a enviar un mensaje, cuando es recibido en error, y la terminal de recepción automáticamente pide la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión también es llamada ARQ, que significa *petición automática para retransmisión*.
- **Seguimiento de corrección de error.** (FEC), es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión, del lado receptor, sin pedir retransmisión. Con FEC, se agregan bits al mensaje, antes de la transmisión.

## I.12 TRANSMISIÓN EN SERIE Y EN PARALELO

La información puede ser transferida paralelamente o en serie. En la figura (I.15 a), se puede ver como se transmite el mismo dato (0110) del lugar A al B. En la primera se transmite en paralelo, cada bit tiene su propia línea de transmisión; como se ve, los 4 bits se transmiten simultáneamente en un sólo pulso de reloj (T). Este tipo de transmisión se llama de paralelo por bit o de serial por carácter.

Figura I.15 a)  
transmisión  
paralelo



En la figura I.15 b), se muestra como se transmite el mismo dato en forma serial. Sólo existe una línea de transmisión, y por tanto, sólo un bit puede transmitirse a la vez. Requiere de 4 pulsos de reloj, para transmitir toda la información. A este tipo de transmisión se le llama de serial por bit.

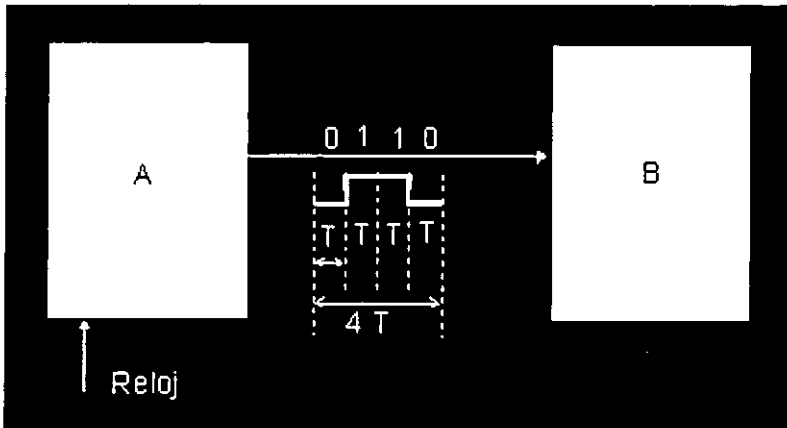


Figura I.15 b) Transmisión serie por bit

### 1.13 TRANSMISIÓN SÍNCRONA Y ASÍNCRONA

La transmisión síncrona y asíncrona, está relacionada con los modos de transmisión para los circuitos de comunicación de datos.

Existen básicamente cuatro modos de transmitir un mensaje, que son:

- **Simplex.** La transmisión de datos no se puede dirigir; la información se puede enviar sólo en una dirección. También son llamadas líneas sólo para recibir, sólo para transmitir o de un solo sentido. La televisión comercial y sistemas de radio, son ejemplos de ella.
- **Half duplex (HDX).** La transmisión de datos es posible en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. También son llamadas de dos sentidos alternados o líneas de cualquier sentido. La banda civil (CB), es un ejemplo.
- **Full duplex (FDX).** Las transmisiones son posibles en ambas direcciones simultáneamente, pero deben estar entre las mismas dos estaciones. También es llama de dos sentidos simultáneos, duplex o líneas de dos sentidos. Ejemplo: un sistema telefónico normal.
- **Full / full duplex (F/FDX).** La transmisión es posible en ambas direcciones al mismo tiempo, pero no entre las mismas dos estaciones (una estación transmite a una segunda estación, y recibe de una tercera estación al mismo tiempo). Es posible sólo en los circuitos de multipunto. Ejemplo: el sistema postal de Estados Unidos de Norteamérica. En México también existen sistemas full full dúplex como podría ser un enlace de microondas punto multipunto, o el servicio que ofrece TELMEX actualmente de poner en “conferencia” telefónica a más de dos usuarios al mismo tiempo.

### I.14 OPERACIÓN DE DOS HILOS CONTRA CUATRO HILOS

Dos hilos, como su nombre lo indica, involucran un medio de transmisión que utiliza dos líneas de cable (una señal y una de referencia) o una configuración que es equivalente a tener sólo dos líneas de cable. Es posible la transmisión simplex, half duplex o full duplex.

En la siguiente figura (I.16 a) se muestra el esquema de 2 hilos.

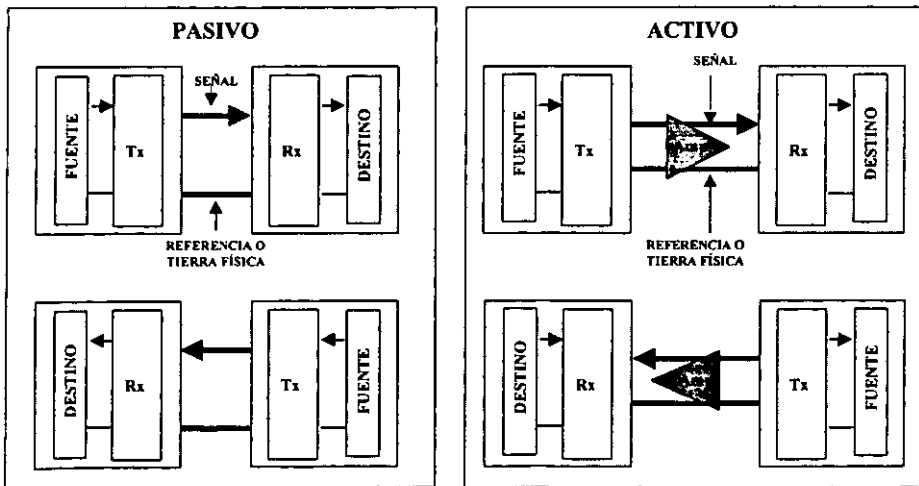


Figura I.16 a) Comunicación a dos hilos

Cuatro hilos, involucran un medio de transmisión que usa cuatro cables (dos para las señales que se están propagando en direcciones opuestas y dos se utilizan como referencia), o una configuración que es equivalente a tener cuatro cables. Las señales se propagan en direcciones opuestas, están físicamente separadas, y por tanto, pueden ocupar los mismos anchos de banda sin interferir una con otra.

En el siguiente esquema (I.16 b) vemos un circuito de 4 hilos pasivo, es decir, no hay ganancia en la señal, y en el segundo uno activo, el cual posee un amplificador.

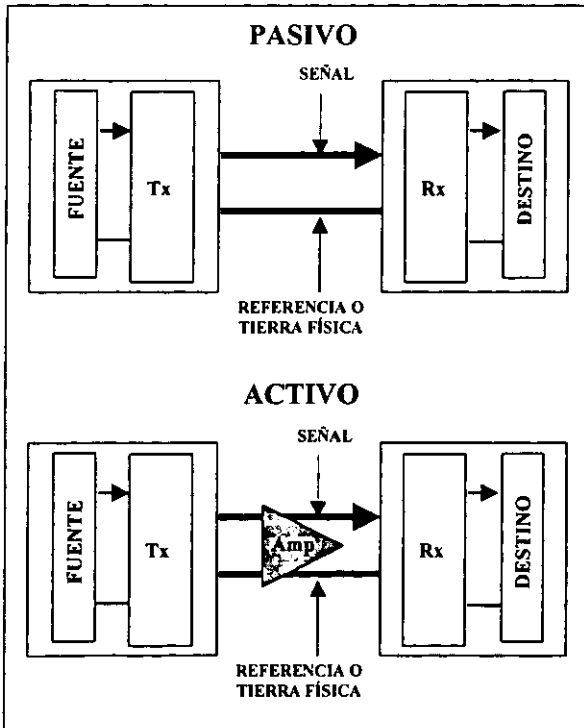


Figura I.16 b) Comunicación a 4 hilos

## I.15 SINCRONIZACIÓN

Sincronizar, significa coincidir o estar de acuerdo al mismo tiempo. En la comunicación de datos, hay cuatro tipos de sincronización:

1. Sincronización de un bit o reloj.
2. Sincronización de módem o portadora.
3. Sincronización de carácter.
4. Sincronización de mensaje.

Sincronización de carácter:

La sincronización de reloj asegura que el transmisor y el receptor están de acuerdo en una ranura de tiempo exacta, para la aparición de un bit. Cuando una cadena continua de datos se recibe, es necesario identificar cual bit es el bit de datos menos significativo, el bit de paridad, y el bit de parada. Esto es la sincronización de caracteres. Hay dos formatos usados para lograr la sincronización de caracteres: asíncronos y síncronos.

- Datos asíncronos

Cada carácter se entrama entre un bit de arranque y uno de final.

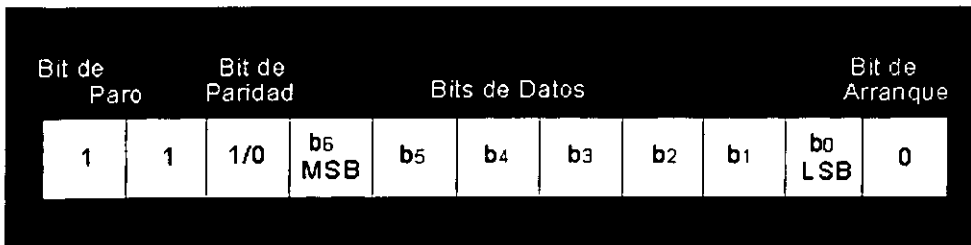


Figura I.17 Representación del formato utilizado para la trama de un carácter

En la figura 1.17, se muestra el formato usado para entramar a un carácter para la transmisión de datos asíncronos. El primer bit es el de arranque y siempre es un 0 lógico. Los bits del código de caracteres se transmiten a continuación comenzando con el bit menos significativo (LSB) y continuando hasta el más significativo. El bit de paridad (si es usado), se transmite directamente, después del MSB. El último bit transmitido es el bit de parada, el cual siempre es un 1 lógico. Puede haber bits de parada de 1, 1.5 o 2, por lo que en la figura anterior (1.17) se muestran dos bits de paro.

- Datos síncronos

En vez de entramar cada carácter independientemente con los bits de arranque y parada, un carácter de sincronización único, llamado carácter SYN se transmite al comienzo de cada mensaje. El receptor desecha los datos que están entrando, hasta que recibe el carácter SYN, entonces se mide en los próximos 8 bits y los interpreta como un carácter.

- Efectos del canal.

El canal es la vinculación entre el transmisor y el receptor. La velocidad límite de transmisión de información a través de un canal se llama capacidad del canal.

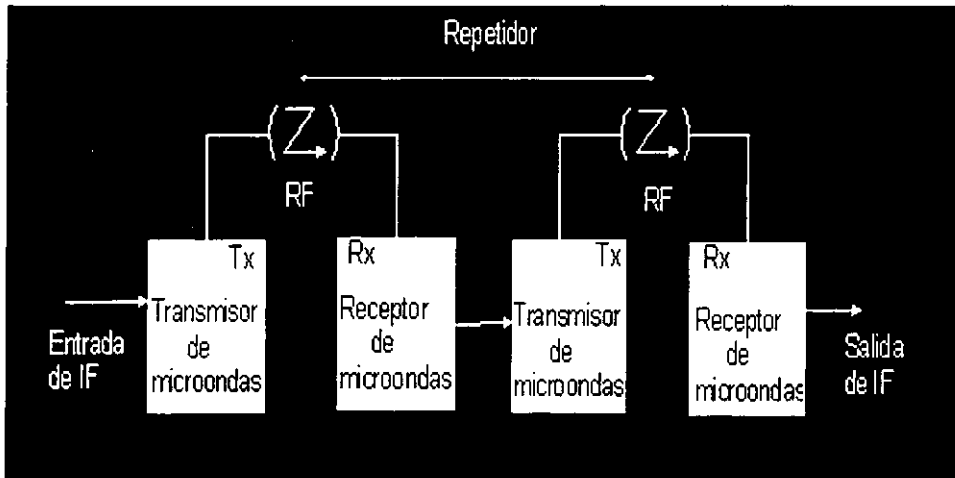
C. E. Shannon, estableció que si la razón de entropía  $R$  es igual o menor que la capacidad del canal  $C$ , existe una técnica de codificación que permite la transmisión por el canal con una frecuencia de errores arbitrariamente pequeña, o  $R \leq C$ . La capacidad del canal se define como la máxima razón de información confiable a través del canal.

## I.16 REPETIDORES Y REGENERADORES

Cuando los sistemas que se utilizan para la transmisión digital, son de más de 64.36 Km (40 millas) o cuando las obstrucciones geográficas, bloquean la ruta de transmisión, se necesitan los repetidores.

Un repetidor (más en concreto hablaremos de los repetidores de microondas), es un receptor y un transmisor colocados espalda con espalda o en tándem (en serie) con el sistema.

Diagrama (fig.I.18) de bloques de un repetidor de microondas.



**Figura I.18 Diagrama a bloques de un repetidor de microondas**



La estación del repetidor recibe una señal, la amplifica, le da nueva forma, y luego retransmite la señal al siguiente repetidor o estación terminal que sigue.

### **I.17 VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL**

1. La principal ventaja, es la inmunidad al ruido. Son menos susceptibles a la amplitud no deseada, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar dichos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. Sólo se evalúa si el pulso está arriba o abajo de un umbral específico.
2. Se prefieren los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalización que las señales analógicas. Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las analógicas no.
3. Los sistemas digitales, utilizan la regeneración de señales, en vez de amplificación de señales, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
4. Las señales digitales son más sencillas de medir y de evaluar.
5. Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error.

### **I.18 DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL**

1. La transmisión de señales analógicas codificadas de manera digital requieren de más ancho de banda para transmitir.
2. Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes de su transmisión, y convertirse nuevamente en analógicas en el receptor.
3. La transmisión digital requiere de sincronización precisa, de tiempo, entre los relojes de transmisor y receptor respectivamente.

4. Los sistemas de transmisión digital son incompatibles con las facilidades analógicas existentes.

Frecuentemente, para la conversión de una señal analógica a una señal digital, se utiliza modulación de pulsos, la cual incluye muchos métodos diferentes para convertir información a forma de pulsos, para transmitir pulsos de una fuente a su destino.

Existen cuatro métodos de modulación de Pulsos y son los siguientes:

- **PWM. Modulación de ancho de pulso.**

También es llamada modulación de duración de pulso (PDM) o modulación de longitud de pulso (PLM). El ancho del pulso es proporcional a la amplitud de la señal analógica.

- **PPM. Modulación de posición del pulso.**

La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo prevista, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

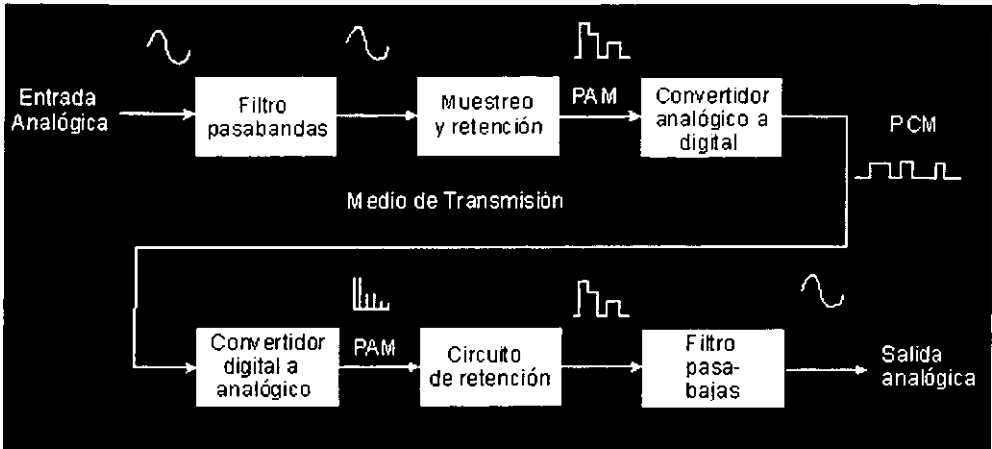
- **PAM. Modulación de amplitud de pulsos.**

La amplitud de un pulso de posición constante, dentro de una ranura de tiempo prescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

- **PCM. Modulación de pulsos codificados.**

La señal analógica se prueba y se convierte a una longitud fija, número binario serial para transmisión.

La PAM se usa como forma intermedia de modulación, casi siempre se utiliza con algún otro método. PWM y PPM se usan en sistemas de comunicación de propósitos especiales (ejército), pero son muy poco usadas para sistemas comerciales. El más utilizado es PCM (figura I.19).



**Figura I.19** Diagrama a bloques de un sistema PCM simple

El proceso para digitalizar una señal es relativamente sencillo, y se puede resumir en los siguientes pasos:

- a. Muestreo de la señal, esto debe hacerse de tal manera que la frecuencia de cada muestreo  $f_m$  sea mayor o igual a dos veces el ancho de banda de la señal. Por ejemplo si el ancho de banda de la señal es de 4 Hz., la frecuencia con que se debe de tomar una muestra es de 8 o más veces en un segundo.

$$f_m \geq 2 B$$

- b. PAM, es decir se cuantifica el valor de cada muestra, (con respecto al eje  $y$ ), el valor se redondea al entero más cercano. Aquí también se determina el número de bits que representarán a la señal ya digitalizada.
- c. Cuantización o Cuantificación, se representa la señal como quedaría todavía sin codificar, es decir, se convierte el entero en el número binario que le corresponde.
- d. Codificación, esta puede ser en binario normal (quedaría como en el paso anterior), o bien código Gray.

### **I.19 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DEL TIEMPO DE SEÑALES DIGITALES Y SEÑALES ANALÓGICAS**

Multicanalización. Es la transmisión de información, de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión. Las principales formas de multicanalización son por división de frecuencia (FDM) y por división de tiempo (TDM) en estas las transmisiones son en el mismo medio, pero no al mismo tiempo.

Multicanalización por división del tiempo, es el envío de varias señales por un sólo canal de alta velocidad y gran ancho de banda. La información debe ir en forma ordenada y secuencial.

Con TDM, las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo. Se utiliza modulación PCM. Con un sistema PCM-TDM, se hace un muestreo de dos o más canales de voz, convertidos a códigos PCM, y luego se utiliza el proceso de multicanalización por división de tiempo, en un solo par de cables o en un cable de fibra óptica.

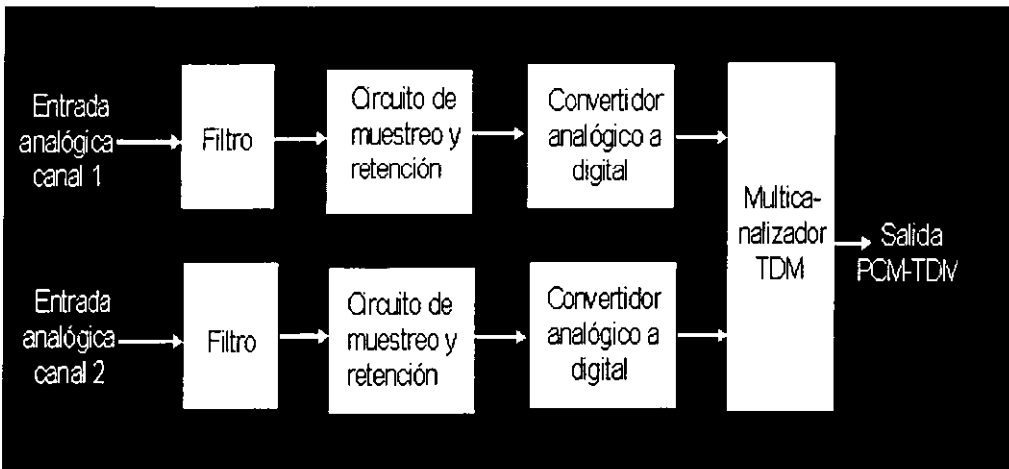
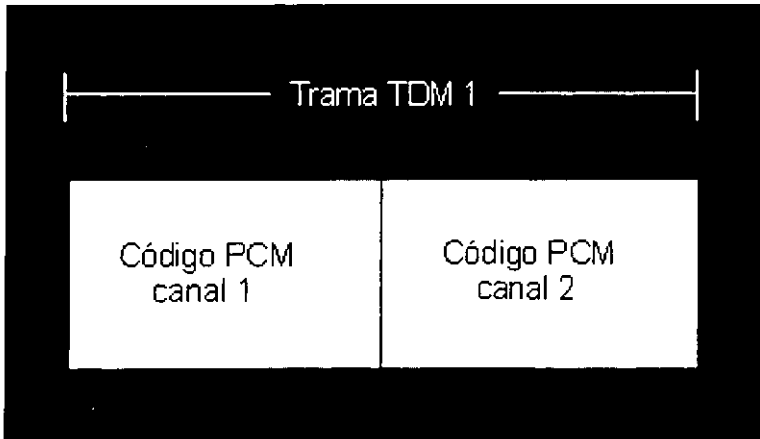


Figura 1.120 a) Diagrama a bloques de un sistema PCM-TDM

En la figura 1.20 a), se representa el diagrama a bloques de un sistema de portadora para PCM-TDM de dos canales. Cada canal, de manera alternada se usa y se convierte a un código PCM. Mientras que el código de un canal se transmite, en el otro canal, la señal se convierte al código PCM para su transmisión.

Este proceso actúa como un interruptor con dos entradas y una salida. Cada canal se selecciona de manera alterna y se conectan a la salida, tal como lo hace un multiplexor (MUX). El tiempo que toma transmitir una señal en cada canal se llama tiempo de trama.

Esto significa, que cada canal ocupa una ranura de tiempo fija (ciclo) dentro de la trama total de TDM. Con dos canales, el tiempo asignado para cada canal es igual a la mitad de la trama del tiempo total. Se toma de cada canal una señal a la vez durante cada trama. A continuación, con la siguiente figura (1.20 b) se representa la trama para un sistema de 2 canales como el de la figura anterior (1.20 a).



**Figura 1.20 b) Trama representativa para un sistema de dos canales**

Un arreglo de multicanalización o estructura de MUX o Trama o Frame es como el siguiente dibujo (figura I.20 c):

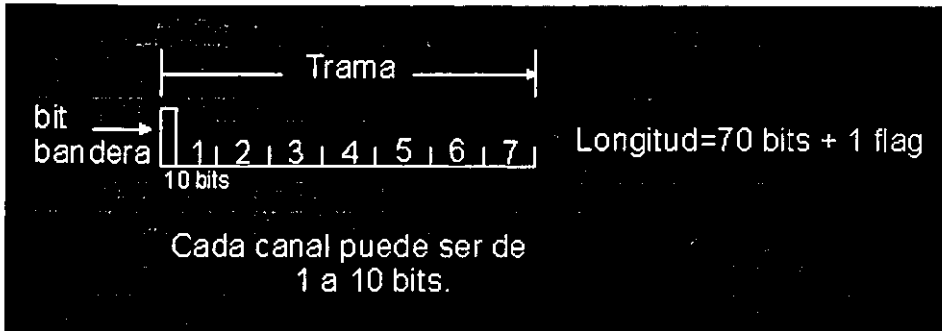


Figura I.20 c) Representación de una trama

Las tramas pueden ser fijas o flexibles, estas últimas se adaptan a la cantidad de información que se está mandando.

Existen tres problemas principales con la multicanalización:

- Estructuración
- Ajuste de velocidades
- Sincronía

En la transmisión de información es necesario un Modo de Transferencia Asíncrona (ATM), ya que el tipo de información que se transmite entre el MUX y DEMUX (Transmisor y Receptor) es de alta velocidad, y deben de controlarse los datos generales y especiales, además de que es necesario que sus memorias sean iguales. Trabajan bajo el principio Codec (Codificación - Decodificación).

El Codec es un término genérico que se refiere a las funciones de codificación realizadas por un dispositivo que convierte señales analógicas a códigos digitales y códigos digitales a señales analógicas.

Así mismo es necesario que se establezcan protocolos de comunicación para identificar los datos que se están recibiendo y mandando.

Un protocolo es un conjunto de reglas y procedimientos con un orden jerárquico para resolver problemas operativos de comunicación. Un protocolo de una red de comunicaciones de datos es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos. Sirven para resolver problemas operativos tales como:

- Inicio de comunicación.
- Tiempo muerto.
- Inicio de comunicación después de tiempo muerto.
- Sincronización.

En un circuito de comunicaciones de datos, la estación que está transmitiendo actualmente se llama maestra, la estación receptora se llama esclava.



## I.20 SISTEMAS DE MULTICANALIZACIÓN

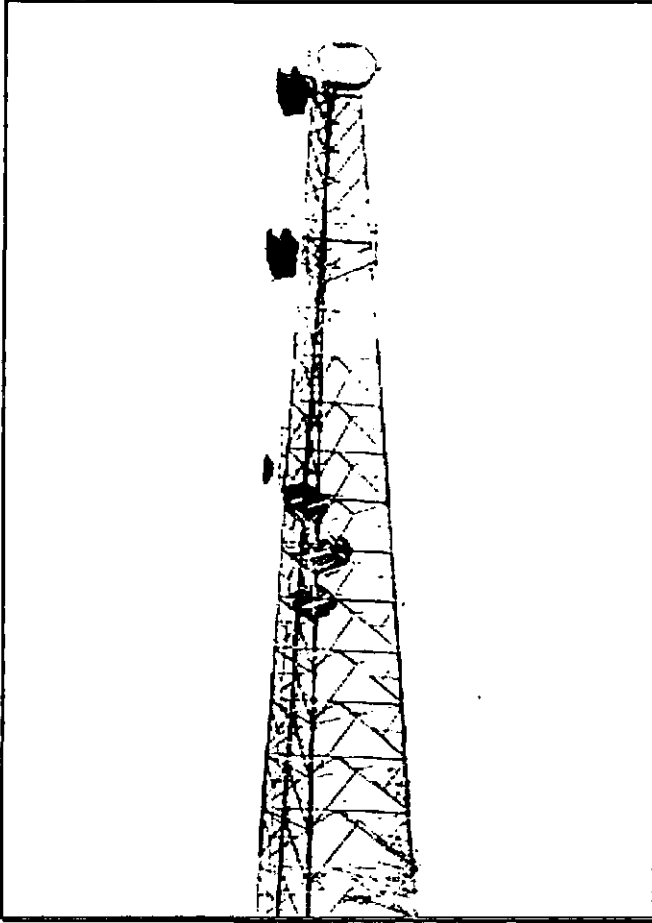
Existen dos sistemas de multicanalización los cuales son:

- **Americano.** Tiene 24 puertos, trabaja con una entrada de 64 Kb/s, y la salida multiplexada es de 1.544 Mb/s, es usado en Estados Unidos y Japón. Usa tecnología de AT&T.
- **Europeo.** Tiene 32 puertos, de los cuales 30 son de datos y 2 de señales especiales (señalización y sincronía), trabaja con una entrada de 64 Kb/s ya sean líneas de transmisión de cobre o de fibra óptica y la salida es de 2.048 Mb/s. En México se utiliza este sistema.

## I.21 SISTEMAS DE ANTENAS Y TORRES

Las antenas y las torres son elementos importantes en el diseño de los sistemas de radio desde el punto de vista funcional y económico. Capacidades de banda ancha con alta ganancia, altas pérdidas de retorno, buena directividad en el caso de los enlaces de larga distancia y omnidireccional casi hexagonal en el caso de sistemas de telefonía celular, y polarización doble son requisitos típicos de las antenas. Sin embargo, las características de las antenas tienen gran impacto en los requisitos de las torres. La ganancia de la antena por ejemplo esta relacionada directamente con las dimensiones físicas de la antena lo que afecta la carga, la estabilidad y el costo de la torre. Así algunos compromisos entre el costo y el rendimiento son necesarios.

La selección de la torre por su parte esta definida por una serie de factores interrelacionados los cuales incluyen el costo, el terreno, el sistema de radio seleccionado y el número de las antenas que serán acomodadas. La altura media de las torres de los sistemas de larga distancia es de 61 metros (200 pies) y en el caso de enlaces a corta distancia es de 30 metros (98.4 pies), en la figura I.21, se presenta una torre utilizada para antenas de microondas.



**Figura 1.21 Torre utilizada para la instalación de antenas de microondas**

En cuanto a la polarización podemos decir que para obtener una alta discriminación entre los canales adyacentes y facilitar el diseño de la red de microondas, la separación y combinación entre canales transmitidos es posible utilizando diferentes polarizaciones.

La polarización (en referencia al plano de tierra) se refiere a la orientación del campo eléctrico de la onda radiada, las polarizaciones lineales horizontal (fig. 1.22) y vertical (fig. 1.23) son comúnmente utilizadas en los sistemas de radio móvil.

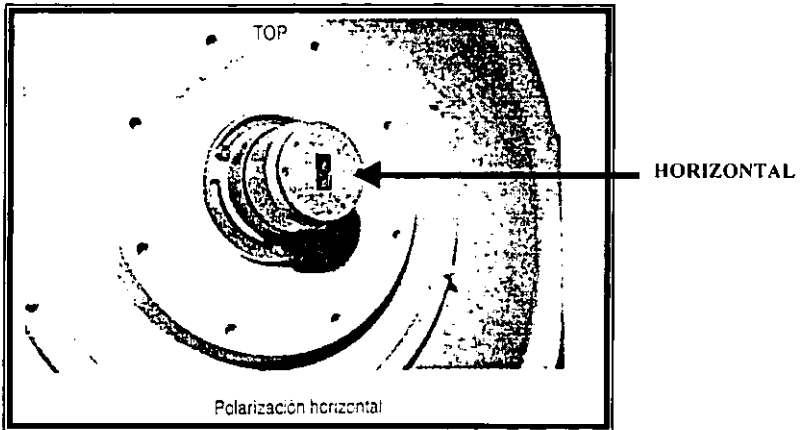


Figura 1.22 Posición de la antena en polarización horizontal

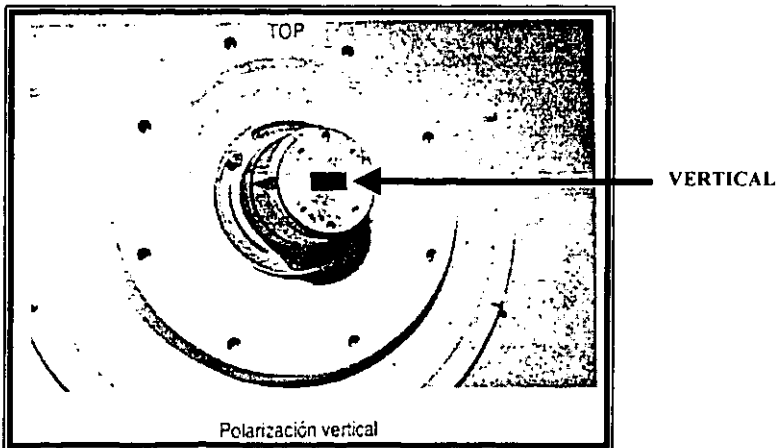


Figura 1.23 Posición de la antena en polarización vertical

Finalmente en la figura I.24 se muestran los componentes de un equipo de microondas en su parte externa, el cual es instalado en una torre, o en un mástil sobre una estructura (por ejemplo un edificio) lo suficientemente alta para obtener la línea de vista.

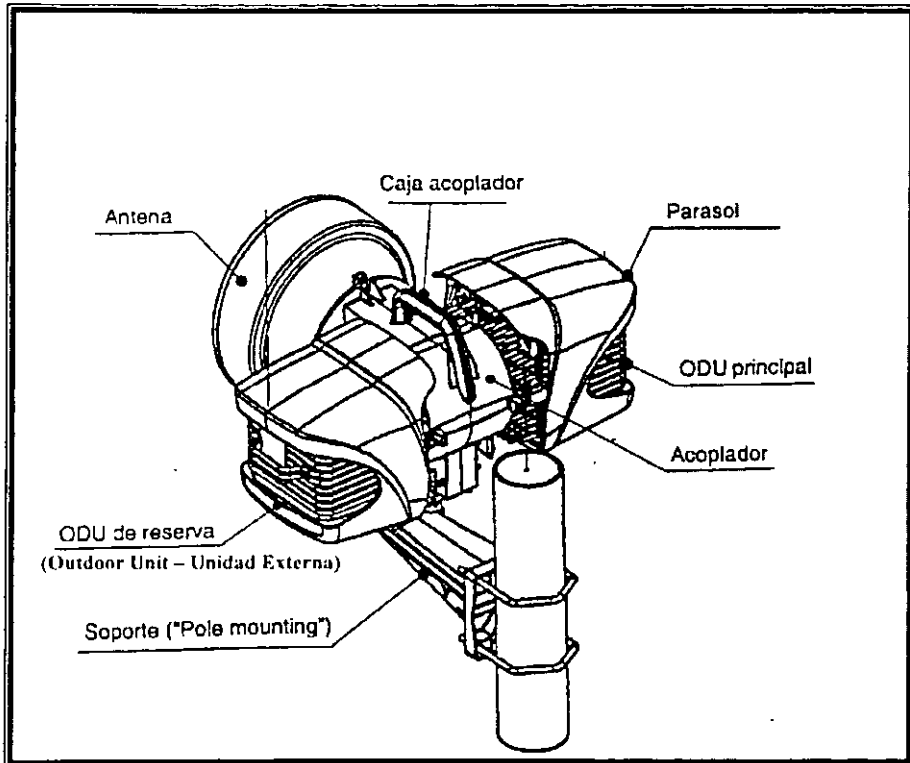


Figura I.24 Componentes principales del equipo externo de microondas

## I.22 ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA

Es conveniente saber, antes de empezar con la explicación de lo que es un estudio de línea de vista, explicar que es línea de vista.

Se le llama línea de vista (hablando de enlaces de microondas) precisamente al efecto de tener un vista clara entre dos puntos a enlazar, es decir estando en un punto A poder observar el otro punto B como se muestra en la figura I.25.

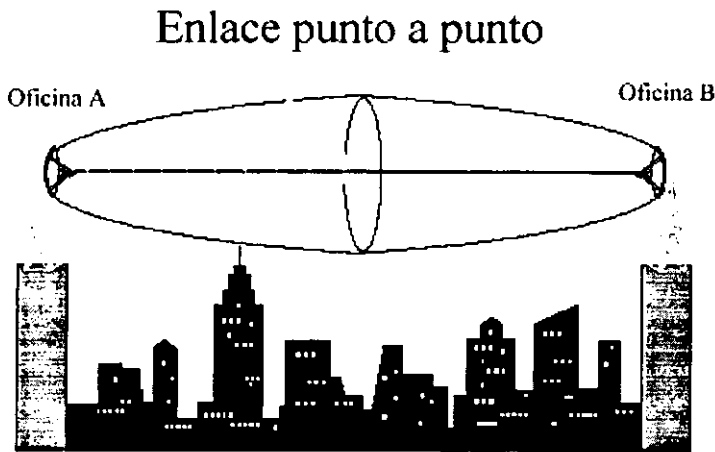


Figura I.25 Línea de vista entre dos puntos

El propósito general de un estudio de línea de vista es determinar la banda en frecuencia a utilizar, el equipo que se requeriría emplear, las alturas a las cuales se deberán colocar las antenas y la sugerencia de implementaciones a la infraestructura existente para que se garantice una comunicación de una calidad y disponibilidad adecuadas a la aplicación final. Para lograr lo anterior se deberá determinar la topografía del terreno entre los puntos a enlazar, identificar los obstáculos existentes y las condiciones de propagación para la frecuencia a utilizar.

El estudio de línea de vista se distribuye en dos campos, el estudio de la infraestructura disponible en los sitios a conectar (Site Survey), así como las características y problemas de la trayectoria del enlace (Path Survey).

En el caso de enlaces urbanos es necesario hacer mayor énfasis en la resolución de las curvas de nivel (estas curvas son propias del equipo y relacionan un nivel de potencia con otro parámetro más fácil de medir el cual generalmente es un voltaje de corriente directa) y de las edificaciones existentes y sus características a la fecha, por lo que se hace indispensable una evaluación directa de las alturas de los obstáculos en la trayectoria. De acuerdo a la información topográfica, los obstáculos y la banda en frecuencia propuesta son realizadas simulaciones en la computadora para la obtención de las alturas y dimensiones óptimas de las antenas.

El estudio de los sitios arrojará recomendaciones enfocadas a la aplicación, mejora ó implementación de estructuras de soporte, tipos de superficie, recorridos de cableado, montaje de equipos, etc.

## METODOLOGÍA A UTILIZAR

**Análisis Preliminar.** La metodología empleada considera, en su primer etapa, un análisis preliminar en el que se consideran los puntos a enlazar, su ubicación geográfica y las necesidades de disponibilidad (también llamada confiabilidad del sistema y se representa en por ciento, siendo la más común 99.999% en condiciones adversas del medio ambiente) planteadas por el cliente, de tal forma que con la ayuda de cálculos hechos por computadora se obtenga la mejor combinación de equipos a fin de cubrir las expectativas.

Para ello se recurre a la toma de coordenadas geodésicas auxiliados por un aparato de medición llamado DGPS (Diferential Global Posicion System – Sistema Diferencial de Posición Global).

El cálculo previo del trayecto es un análisis usado para preparar un diseño preliminar del enlace, dichos cálculos son genéricos y no deberán usarse como consideraciones finales de ingeniería de enlace.

Este estudio es usado para preparar un presupuesto de un sistema definido y detallado. Los requerimientos técnicos y económicos son evaluados a partir de la información contenida en este cálculo y serán la base para una cotización detallada de los equipos.

**Perfil del Enlace.** Una segunda etapa consiste básicamente de la determinación del perfil del enlace, tomando en cuenta para ello la ayuda de soluciones cartográficas. Teniendo acceso a los mapas se localizan los dos puntos a enlazar y se toman datos correspondientes a las alturas absolutas sobre el nivel del mar con su correspondiente distancia hasta el punto tomado como inicio del enlace. Dichas alturas son mostradas en las cartas como curvas de nivel que tienen separaciones dependientes de la escala empleada. Las escalas más comunes para el análisis topográfico son 1:50000 y 1: 10000, permitiendo estas últimas una mayor precisión del relieve del terreno. Entonces se toman la mayor cantidad de puntos dependiente de las curvas de nivel presentes entre los dos puntos. Con la unión de estos puntos se obtiene un despliegue en dos dimensiones del terreno comprendido entre los dos puntos de interés definiendo así el perfil topográfico o del terreno.

Una vez obtenido el perfil topográfico es necesario anexar a este la altura y tipo de las estructuras existentes que obstaculizan la trayectoria para lo que se recurre a una inspección y medición directas e inclusive ante puntos críticos se realiza una verificación de su ubicación geográfica.

**Cálculo de Altura de Antenas.** Los datos obtenidos en el perfil son capturados en el software Path Loss (programa de ingeniería que realiza los cálculos y consideraciones de un enlace de microondas) y considerando datos como criterios de libramiento, curvatura de la tierra, región de precipitación, parámetros del equipo propuesto, etc., son determinadas las pérdidas en la trayectoria con lo que se definen las alturas finales de las antenas en ambos sitios a fin de minimizar dichas pérdidas. El análisis así realizado podría mostrar inclusive la necesidad del empleo de otras modalidades como la diversidad en frecuencia, en espacio, etc.

**Análisis del Sitio.** El análisis del sitio incluirá la ubicación aproximada del sitio en mapas o croquis de la región a fin de determinar las vías de acceso a los sitios así como la consideración del tipo de transporte más adecuado para el traslado.

El equipo propuesto requerirá de una infraestructura para su montaje y puesta en marcha para lo que se hace necesaria una supervisión del sitio asignado o propuesto para la instalación del equipo.

En dicha supervisión se considera el tipo de alimentación de que se dispone, la trayectoria que describiría el cableado de banda base o la línea de transmisión según dependa, el tipo de torre existente, el tipo de construcción y las posibles necesidades para la adecuada instalación del equipo, tanto de interior como de exterior de acuerdo a las características del equipo a emplear.

Ante la inexistencia de una infraestructura se harían las observaciones y sugerencias pertinentes al tipo de equipo propuesto, así como en un primer plano se proporcionarían datos a las compañías que tomarían a su cargo el análisis de la obra civil.

**Informe.** Los resultados obtenidos en el análisis preliminar muestran una idea general de lo factible del enlace, estos de inicio indicarían la conveniencia de continuar con el análisis del enlace.

El informe final contendrá toda la información obtenida en la supervisión de los sitios así como el análisis de ingeniería para la o las propuestas resultantes.

En adición al análisis final del enlace, el reporte final de inspección/ingeniería incluye lo siguiente:

- Planos trazados de cada sitio inspeccionado.
- Información específica del sitio si la hay, como accesos particulares, instalaciones aledañas. Esto será anotado en la descripción del sitio del reporte.
- Descripción y localización del montaje de la antena, por ejemplo: montaje en torre, a pared y/o mástil. Alturas de antenas recomendadas, así como tipos y longitudes de cables de banda base y/o líneas de transmisión.
- Cualquier problema obvio o potencial en las instalaciones existentes será documentado y fotografiado.
- Alturas reales de torres basadas en trayectos inspeccionados.



- Verificación de coordenadas geodésicas, elevación y cualquier obstrucción en el trayecto particular.
- Puntos críticos en el enlace, documentados y fotografiados.
- Cálculos de enlace que proveerán los datos para evaluar la trayectoria propuesta.
- Dibujo vertical de cualquier torre existente, cualquier antena existente, su altura, tipo azimuth aproximado.
- Superestructura para determinar enrutamiento de cable de banda base o línea de transmisión y la determinación de su longitud.
- Puntos de conexión a tierra, tipos de conectores, etc.
- Localización de la fuente de alimentación y tipo de alimentación que provee, módulos de desconexión de energía eléctrica y módulos que se destinarían al equipo de microondas.
- Diagramas de caseta, contenedor o sala con localización de equipos y de accesos de cableado/línea de transmisión.
- Dibujos de caminos de acceso.
- Esquema de bastidor denotando posiciones de equipo y asignación de fusibles.

**Resumen de Actividades.** La realización de estudios de línea de vista (Site Survey y Path Survey) contempla las siguientes actividades:

- a) Ubicación de los sitios en mapa (Guía roji o mapa de la región)
  - Rutas de Acceso
  - Tipo de Transporte requerido
- b) Traslado a los sitios
- c) Levantamiento de los sitios
  - Toma de Coordenadas
  - Línea de Vista
  - Infraestructura
  - Edificación
  - Torre (de existir)
  - Características de la sala
  - Necesidades de cableado
  - Trayectoria del cableado
  - Canalización (de existir)
  - Rack (de existir, o posible lugar para el montaje del equipo)
  - Energía disponible (de existir)

- d) Ubicación en Carta Topográfica
  - Trazado del Perfil topográfico
- e) Determinación de posibles obstáculos en la Trayectoria
  - Supervisión de la Trayectoria
- f) Elaboración del Reporte
  - Vaciado de Datos tomados en el Levantamiento
  - Propuestas de Equipo a emplear
  - Banda de Operación
  - Dimensiones de Antenas
  - Alturas en Torre (de existir)
  - Altura de torre
  - Rack
  - Rectificador
  - Canalización, etc.

## **RASTREO EN FRECUENCIA**

De así requerirlo el cliente podrá solicitar un rastreo en frecuencia, esto a fin de que como parte del estudio de línea de vista se pueda proponer la utilización de algún canal específico de operación de los equipos dentro de las bandas 2 GHz, 7 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz y 38 GHz

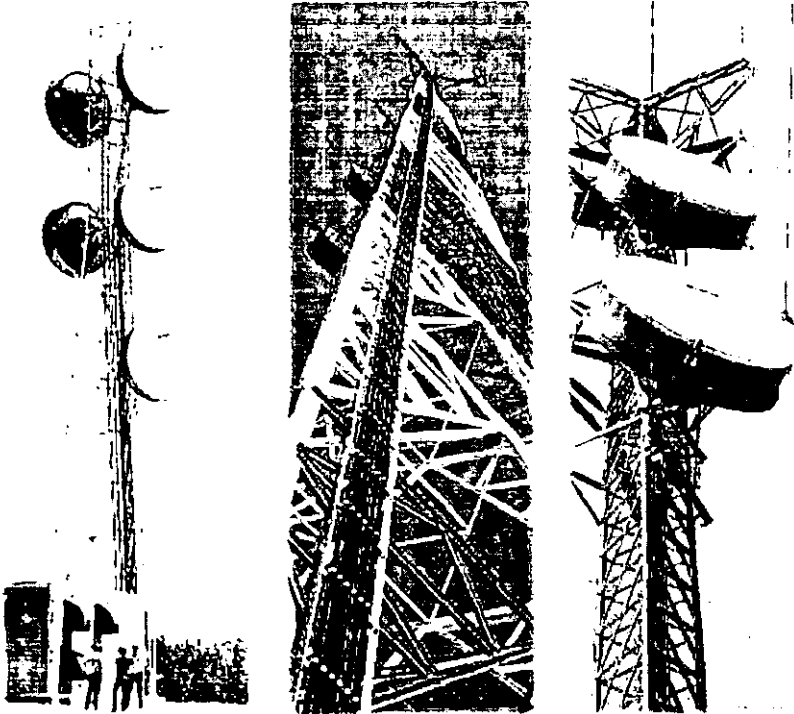
El procedimiento consistiría en la determinación de las señales presentes dentro de la banda a utilizar, en el punto propuesto para la instalación del equipo en cada extremo del enlace.

La evaluación se desarrollaría considerando básicamente el ángulo de azimuth en el que apuntaría la antena, creando gráficos del espectro dentro de un ancho de banda aplicable, para ambas polarizaciones. Como información adicional dicho rastreo se extiende hasta  $360^\circ$ , con lo que así se determinaría la presencia en el punto de señales posiblemente interferentes.

Tras la evaluación de los gráficos obtenidos y teniendo en cuenta el ancho de banda a ocupar pueden entonces definirse las frecuencias adecuadas para la correcta operación del enlace.

# CAPÍTULO II

## MICROONDAS



## II.1 INTRODUCCIÓN

Según aumenta el conocimiento de las comunicaciones el espectro utilizable se ha extendido a frecuencias cada vez más altas.

Los tubos de vacío miniatura comunes y los transistores de alta frecuencia alcanzan un límite práctico del orden de los 500 MHz. Esta frecuencia puede tomarse como el principio de la región de las microondas, aunque corrientemente se considera que esta empieza en 1 GHz. Ciertos triodos de diseño especial (para frecuencias ultra altas) y de tipo faro, así como algunos transistores, trabajan hasta unos 3 GHz. Los tubos de vacío especiales para microondas, tales como magnetrónes, klistrones, tubos de onda progresiva, osciladores de onda regresiva, o inversa, etc., y los diodos túnel, pueden operar con frecuencias hasta de 100,000 GHz. Por encima de este valor se encuentra la región infrarroja, o de calor, la cual suele considerarse que va desde los 300, 000 a los 375, 000 GHz. La luz visible al ojo humano va desde los 275,000 GHz del color rojo a los 790,000 GHz que corresponden al violeta.

La mayor actividad de las microondas se encuentra entre 1 y 50 GHz. Además de sus aplicaciones en radar y en las comunicaciones de punto a punto, las microondas se utilizan ampliamente en los laboratorios de investigación por lo que muchas compañías se encuentran dedicadas a la fabricación y servicio de equipos de pruebas de microondas y de sus componentes.

## II.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE MICROONDAS

En el espectro de radiofrecuencia, para transportar energía con buen rendimiento se necesitan cables coaxiales o líneas de transmisión especiales de dos hilos e impedancia constante. Cuando la frecuencia es superior a 3 GHz (longitud de onda de 10 centímetros), un tubo hueco, con un diámetro ligeramente superior a media longitud de onda (5 cm), puede ser utilizado como un aceptable espacio cerrado por el interior del cual se puede propagar la energía de dicha frecuencia y superiores. Este proceso es similar, en ciertos aspectos, a la propagación de las ondas de radio por el espacio a partir de una antena.

\* Para más detalle consultar el cuadro nacional de atribución de frecuencias nacional que expide la SCT la cual se encuentra en la página en internet de la COFETEL <http://www.cit.gob.mx/>

A estos tubos huecos se les llaman guíaondas (o guías de onda) y pueden ser redondos o rectangulares.

En las guías de onda redondas la polarización puede desplazarse (polarización circular, aquí el campo eléctrico gira en un patrón circular), por lo que la mayoría de estas toman la forma rectangular, con una altura de aproximadamente un medio de la anchura de la guía de onda para el modo de oscilación de corriente y tensión usualmente empleados (existen en los guíaondas varios modos posibles de oscilación). La anchura del guíaondas debe ser ligeramente mayor que la mitad de la longitud de onda a transmitir. Una banda de funcionamiento común es la conocida con el nombre de banda X (o banda de los 3 cm), cuyos límites superior e inferior son los 12.4 y 8.2 GHz respectivamente. El guíaondas para la banda X tiene aproximadamente una anchura de 3 centímetros y una altura de 1.5 cm. Otras bandas de frecuencias de microondas también han sido denominadas con letras (ver tabla II.1).

En la tabla II.1 se relacionan algunas de las designaciones más admitidas (no existe una designación normalizada de estas bandas). Mientras que las frecuencias superiores a la de funcionamiento de un guíaondas pueden propagarse por éste, las inferiores sufren una gran atenuación, por consiguiente, los guíaondas actúan como filtros de paso alto. En general presentan una impedancia característica de  $50 \Omega$  a la banda para la que han sido diseñados.

Los guíaondas se construyen de latón, cobre o aluminio, puesto que las corrientes en las paredes de los mismos oscilan únicamente en su superficie interna (efecto peculiar), las secciones de baja pérdida deberán ser plateadas interiormente. Como las corrientes circulan sobre las paredes de los guíaondas y las tensiones se desarrollan entre los lados superior e inferior, no es posible medirlas con los aparatos de medida habituales.

En vez de ello, se toman muestras de los campos eléctricos y magnéticos desarrollados por las corrientes, introduciendo una sonda de prueba (antena) en el guíaondas. Las indicaciones obtenidas se pueden convertir en los valores buscados.

Banda	Rango de frecuencias (GHz)	Dimensiones de la guía de onda (cm)
L	1.12 – 1.70	16.510 X 8.255
S	2.60 – 3.95	7.620 X 3.810
G	3.95 – 5.85	4.750 X 2.210
C	4.90 – 7.05	4.039 X 2.019
J	5.85 – 8.20	3.480 X 1.575
H	7.05 – 10.0	2.845 X 1.262
X	8.20 – 12.4	2.286 X 1.016
M	10.0 – 15.0	1.905 X 0.953
P	12.4 – 18.0	1.575 X 0.787
N	15.0 – 22.0	1.295 X 0.648
K	18.0 – 26.5	1.067 X 0.432
R	26.5 – 40.0	0.711 X 0.356

Tabla II. 1

Al tratar radiofrecuencias siempre se piensa en la corriente recorriendo la superficie del alambre y en que la energía se radia cuando la impedancia de la antena se adapta a la del espacio. En el caso de las microondas, las corrientes y tensiones quedan relegadas a un papel secundario y se considera que las ondas electrostáticas y magnéticas radiadas, siempre las unas formando ángulo recto con las otras, son las que transportan la energía desde la fuente a la carga y las que se adaptan a la impedancia de la carga.

Los guíaondas se hacen de secciones de diversa longitud. Pueden ser rectos, como en la figura II.1, curvados en alguna dirección deseada (Figura II.2), torcidos un ángulo dado, o incluso hechos flexibles. A cada extremo de una sección del guíaondas existe una brida metálica plana, con un mecanismo muy preciso, que permite que una sección se acople a otra empernando juntas las bridas como se indica en la figura.

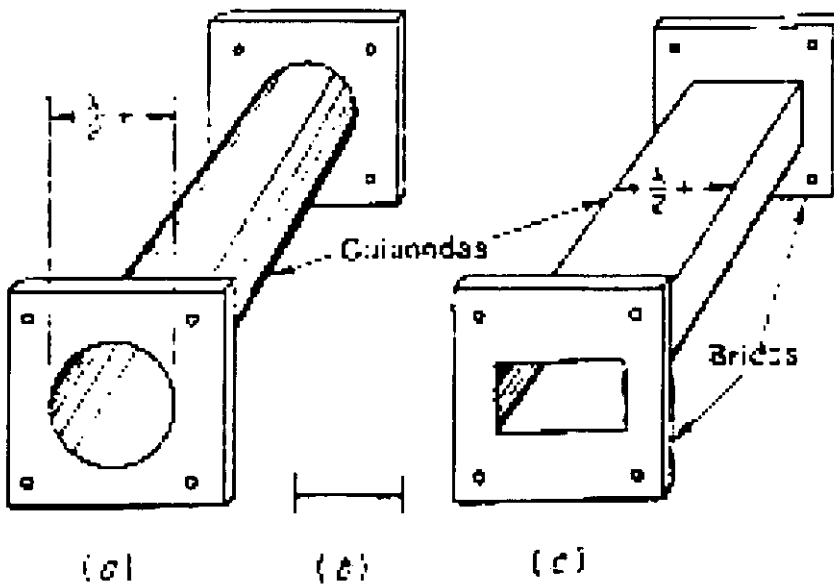
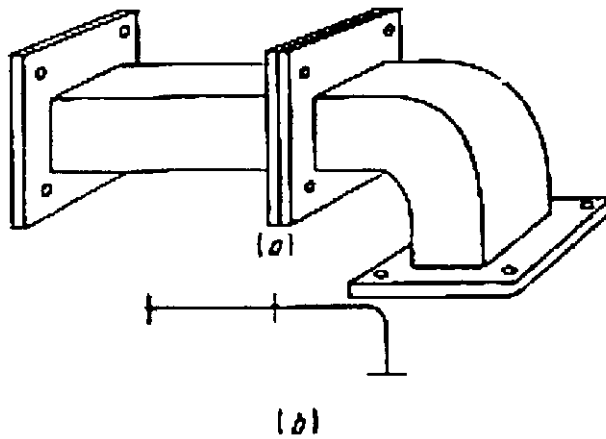


Figura II.1 a) Guíaondas circular, b) Símbolo de guíaondas, c) Sección de guíaondas rectangular



**Figura II.2 a) Sección de recta acoplada a un codo de 90° b) La misma sección mostrada en forma esquemática**

Las bridas planas se pueden poner a tope entre sí, pero para tener la menor cantidad de pérdidas y reflexiones en la unión una de ellas es una brida choque. En una brida choque una parte está mecanizada de tal modo que presenta una cavidad de media longitud de onda (Figura II.3).

De la teoría de antenas, en un adaptador de impedancias o una línea de transmisión, un punto situado a media longitud de onda de un punto de baja impedancia es otro punto de baja impedancia. El extremo ciego, que es la cavidad de media longitud de onda en la brida metálica, refleja una impedancia de  $0 \Omega$  al espacio entre las secciones del guíaondas. Ello representa una continuidad perfecta entre dichas secciones y en consecuencia no hay reflexión de energía en la unión.



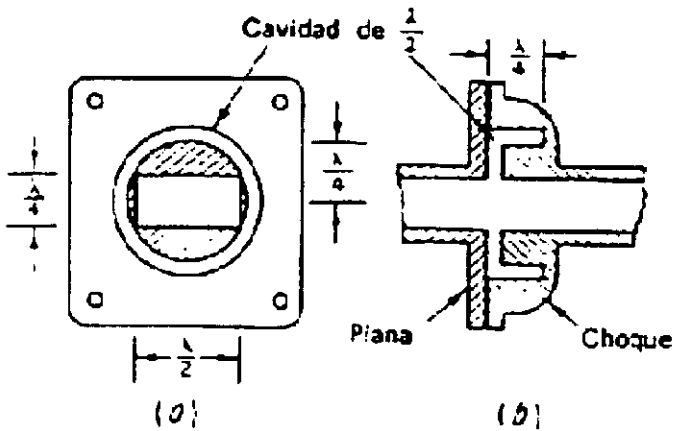


Figura II.3 Junta de choque. a) Vista de frente de la brida. b) Sección transversal de la unión de las bridas plana y de choque

Para líneas de transmisión de microondas pueden utilizarse cables coaxiales. Los cables de dieléctrico sólido tienen pérdidas elevadas a las frecuencias de microondas y los dispositivos de acoplamiento tienden a presentar discontinuidad y reflexiones de energía en el cable. Estas reflexiones producen ondas estacionarias en línea, con lo que no existe una completa transferencia de potencia de la fuente a la carga, así como puntos de alta y baja tensión a lo largo del cable, lo que tiene importancia en las aplicaciones de alta potencia. Sin embargo, cuando el camino que han de recorrer las ondas es sólo de algunos decímetros de longitud, los cables coaxiales se emplean a menudo hasta frecuencias de la sub-banda X.

Una microbanda es una línea de transmisión de microondas que consiste en una base metálica plana sobre la que se extiende un aislador, o material dieléctrico. Una tira delgada metálica se pone sobre el dieléctrico. La anchura, el espesor y la constante dieléctrica de la tira determinan la impedancia de este tipo de línea de transmisión (Figura II.4). Esta es una línea de transmisión de circuito impreso bastante manejable.

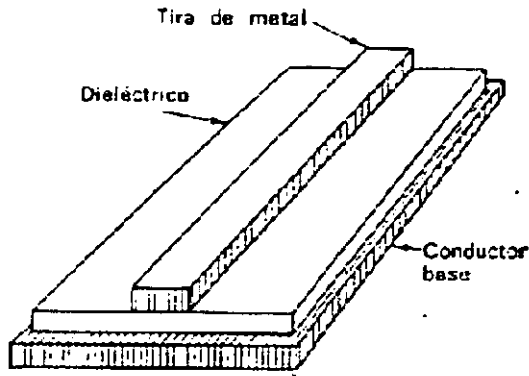
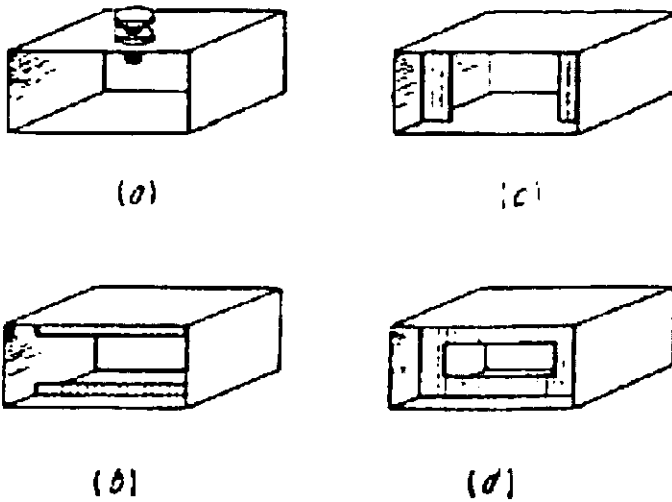


Figura II.4 Línea de transmisión microbanda

### II.3 ALGUNOS DISPOSITIVOS GUÍAONDAS

Como con otras líneas de transmisión, terminando un guíaondas con una resistencia de carga igual a la impedancia característica de la guía, no produce energía reflejada y se transfiere a la carga la máxima potencia, si la adaptación de impedancia no es correcta, la reflexión puede aparecer como capacitiva o inductiva. Un saliente proyectado en sentido vertical (Figura II.5 a, b) tiene un efecto capacitivo, y se utiliza para conservar un efecto de reactancia inductiva. Si este saliente es mayor de un cuarto de longitud de onda, su efecto es inductivo, los salientes proyectados en sentido lateral (Figura II.5 c), tienen también un efecto inductivo.

La posición óptima de un tornillo de sintonía capacitivo, por ejemplo, se puede determinar sustituyendo la sección del guíaondas por un sintonizador de tornillo deslizante, el cual tiene una ranura a lo largo de su longitud. Por esta ranura puede deslizarse una sonda cuya penetración en el guíaondas es también ajustable.



**Figura II.5 a) Sonda capacitiva ajustable. b) Iris capacitivo. c) Iris inductivo. d) Ventana resonante o de desacoplamiento.**

Con este dispositivo y buscando la menor relación de onda estacionaria se puede determinar la distancia óptima del tornillo a la carga, y la mejor profundidad de la sonda.

Una carga artificial que se utiliza en guíaondas consiste en una pirámide larga de material carbonizado o de hierro, con una arista aguda para evitar que se produzcan reflexiones (Figura II.6 a). La pirámide absorbe la energía que incide sobre ella, no permitiendo que se refleje ninguna. Otra forma de carga resistiva de baja potencia es una lámina de dimensiones que crecen de modo gradual recubierta de material resistente (Figura II.6 b).

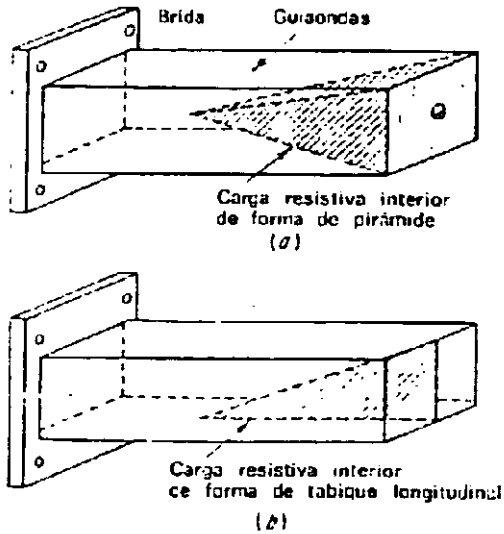


Figura II.6 Cargas de baja potencia para guíaondas. a) Tipo de pirámide. b) Tipo de tabique longitudinal resistivo

Las cargas artificiales para potencias más elevadas se enfrían con agua, aceite o aire. Cuando se desea perder una fracción de la potencia que se transporta por el guíaondas, se pueden utilizar atenuadores de aleta o de tabique longitudinal (Figura II.7).

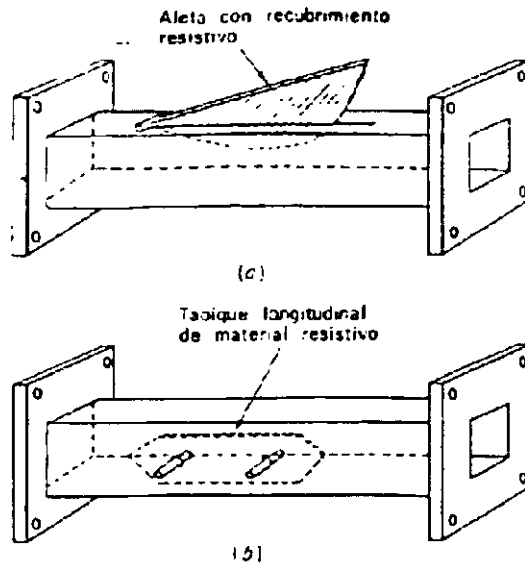


Figura II.7 Atenuadores de guíaondas. a) Tipo de aleta; la máxima atenuación se consigue con la aleta bajada. b) Tipo de tabique longitudinal; la máxima atenuación se obtiene con el tabique casi en el centro del guíaondas

Cuando se hacen mediciones de microondas, como puede ser, ver la frecuencia en un analizador de espectro de un transmisor el cual a su salida tiene conectada un guíaondas, a menudo se necesita introducir cierta atenuación (reducción de la densidad de potencia de la onda), ya que la mayor parte de los aparatos que se utilizan operan sólo con miliwatts de manera que sólo se mide una muestra de la señal a baja potencia para no dañar el aparato de medición, debido a que en muchas aplicaciones prácticas se opera con varios watts de potencia media, la cual es suficiente para quemar el equipo de pruebas.

Estos atenuadores reducen la señal desde 0 dB (sin reducción) a más de 30 dB (una milésima de la potencia).

Soldando juntos dos trozos de guíaondas y abriendo entre ellos uno o más agujeros se obtiene un acoplador direccional (Figura II.8).

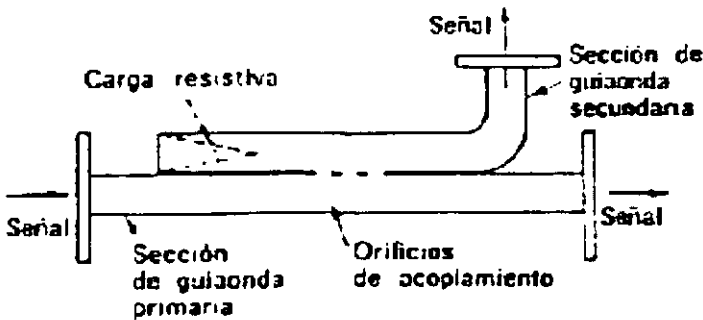


Figura II.8 Acoplador direccional de guías de onda

Cuanto mayores sean los agujeros, o mayor sea el número de ellos, mayor será la potencia transferida a la sección de guías de onda secundaria. Si dos agujeros se encuentran separados un cuarto de longitud de onda, la propagación es de tal forma que la mayoría de la energía transferida a la sección secundaria, o acoplada será en la dirección directa. Una carga artificial en el extremo en la dirección inversa absorbe cualquier transmisión en esta dirección, haciendo que el acoplador lo sea en la dirección directa, estos dispositivos están especificados en decibelios. Un acoplador de 3 dB transmite a la sección secundaria un medio de la potencia, un acoplador de 10 dB transmite un décimo de la potencia. Uno de 20 dB la centésima parte de la potencia. Una entrada de 1 kW a un acoplador de 30 dB acopla a la sección secundaria una milésima parte de la potencia, o sea 1 W, mientras que a través de la sección primaria pasan 999 W.

Dos acopladores direccionales colocados uno inversamente al otro, pueden tomar muestras de la energía que se desplaza hacia la carga y la reflejada por ésta. A partir de estos valores se pueden hallar el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria. En la figura II.9 se muestra una representación simbólica de un reflectómetro de este tipo.

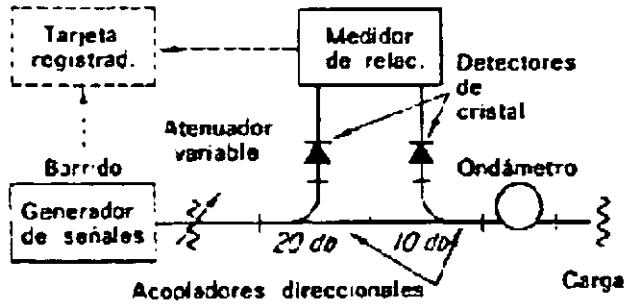


Figura II.9 Reflectómetro. Las unidades y conexiones representadas por líneas de trazos se utilizan si se va a registrar una banda de frecuencias con un generador de barrido

#### II.4 ACOPLAMIENTO DE GUÍAONDAS

Además de los agujeros entre secciones de guíaondas, utilizados en los acopladores direccionales, existen otros dos procedimientos de uso corriente para acoplar energía desde, o a, un guíaondas. Uno de ellos es análogo al acoplamiento de eslabón (Figura II.10 a). La energía de una línea coaxial termina en un lazo de una sola vuelta conectado a las paredes del guíaondas. Los campos magnéticos debidos a la corriente en este lazo inducen tensiones en el espacio del guíaondas y corrientes en las paredes, permitiendo que la energía se radie a lo largo del guíaondas. Un método alternativo es el que se representa en la Figura II.10 b, en el que la terminación de la línea coaxial es en esencia, una antena vertical de un cuarto de longitud que se proyecta en el espacio del guíaondas. La energía radiada por esta sonda se transmite a lo largo del guíaondas. En ambos casos se consigue un refuerzo de la energía transferida si el dispositivo acoplador se encuentra a un número impar de cuartos de longitud de onda del extremo cerrado del guíaondas. El extremo cerrado actúa como un reflector parásito. En los guíaondas que contienen dispositivos acopladores, el extremo próximo será a menudo ajustable o sintonizable, para asegurar la máxima reflexión desde dicho extremo.

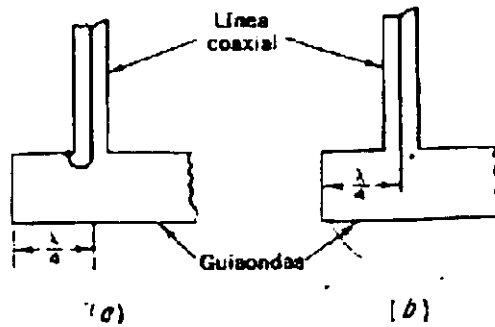


Figura II.10 Acoplamiento de una línea coaxial a un guíaonda. a) Método utilizando en espira o gancho. b) Método utilizando una sonda - antena

## II.5 DISPOSITIVOS DETECTORES

Para apreciar la amplitud de la energía de c-a de frecuencia super alta (SHF) en los guíaondas, se utiliza un diodo de cristal en un guíaonda detector (así se le llama a la extensión de guíaonda que tiene un orificio o ranura en donde se coloca el diodo de cristal para tomar muestras de la señal) montado a través del guíaonda principal (Figura II.11 a), se recoge una muestra de la energía de c-a se rectifica, de modo que puede actuar sobre aparatos de medición, indicar la modulación, etc.

Los bolómetros son unos dispositivos que cambian su resistencia cuando se calientan. Los que tienen un coeficiente de temperatura positivo se llaman barreters o resistencias autorreguladoras, o en realidad son unos simples hilos de resistencia muy sensible montados en guíaonda (Figura II.11 b). Otro tipo de bolómetro es el termistor, que es una pequeña cuenta de semiconductor entre dos hilos conductores (Figura II.11 c). Estos tienen coeficiente de temperatura negativo. La energía de c-a, que pasa a lo largo del guíaonda calentará el elemento bolómetro. Si el bolómetro se utiliza como un cuarto brazo de un puente que está equilibrado cuando el bolómetro esta frío, la cantidad de desequilibrio introducida indicará el valor relativo de la energía de c-a en el guíaonda.



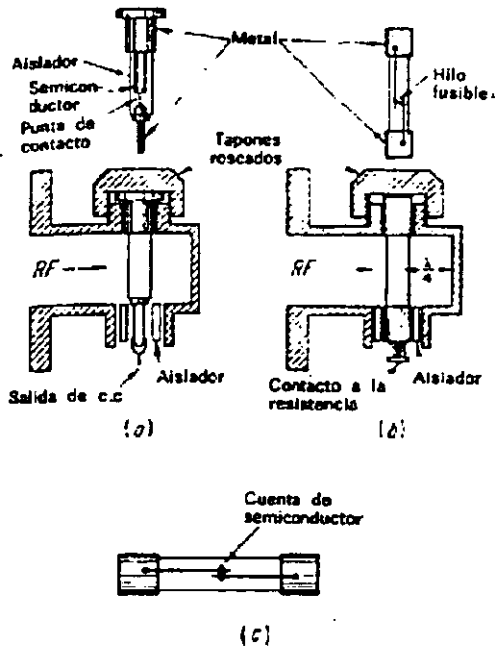


Figura II.11 a) Cristal de microondas y su colocación en un montaje detector.  
b) Barreter y su montaje. c) Termistor.

El barreter se utiliza para niveles de energía elevados, el termistor al ser más sensible, se emplea para medidas de niveles de energía más bajos. Los bolómetros reaccionan lentamente y se limitan a indicar únicamente frecuencias moduladoras muy bajas. Los detectores de cristal se utilizan cuando se desean presentar en un osciloscopio pulsos o envolventes de modulación.

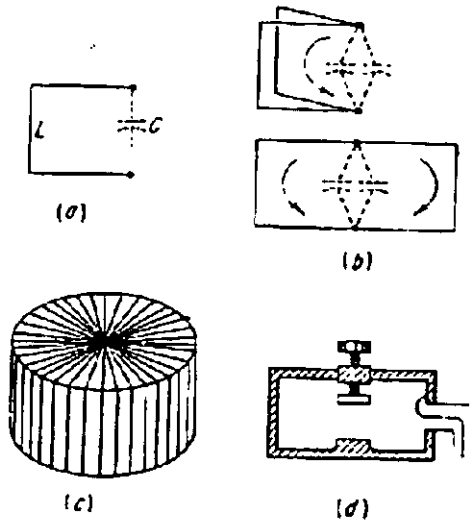
## II.6 CAVIDADES RESONANTES

Para obtener un circuito resonante LC (inductivo - capacitivo) para microondas, el número de espiras de la bobina se reduce a una y la capacidad del circuito es la existente entre los dos extremos del hilo de la bobina (Figura II.12 a). La forma de este circuito viene a ser la de una horquilla de un cuarto de longitud de onda. Su frecuencia resonante será, sin embargo, algo menor que el valor medio. Una tentativa de reducir el valor de la inductancia poniéndoles en paralelo otra horquilla análoga reduce el valor de L, pero aumenta el de C, con lo que la frecuencia resonante no variará, aunque aumenta el valor de Q (Figura II.12 b).

Obsérvese la distribución de corriente en un instante dado en los circuitos resonantes representados, cuando se abren en abanico, las dos horquillas aparecen como la sección transversal de un guíaondas rectangular.

Si se añaden más horquillas al punto central se formará una cavidad similar a un cilindro, un cilindro normal con un radio y altura de 4 cm, si fuese adecuadamente excitado, tendría una frecuencia resonante natural algo menor de 2 GHz (Figura II.12 c). Una cavidad mayor resonaría a una frecuencia más baja; y una menor, a una frecuencia más alta.

La frecuencia puede variarse en un pequeño porcentaje añadiendo un condensador variable en el centro de la cavidad (Figura II.12 d). Esta cavidad se muestra con una espira de acoplamiento inductivo.



**Figura II.12** a)  $L$  y  $C$  de una horquilla de un cuarto de longitud de onda. b) Dos horquillas en paralelo. c) Cavity formada por infinitas horquillas en paralelo. d) Sintonía capacitiva de una cavity, y acoplamiento de baja impedancia de un cable coaxial a la cavity

Si una cavity resonante se hace variable mediante la instalación en ella de un émbolo móvil y se acopla a una sección de guíaondas en un agujero, se obtiene un ondámetro, o medidor de frecuencias microondas (Figura II.13).

La energía existente en el guíaondas, al pasar a través del agujero, induce en la cavity una tensión y una corriente. Si la cavity es resonante a la frecuencia de esa energía, absorberá una parte de ella.

Esto puede apreciarse en un detector acoplado al sistema del guíaondas, o en un detector acoplado al ondámetro, el cual indicará cuándo existe resonancia. Si la cavity no es resonante a esa frecuencia, no absorberá energía alguna. Un indicador en el mando del émbolo, el cual se desliza sobre una escala calibrada, indica la frecuencia de resonancia.

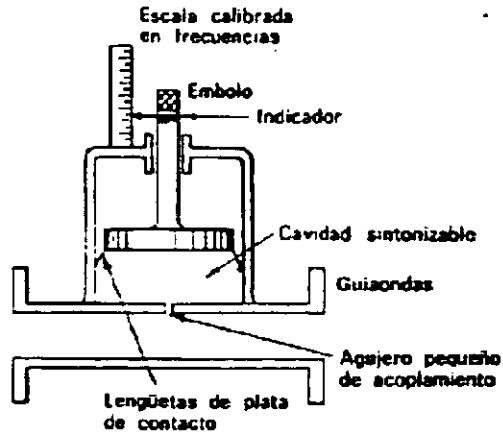
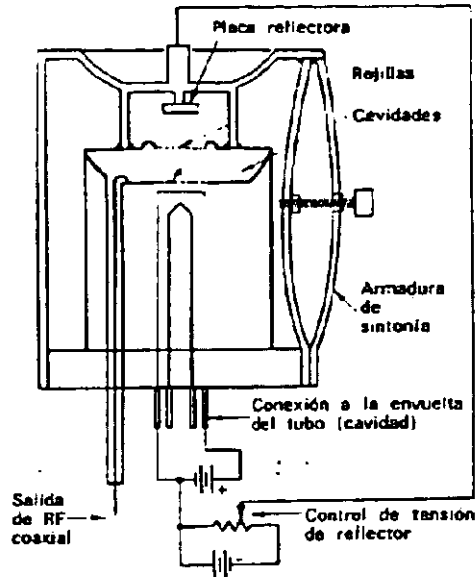


Figura II.13 Ondámetro de cavidad acoplado a una sección de guíaondas

## II.7 KLISTRONES

Para amplificar la c-a de microondas se utilizan cuatro tipos importantes de tubos de vacío. Estos son los klistrones, los magnetrones, los tubos de onda progresiva y los osciladores de onda progresiva.

Existen dos tipos básicos de klistrones, los réflex (osciladores) y los de cavidades múltiples (amplificadores). Los klistrones réflex de baja potencia producen un bombardeo de electrones a partir de un cátodo caliente que es enviado a una cavidad cilíndrica con rejillas en sus partes superior e inferior (Figura II.14).



**Figura II.14 Klistrón reflex.** La longitud de sonda de RF que se introduce en el guíaondas determina el acoplamiento. Atornillando las armaduras para reunir las rejillas de la cavidad aumentando la frecuencia

Si la cavidad se encuentra oscilando, en un instante dado, la rejilla superior será positiva y la inferior negativa. En estas condiciones los electrones que se encuentran recorriendo la cavidad se agrupan hacia la placa reflectora de la parte superior. Puesto que el reflector es negativo, los electrones ya agrupados se devuelven a la cavidad en una fase tal que aumentan la intensidad de la oscilación de la cavidad. Si el reflector no tiene la tensión adecuada, los electrones agrupados retornarán fuera de fase y no se producirán oscilaciones. Las oscilaciones de la cavidad pueden producirse con distintas tensiones de reflector, algunos de estos modos de oscilación son más intensos que otros.

La frecuencia de oscilación se puede variar algunos centenares de megahertzios (en la banda X) si se separan físicamente las rejillas deformando la cavidad en su parte central. Con ello se reduce la capacidad del centro de la cavidad y se aumenta la frecuencia. La frecuencia puede también variarse electrónicamente algunos megahertzios cambiando ligeramente la tensión del reflector a partir del valor original lo que produce una frecuencia de salida mayor o menor dependiendo de la variación de voltaje.

La modulación de la tensión del reflector en 1 ó 2 volts, es un procedimiento simple y rápido de producir en estos klistrones una modulación de frecuencia de banda ancha.

Los klistrones réflex originales producen solamente algunos milivatios de potencia de salida y son de muy poco rendimiento. Los tubos más modernos, como el de la figura II.15, pueden producir una potencia más considerable. Sin embargo, cuando se necesitan altas potencias se utilizan klistrones de tres o cuatro cavidades. Estos alcanzan un rendimiento del 20 al 50 por ciento.

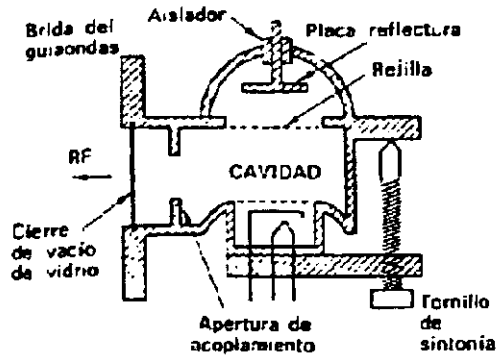


Figura II.15 Klistrones réflex con un montaje de guíaondas

En la figura II.16 se muestra un Klistrón de potencia de tres cavidades sin rejilla. Los electrones son emitidos por el cátodo y atraídos por el colector y el ánodo modulador. Sin embargo, una bobina de enfoque magnético alrededor del tubo fuerza a los electrones hacia el colector, a través de las cavidades que están conectadas entre sí exteriormente. Al pasar por la primera cavidad el chorro de electrones, empiezan éstos a ser agrupados por efecto de las oscilaciones de c-a de la señal de entrada existentes en dicha cavidad. Los electrones agrupados se desplazan a través del primer espacio de agrupamiento, en donde continúan mejorando este agrupamiento, hasta la segunda cavidad, la cual es resonante a la misma frecuencia y produce un agrupamiento aún mayor. Los electrones ya bien agrupados, pasan la tercera cavidad, o de salida, entregando a su circuito tanque la mayor parte de su energía. Los electrones continúan hasta incidir en el ánodo colector, el cual está refrigerado por agua o por aire.

Modificando las dimensiones de las cavidades exteriores se puede variar entre límites amplios la frecuencia de funcionamiento de estos tubos. Los klistrones réflex se emplean como osciladores mezcladores en superheterodinos de microondas o en generadores de señales.

Los klistrones amplificadores de potencia pueden producir de 10 a 50 kW de potencia a frecuencias super altas. Encuentran uso en transmisores de TV, radar (produciendo potencias de pico de megawatts) y comunicaciones troposféricas dispersas transhorizonte.

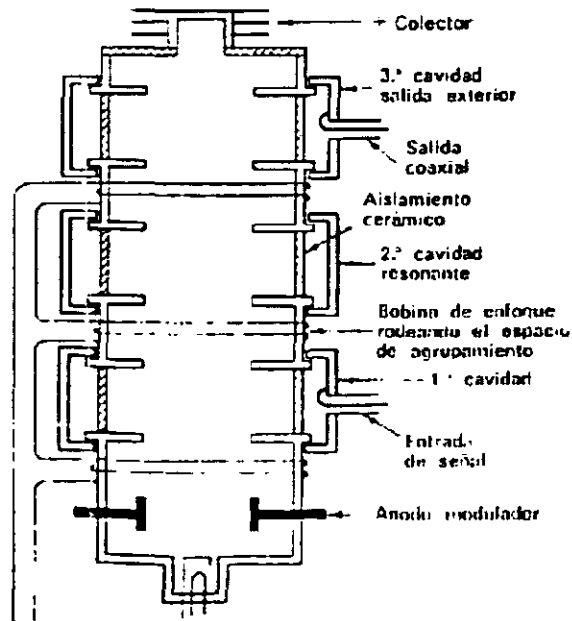


Figura II.16 Klistrón amplificador de potencia. Los tubos de este tipo llegan a alcanzar alturas de más de 3 metros.

## II.8 MAGNETRONES

El magnetrón fue desarrollado para producir impulsos de microondas de alta potencia con destino a la antena. Un magnetrón puede imaginarse como un bloque de latón cilíndrico de unos 6 cm de diámetro y unos 4 cm de espesor con un agujero grande en el centro y ocho más pequeños entre el centro y el borde exterior (Figura II.17).

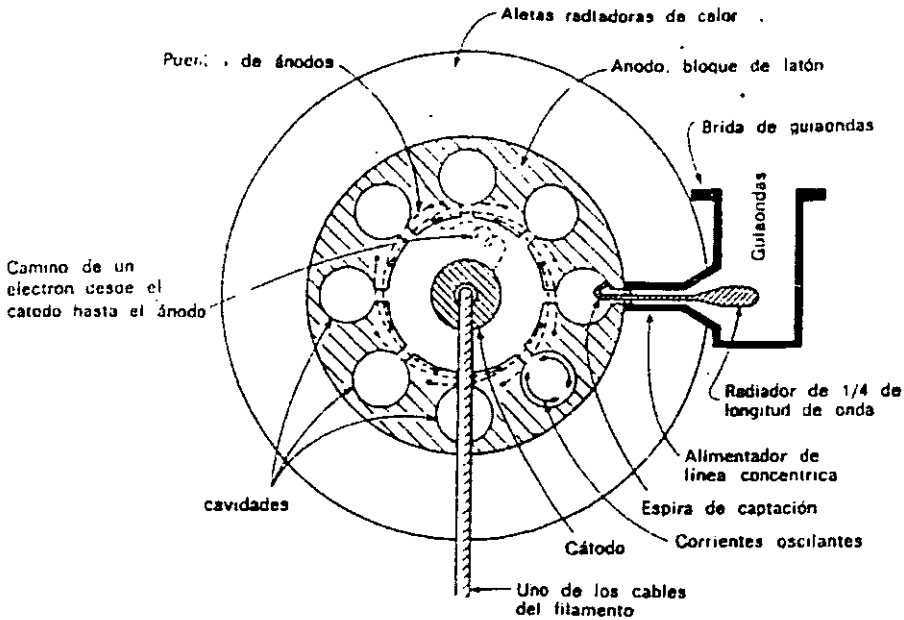


Figura II.17 Esquema básico de un magnetrón multicavitad

Unas ranuras ponen en comunicación el agujero grande con los pequeños. Ambos extremos están cerrados con placas terminales.

Los agujeros pequeños forman cavidades, cuando el magnetrón está en funcionamiento, los electrones recorren un camino hacia delante y hacia atrás a lo largo de las paredes de las cavidades, como se indica con flechas en una de ellas.



En el centro del agujero central se encuentra un cátodo cilíndrico con un alambre de calefacción interna. Un cable está conectado al extremo más próximo del filamento de calefacción; otro cable está conectado al extremo más alejado.

Un pequeño gancho en una de las cavidades actúa como una espira de captación para este tubo particular, extrayendo energía de microondas de esta cavidad (y con ello de todas las demás) cuando oscila. Esta energía alimenta a una línea de transmisión concéntrica corta, la cual termina en un radiador de un cuarto de longitud de onda que penetra en el extremo de un guíaondas.

El bloque del magnetrón actúa como ánodo o placa y está conectado a tierra. Cuando llega un impulso al tubo, el cátodo se hace de 10 a 20 kV negativo. Esto hace a la placa relativamente positiva, y los electrones procedentes del cátodo caliente empiezan a dirigirse a ella. Sin embargo, un fuerte imán permanente de forma de herradura situado exteriormente, con su polo norte en un extremo del cátodo y su polo sur en el otro extremo, produce un campo magnético intenso en la dirección del agujero central. Según la regla de la mano derecha para motores, los electrones se desviarán formando un ángulo recto con las líneas de fuerza que atraviesan. Ello da como resultado el que, tal como se muestra, los electrones recorran un camino elíptico según progresan hacia el área del ánodo.

El potencial positivo del ánodo acelera los electrones hacia él, esto equivale a decir que los electrones recogen energía de la diferencia de potencial. Cuando los electrones dan vueltas al pasar por las ranuras en el área del ánodo, inducen tensiones entre las caras de ellas, que ponen a las corrientes en oscilación a lo largo de las superficies de las paredes de las cavidades.

De este modo la energía de los electrones del cátodo se transfiere a las corrientes oscilantes de las cavidades, todas las cavidades tienen el mismo tamaño y oscilan a la misma frecuencia. Sin embargo, las cavidades adyacentes tienen a cada momento corrientes en direcciones opuestas.

Se ha encontrado que conectando, mediante puentes, las cargas alternas del ánodo como se muestra en la figura II.17, en líneas de trazos, se aumenta el rendimiento a un 50%, aproximadamente, mientras que en un magnetrón sin estas conexiones, vienen a ser de un 35% solamente.

Un magnetrón puede tener una potencia media de salida de únicamente 20 watts, pero cuando se utiliza en circuitos de impulsos puede producir impulsos de una potencia extremadamente alta. Por ejemplo, si un magnetrón de 20 watts se pulsa 1,000 veces por segundo y cada impulso tiene una duración de sólo 1  $\mu$ s, el tiempo total de funcionamiento es únicamente de 1/1,000 s. Cada impulso puede, por tanto, tener una potencia de pico de 20,000 watts. Si se pulsa sólo 500 veces por segundo con impulsos de 1  $\mu$ s, cada impulso puede tener 40,000 W, sin exceder el valor de los 20 watts de disipación de potencia media del tubo. La frecuencia de resonancia de una cavidad se puede aumentar reduciendo el volumen de la misma mediante la introducción en ella de émbolos o varillas. Algunos magnetrones se hacen de frecuencia variable introduciendo émbolos simultáneamente en todas las cavidades. Otros magnetrones se sintonizan electrónicamente variando su tensión de ánodo, por ejemplo, un magnetrón de baja potencia puede variar su frecuencia desde 400 a 1,200 MHz cambiando su tensión de ánodo desde 700 a 1,900 V.

## II.9 TUBOS DE ONDAS PROGRESIVAS Y OSCILADORES DE ONDA REGRESIVA

El tubo de ondas progresivas, o amplificador de ondas progresivas, es un tubo de microondas que se puede sintonizar electrónicamente sobre una banda de frecuencias relativamente ancha.

Consiste en un cañón con enfoque electrónico que envía un haz de electrones a lo largo del eje de una bobina espiral helicoidal, hasta llegar al ánodo en el extremo más alejado (Figura II.18).

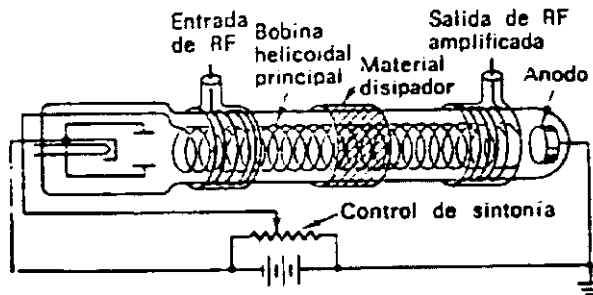


Figura II.18 Tubo de ondas progresivas

Tanto la bobina helicoidal como el ánodo y el cañón electrónico se encuentran en una envuelta de vidrio a la que se le ha hecho el vacío.

El ánodo y la bobina helicoidal se hacen muy positivas con respecto al cátodo para impulsar a los electrones a lo largo del centro de la bobina helicoidal. Exteriormente a la envuelta de vidrio en la que se ha hecho el vacío, se deslizan otras dos bobinas helicoidales adicionales, las cuales constituyen los dispositivos de acoplamiento de entrada y salida con una impedancia de  $50 \Omega$ .

Cuando una señal de microondas se induce, por medio del acoplamiento de entrada, en el extremo de la izquierda de la bobina helicoidal principal, viaja a lo largo de la superficie de este alambre a una velocidad que es esencialmente la de la luz. Sin embargo, puesto que la bobina es helicoidal, la velocidad real de propagación a lo largo del tubo es considerablemente menor que la de la luz.

Si se alimentan electrones a lo largo del eje de la bobina helicoidal principal, a una velocidad ligeramente superior a aquella con que la onda de señal avanza por la bobina, los electrones y la onda tienen entre sí acciones recíprocas, de tal modo, que los electrones en el interior de la bobina se van agrupando según van avanzando a todo lo largo de la misma.

Esto da como resultado el que algunos de los electrones reducen su velocidad y entregan gran parte de su energía a la onda inducida en la bobina helicoidal principal. Cuando las ondas activadas de la bobina pasan por el dispositivo de acoplamiento de salida, inducen energía en él. La ganancia de los tubos de ondas progresivas va de 30 a 60 dB. Las potencias de salida pueden ser desde miliwatts hasta 10 watts, o incluso superiores.

No existen cavidades en los tubos de onda progresiva, la única sintonía requerida es mantener el potencial de la bobina helicoidal en un valor óptimo de sincronismo. Para evitar que el haz de electrones sea atraído a la bobina helicoidal positiva, a lo largo del centro de ésta se desarrolla un fuerte campo axial (campo en la periferia) permanente electromagnético por medio de imanes exteriores (no representados).

Este campo magnético enfoca electrones y los mantiene en el centro del área de la bobina helicoidal principal.

Para evitar que la energía amplificada entorne por la bobina desde el dispositivo de salida al de entrada, lo que produciría oscilaciones, se coloca un atenuador disipador alrededor de la envuelta de cristal que rodea la bobina helicoidal principal. Sin este atenuador, y con sólo un dispositivo de acoplamiento, el tubo de ondas progresivas será esencialmente lo mismo que un tubo oscilador de ondas regresivas. Un oscilador de ondas regresivas, puede operar con un rendimiento relativamente alto y es sintonizable variando la tensión de la bobina helicoidal. Por ejemplo, un tubo se puede sintonizar en una octava y media (desde 1 a 3 GHz), variando la tensión de la bobina helicoidal desde 300 a 2,000 V. Una variación de tensión de este orden da como resultado una amplitud de salida desigual sobre el margen de funcionamiento. Es necesario utilizar un circuito limitador o nivelador para mantener una salida de amplitud igual para todas las frecuencias.

El oscilador de onda regresiva representado en la figura II.19 utiliza una bobina helicoidal bifilar (de dos hilos), y tiene una salida equilibrada.

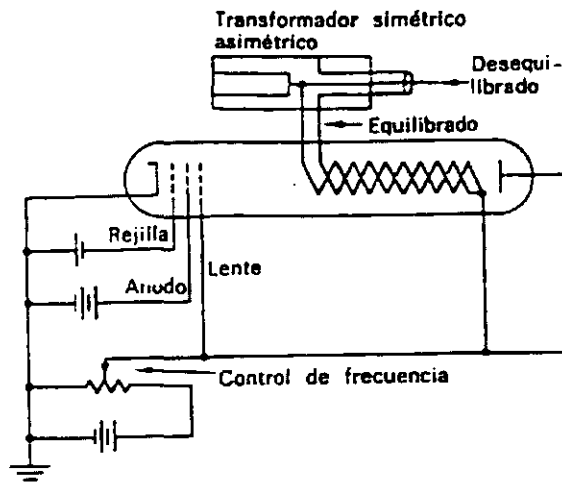


Figura II.19 Oscilador de ondas regresivas de bobina helicoidal bifilar con transformador simétrico - asimétrico para convertir la salida de equilibrada en desequilibrada

Para acoplarlo a una línea no equilibrada, como es un cable coaxial, y para convertirlo, si se desea, a alguna otra impedancia, se debe emplear un transformador simétrico - asimétrico. Este transformador puede formar parte del equipo que viene incluido en el tubo oscilador de ondas regresivas.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## II.10 MEDICIONES DE MICROONDAS

Los aparatos de medición que utilizan los técnicos que trabajan con microondas son:

**Generadores de señales.** Estos utilizan klistrones o tubos de ondas progresivas con salidas de impulsos, onda continua o modulada por onda cuadrada o sinusoidal de 1,000 Hz. Estos generadores pueden ser variables a mano o ajustados para barrer una banda de frecuencias seleccionada.

**Medidores de potencia calorimétricos.** Estos son unos puentes refrigerados por aceite cuyos brazos son bolómetros, proporcionando lecturas directas en vatios o en decibelios. Sus posibilidades de potencia van desde 10 mW a 10 W.

**Medidores de potencia.** Estos medidores indican la salida de un termistor situado en un montaje acoplado a un guíaondas y dan una lectura directa en vatios o en decibelios. Si la potencia en el sistema es mayor que la que puede leerse directamente, se ponen atenuadores de guíaondas (o coaxiales) delante del montaje del termistor.

**Indicadores de onda estacionaria.** En ellos se lee directamente la relación de onda estacionaria mediante el desplazamiento de un carrillo con una sonda y un detector a lo largo de un guíaondas ranurado.

**Medidor de relación.** Este dispositivo mide la relación entre los dos acopladores direccionales de un montaje reflectómetro, indicando directamente la relación de onda estacionaria, independientemente de la frecuencia que está siendo barrida por el generador de señales.

**Medidores de frecuencia.** Estos medidores pueden ser o del tipo de ondámetro calibrado o del tipo de osciladores heterodinos batidos con una señal desconocida y leída en un contador de frecuencias.

Algunas de las mediciones que se hacen son:

Potencia absoluta en un sistema, utilizando terminaciones de bolómetros en un medidor de potencia.

Niveles de potencia relativa en sistemas, al sintonizar el sistema o variar la carga, se toman las medidas en un medidor de potencia.

Atenuación producida por un dispositivo añadido en un sistema guíaondas. Se hace una medida en la carga sin el sistema y a continuación otra vez con el dispositivo acoplado al sistema. La diferencia entre lecturas es la atenuación producida por el dispositivo.

Medidas de la relación de onda estacionaria. Esta relación da una indicación de la reflexión producida por una carga desacoplada. Se puede utilizar o una sonda con detector en una sección ranurada o en un reflectómetro.

Frecuencia de señales en un sistema. Se utiliza para determinar la frecuencia de un transmisor si esta no es conocida, para ver la separación entre subbandas de frecuencia de una misma banda, para analizar mediante un barrido de frecuencias si no existen frecuencias cercanas a un sistema que le estén introduciendo interferencia etc.

Impedancia. Puesto que una carga adaptada produce una relación de onda estacionaria de 1:1, el análisis de la relación de onda estacionaria en un guíaondas permite la determinación de la impedancia de una carga si se conoce la impedancia característica del guíaondas.

## II.11 RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE GUÍAONDAS

Cuando se instalan guíaondas de una manera permanente, como en un radar, es importante que no se coloquen de forma que haya largos recorridos horizontales en los que se puede acumular polvo y gotitas procedentes de la condensación de humedad sobre las paredes interiores de las secciones. Todo ello atenuaría la energía transmitida a lo largo de la línea.

Puesto que no es corriente que se presente condensación en el exterior del guíaondas, se suele abrir un pequeño orificio en el codo de una sección de guíaondas situada en el punto más bajo con objeto de tener una ventana de escape para el agua. Las bridas choque se deben montar siempre con sus cavidades de media onda hacia arriba, con objeto de que no se llenen de condensación.

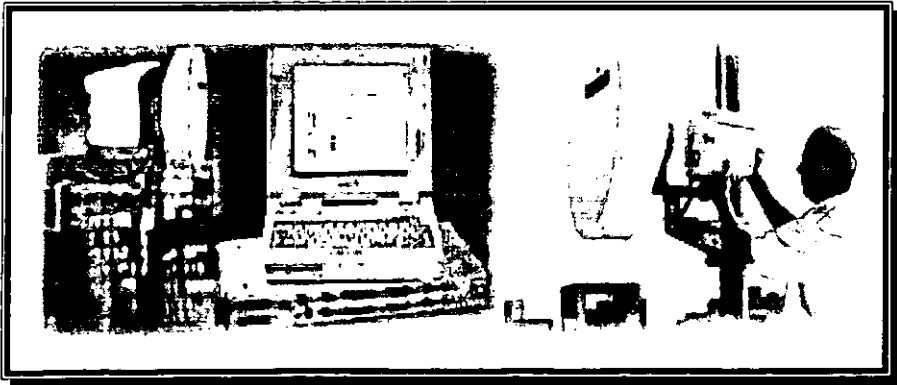
Los guíaondas deben manejarse con cuidado. La más ligera abolladura en una pared de una sección produce una discontinuidad que se traduce en un aumento de la relación de onda estacionaria y una pérdida de la potencia transferida por el sistema.

Para evitar la radiación de señales no deseadas y las interferencias con receptores próximos, los guíaondas deben unirse firmemente a las paredes y se les debe poner una toma de tierra lo más frecuentemente posible.



## CAPITULO III

# CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN ENLACE DE MICROONDAS



### **III.1 MÉTODO BÁSICO PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ENLACES DE MICROONDAS**

Cuando utilizamos las microondas para crear un medio de transmisión, es necesario considerar un enlace completo formado de muchos tramos, para cuya construcción es necesario el conocimiento de otras técnicas.

Al hacer un enlace de microondas debemos fijar, principalmente, para que fines se va a crear, que calidad es necesaria, cuál es el grado de confiabilidad requerida y escoger el enlace más adecuado, para que la construcción y mantenimiento resulten lo más económico posible. Si mostramos en una tabla los pasos de diseño y las obras de construcción de los enlaces obtendremos una tabla similar a la III.1.

Generalmente, el diseño del sistema y el diseño de propagación se refieren al diseño del enlace. La parte relacionada con la propagación de microondas queda comprendida en el diseño de propagación y el resto queda incluido en el diseño del sistema; sin embargo, no podemos considerar las dos partes separadas ya que guardan una estrecha relación entre sí.

### **III.2 ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE MICROONDAS**

#### **DISEÑO DEL SISTEMA**

Es difícil pensar en el diseño del sistema separado del diseño de propagación; sin embargo se considerará independiente:

- a) Dimensión de transmisión.- La comunicación de microondas es utilizada en muy diversos ramos, de ahí que sean muy diferentes la calidad y el grado de confiabilidad requeridos en cada uno de ellos. La finalidad de la comunicación es transmitir con fidelidad la señal original, en las diferentes formas utilizadas para cada objetivo (televisión, telefonía, etc.).

<b>1</b>	<b>OBJETIVO PARA LA CREACIÓN DEL ENLACE</b>	
	A	Objetivo de utilización
	B	Número de Canales
	C	Calidad
	D	Grado de Confiabilidad
<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL ENLACE</b>	
	A	Diseño del sistema
		a). Dimensión de Transmisión
		b). Tipo de retransmisión
		c). Tipo de Comunicación
		d). Tipo de modulación
	B	Diseño de Propagación
		a). Ruta de enlace
		b). Localización de estación
		c). Tipo de Antena y polarización utilizada
		d). Característica de propagación en las trayectorias
		e). Método para reducir desvanecimientos
		f). Interferencia de ondas
<b>3</b>	<b>DISEÑO DE OBRA</b>	
		Edificio para la estación
		Tipo de torre
		Distribución de los equipos
		Plano para la instalación eléctrica
		Método de construcción
<b>4</b>	<b>PRUEBA</b>	
	A	Equipo
	B	Estación total
	C	Región
	D	Enlace total

**Tabla III.1 Orden de construcción del enlace de microondas**

Para obtener el objetivo de la comunicación, en forma económica, es necesario pensar en el grado mínimo necesario de los caracteres requeridos en el enlace y aumentarle el valor de la dimensión del margen adecuado realizado así, el diseño del enlace es más práctico. Para determinar la calidad del medio de transmisión de los diferentes ramos, encontraremos diversos métodos; sin embargo, dentro de la determinación de calidad, lo que esta íntimamente relacionado con el diseño de propagación es la relación S/N que tiene el mayor grado de importancia entre todos los componentes.

El grado de confiabilidad de un enlace se expresa en porcentaje de tiempo, que resulta de la relación entre el tiempo de uso y calidad estimados, y representa el tiempo asegurado de la calidad. El valor de porcentaje variará según los usos a que se destinen.

Entre las causas que determinan el grado de confiabilidad de los enlaces inalámbricos encontramos las fallas del equipo transmisor y receptor, el descenso de la relación S/N y rotura del enlace por la aparición de desvanecimientos.

Por esto es necesario que se fije el grado de confiabilidad deseado en el mes que, en el transcurso del año, registre el mayor grado de desvanecimientos por ejemplo, si expresamos en dimensiones el grado de confiabilidad, 99% del primer mes del año debe ser igual a 45 dB o mayor de S/N.

Sin embargo, aún cuando este asegurado el grado de confiabilidad de S/N requerido en el mes, cuando es frecuente la aparición de roturas que originan descensos en el nivel de " threshold " del receptor, y la existencia de estas roturas representan un problema en el enlace utilizado, no basta con fijar el grado de confiabilidad de S/N de un lapso largo de tiempo, si no fijar además la secuencia y frecuencia de las roturas para obtener la calidad y el grado de confiabilidad requeridos.

La calidad, el grado de confiabilidad, la distancia total y el número de canales de un enlace representan los requerimientos necesarios para construir un enlace que llene las condiciones eléctricas de un medio de transmisión, fijadas por las dimensiones de la transmisión.

En general, la calidad de un medio de transmisión está determinada por el ancho de la banda de transmisión, las características de frecuencia de transmisión, la linealidad, el volumen de ruido, las propiedades de transmisión de los pulsos y el grado del nivel de estabilidad. Entre estos, el ruido es una de las causas más problemáticas en los enlaces de microondas. A continuación aparecen clasificados por su forma, carácter y causas que lo originan, en la tabla III.2.

<b>RUIDO INTERIOR</b>	
A	Ruido térmico
B	Ruido por cruzamiento de líneas
C	Ruido de intermodulación
	A). Distorsión de no-linealidad (Modulador, Demodulador)
	B). Distorsión de retardo (Equipo, propagación de dispersión)
	C). Distorsión de eco (Guía de onda, Reflexión de la Onda)
<b>RUIDO EXTERIOR</b>	
A	Ruido de encendido (Chispa de coche, soldadura)
B	Ruido Cósmico
C	Ruido de estática (Chispa de trueno)
D	Ruido de Interferencia
	Interferencia con la misma frecuencia
	Interferencia con la frecuencia de imagen
	Interferencia con la frecuencia cercana
	Interferencia con la frecuencia superflua

Tabla III.2 Clasificación general del ruido

En la banda de los microondas, el ruido de encendido, el ruido cósmico y el ruido de estática no representan ningún problema, y los ruidos por cruzamiento de líneas son previsibles en el método de diseño; por lo que en la práctica sólo el ruido térmico, el ruido de intermodulación y el ruido por interferencia presentan graves problemas.

Para demostrar claramente la relación entre las dimensiones de transmisión y la estructura del enlace, la CCIR y la CCITT (UIT) recomiendan un valor de ruido permitido en un circuito de referencia de 2500 Km.; estos valores son internacionalmente utilizados.

En general, cuando se aplican los valores anteriores a un enlace de larga distancia se distribuye el valor del ruido térmico, del ruido de distorsión y del ruido por interferencia permitidos entre las diferentes partes del enlace, procurando diseñar cada una de estas partes de manera que no sobrepase los límites marcados, obteniéndose así, en el enlace total, un porcentaje menor de ruidos.

- b) Tipo de comunicación y tipo de retransmisión.- En los tipos de comunicación que utiliza el microondas, se encuentran muchas combinaciones según las señales que se transmiten y el tipo de modulación utilizado para la transmisión.

En los tipos de relevo utilizado para renovar la pérdida de energía de propagación de las ondas, existen los tipos que se muestran en la tabla III.3. La determinación del tipo de comunicación y el tipo de relevo guardan una íntima relación con el diseño de propagación.

- c) Equipos utilizados.- La distribución del ruido entre los enlaces de microondas, está formada por dos elementos principales: volumen de ruido correspondiente al equipo y el volumen de ruido correspondiente a la trayectoria de propagación; estos están íntimamente relacionados, por lo cual es necesariamente diseñarlos conjuntamente.

Relevo de detección	}	Relevo activo
Relevo de vídeo		
Relevo heterodino		
Relevo directo		
Relevo por reflector	}	Relevo pasivo

Tabla III.3 Tipos de relevo

#### I.- Diseño de propagación.-

En la realización de enlaces de microondas, el diseño de propagación es tan importante como el diseño del sistema.

Principales incisos en el diseño de propagación:

- Determinación de la ruta de transmisión.
- Selección de la localización de las estaciones planeadas.
- Averiguación de las características de propagación general de cada tramo de transmisión y características de propagación del enlace total.
- Averiguación de la interferencia de microondas.
- Averiguación de los desvanecimientos.

La selección adecuada de la ruta y de las localizaciones de las estaciones no sólo influye en la calidad del enlace, sino también en el costo de las obras y del mantenimiento.

Las características de propagación de cada tramo y del enlace total, y el grado de interferencia de las ondas, determinan directamente la calidad del enlace. Además, la estimación y contra - método de la aparición de los desvanecimientos son los elementos principales en la determinación del grado de confiabilidad del enlace.

En el diseño de propagación se deben satisfacer las condiciones necesarias del diseño del enlace en el momento, pero también es necesario hacer un proyecto futuro con las condiciones que se puedan prever. Se pueden dividir en dos tipos de trabajo el diseño de propagación:

- El primero es la averiguación del carácter eléctrico. Este es un trabajo necesario para la construcción de enlaces que satisfagan cierto grado de confiabilidad y de calidad requeridos.
- El segundo tipo de trabajo es el de la investigación de las condiciones económicas, tanto de las obras de construcción como de mantenimiento del enlace.

Desde otro punto de vista se puede dividir el trabajo real de diseño de propagación en:

- Averiguación de las características de propagación sobre cartas de nivel (trabajo de escritorio).
- Averiguación de las condiciones sobre el terreno real, para saber si es factible la construcción y el mantenimiento, así como averiguar los problemas que se puedan originar por las características de propagación.



### **III.3 SOFTWARE PATHLOSS**

El pathloss es un programa diseñado especialmente para hacer los cálculos necesarios que se necesitan para determinar la viabilidad de implementar un enlace de microondas entre dos puntos y de ser así también nos mostraría que tan confiable sería el sistema en condiciones reales de operación.

Es importante mencionar que en la actualidad la mayoría de las empresas que contrata este tipo de servicio para solicitar un estudio de línea de vista exige que los cálculos del enlace sean hechos mediante este programa en particular de ahí la importancia de mencionar a continuación la organización (de manera general) de este programa.

#### **➤ Organización del Programa**

El programa se organiza en 10 módulos los cuales son:

- Resumen
- Datos del terreno
- Altura de antenas
- Tablas de cálculo
- Difracción
- Reflexiones
- Multitrayectorias
- Imprimir perfil
- Network
- Cobertura

A estos módulos se tienen acceso desde la barra de menú en la opción precisamente de Módulo (fig. III.1 a). En particular los módulos de Resumen, Alturas de Antenas y Tablas de calculo tienen la opción de hacer los cálculos para enlaces de microondas o para VHF-UHF por lo que al estar introduciendo los datos al programa se debe tener cuidado de seleccionar correctamente la modalidad en la frecuencia. Para este caso en particular sólo se analizara para el modo de enlaces de microondas.

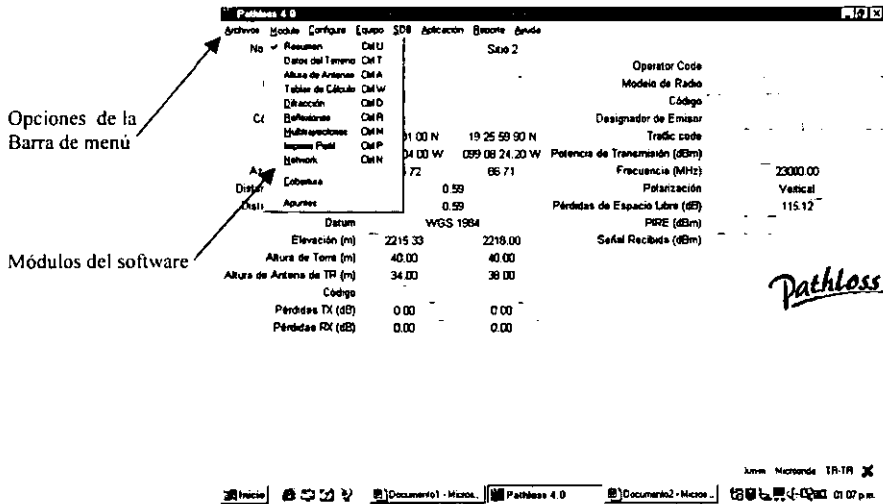


Figura III.1 a) Pantalla principal y menú de los módulos componentes del Software (Pathloss)

A continuación se describen brevemente cada uno de los diez módulos antes mencionados:

### I. – Módulo de Resumen

Es la pantalla automática que despliega el programa al iniciarlo. En el se da una entrada central de los datos que serán ejecutados por la aplicación dando datos específicos de sitios que serán utilizados para la ejecución del programa. El módulo Resumen es la interfaz a la base de datos del sitio. Los cálculos de interferencia que usa la base de datos del sitio se hacen en este módulo (fig. III.1 b).

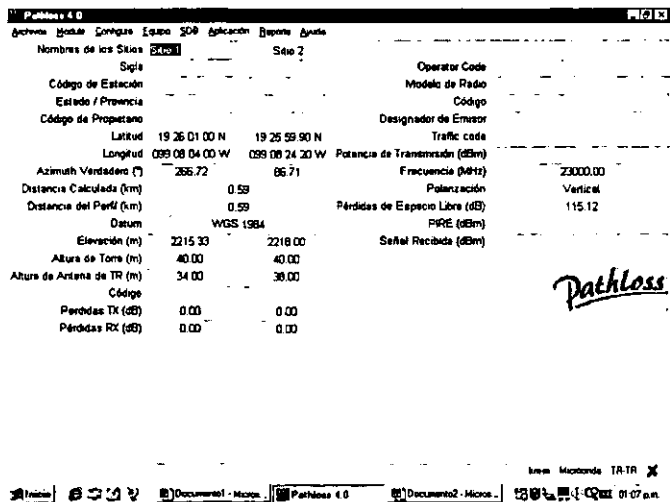
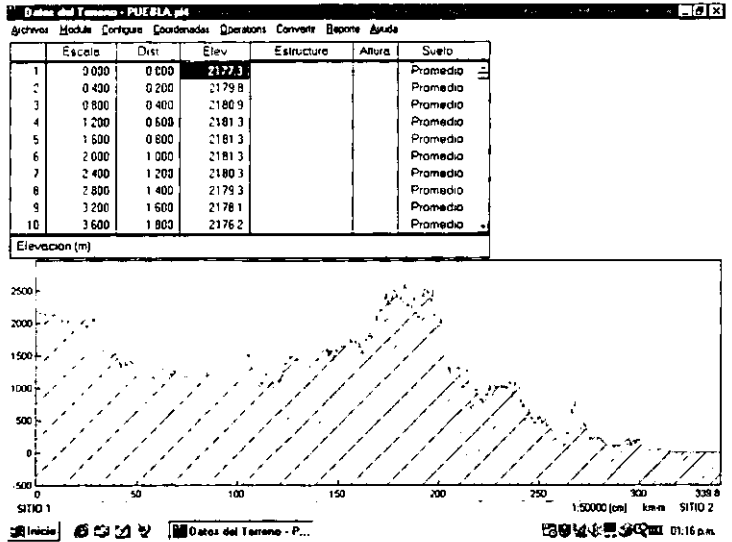


Figura III.1 b) Pantalla del Módulo Resumen

II.- Módulo para introducir los Datos del Terreno

El módulo de Datos del Terreno se usa para crear/editar un perfil de trayectoria que usa como entrada un manual de datos, mapas digitalizados o una base de datos del terreno (fig. III.1 c).

Fig. III.1 c) Pantalla del Módulo Datos del Terreno



### III.- Módulo de Alturas de Antenas

Dos formatos de hoja de trabajo se proveen. El módulo de Alturas de Antena, calcula las alturas de antena que satisfacen un conjunto de criterios de autorización (fig. III.1 d).

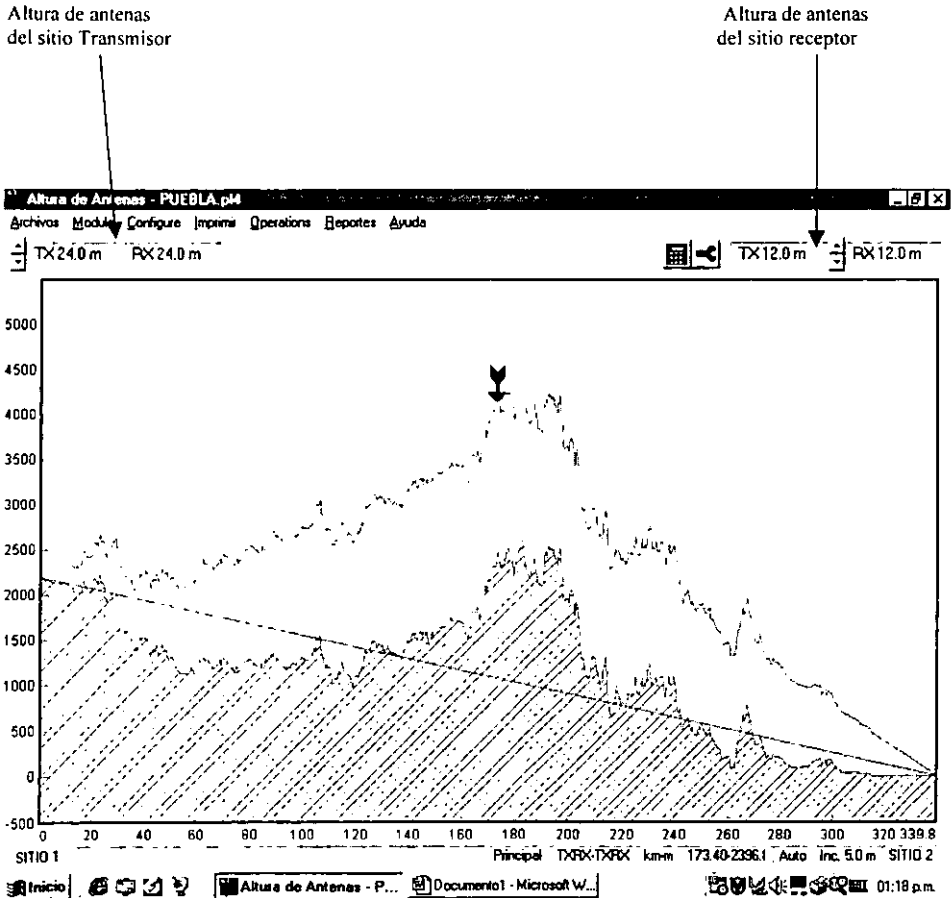


Figura III.1 d) Pantalla del Módulo Altura de Antenas

IV.- Módulo para las tablas de cálculo

Dos formatos de hoja de trabajo se proveen para la microonda y aplicaciones de VHF-UHF. Para tener acceso a esta aplicación se selecciona módulo y se da un click en la opción tablas de cálculo. La hoja de trabajo que aquí se provee permite la entrada detallada de datos que conforman los parámetros de trayectoria y equipo requeridos para cálculos de transmisión. Multipath (multienlace), lluvia y confiabilidad de propagación así como la atenuación, se calculan en la hoja de trabajo de la opción para microondas (fig. III.1 e).

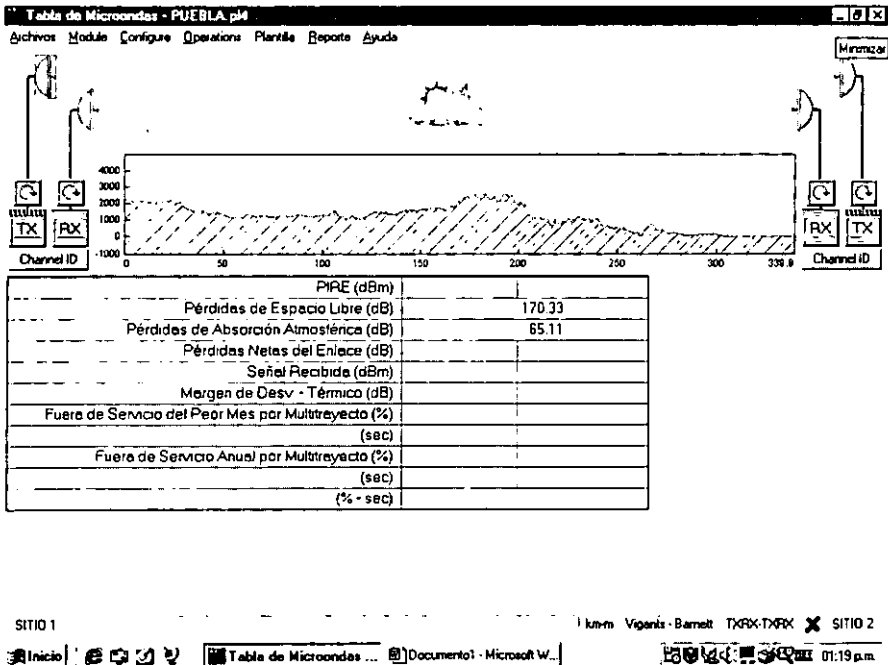


Figura III.1 e) Pantalla del Módulo hoja de cálculo para Microondas

V.- Módulo de la Difracción

El módulo de Difracción se usa para calcular la difracción y pérdida del enlace esparcido, la pérdida sobre trayectorias de interferencia y transmisión. La pérdida de difracción como una función de alturas de antena, el factor de radio de tierra y frecuencia puede también ser calculados aquí (fig. III.1 f).

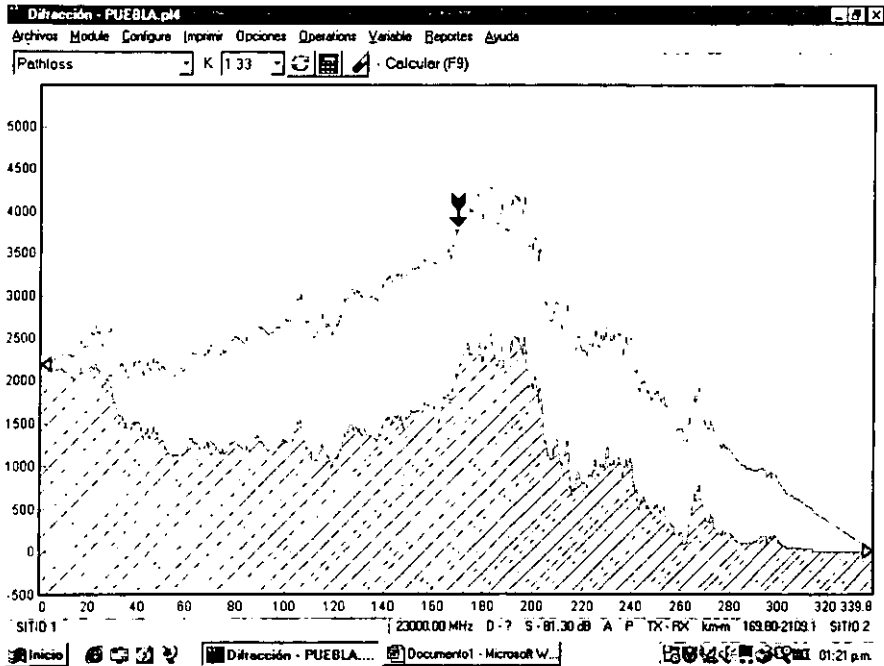


Figura III.1 f) Pantalla del Módulo Difracción

VI.- Módulo de Reflexión

El módulo de Reflexión analiza los efectos de un elemento que refleja la señal existente en la trayectoria del enlace. El análisis es con base en un patrón ya definido (fig.III.1 g).

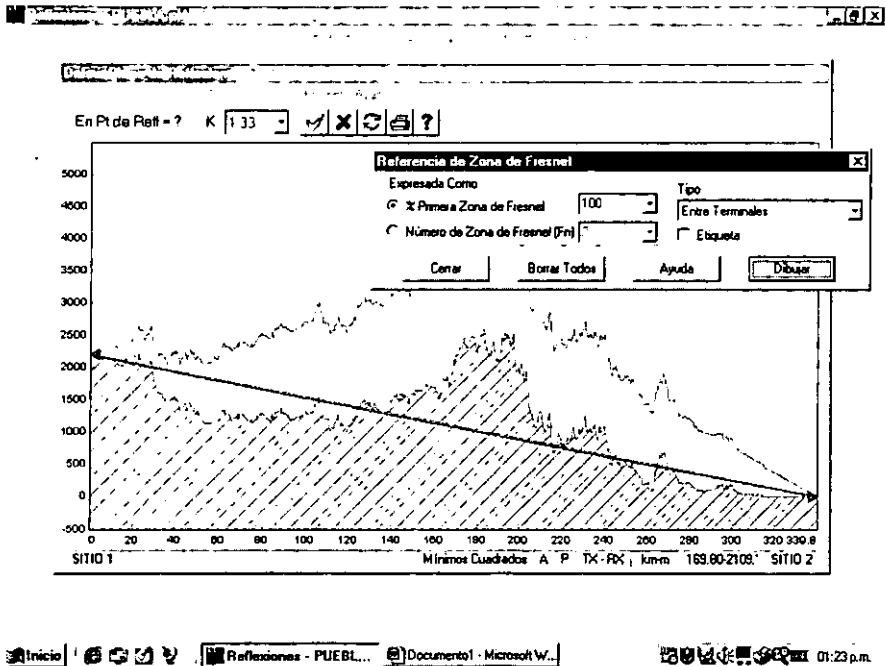


Figura III.1 g) Pantalla del Módulo de Reflexión



### VII.- Módulo de Multitrayectorias

En el módulo de Multitrayectorias se traza un rayo mediante técnicas precargadas en el software del programa (que simula la propagación de la señal a través del medio), que determinaran las características reflexivas de una trayectoria usando una constante o variable de gradiente de reflexión (fig.III.1 h).

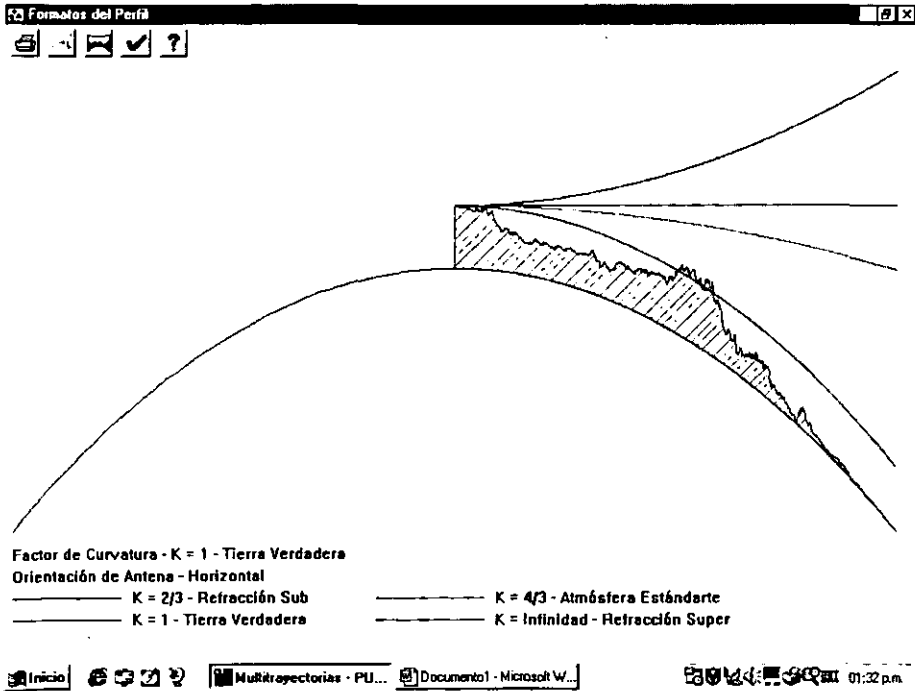


Figura III.1 h) Pantalla del Módulo de Multitrayectorias

### VIII.- Módulo para Imprimir Perfil

Imprimir el Perfil, usa una variedad de formatos los cuales están predefinidos en este módulo y aquí es donde se da la vista y datos generales de cada sitio respecto al enlace (fig.III.1 i).

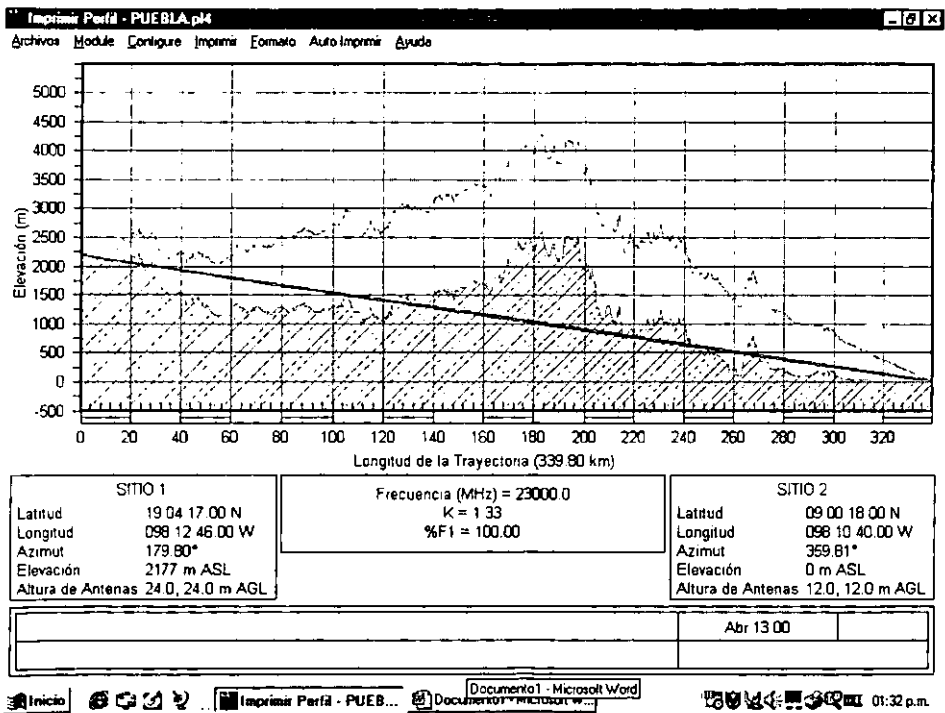


Figura III.1 i) Pantalla de la Impresión de Perfil

### IX.- Módulo de Red

El módulo de Red provee una representación gráfica de una red de sitios. Cada nexa en la red contiene una referencia a su Perfil de enlace. Cualquiera de los módulos de diseño pueden tener acceso para la trayectoria selecta desde el módulo de Red. Los cálculos de interferencia interna de cada sistema se hacen en el módulo de red (fig. III.1 j).

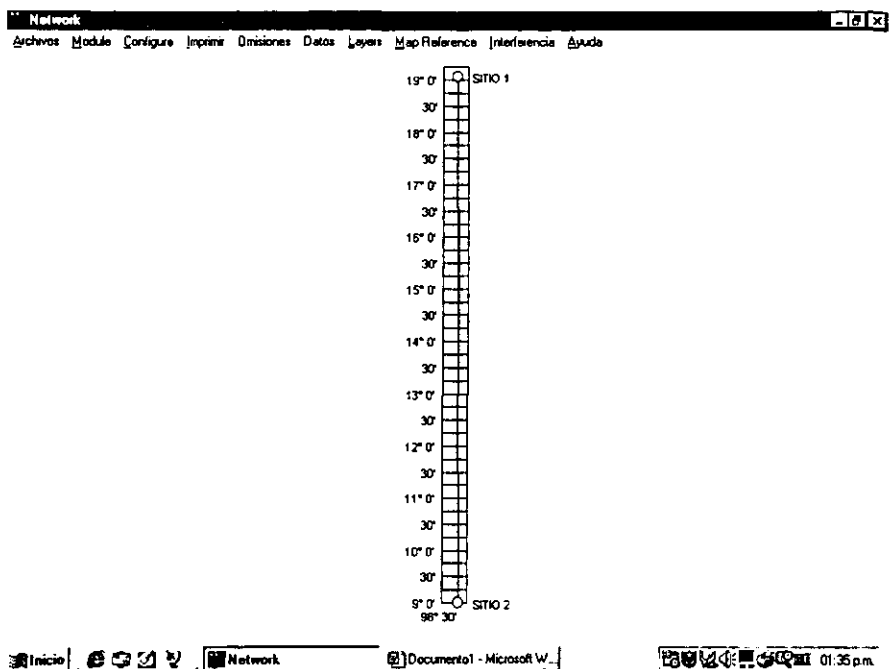


Figura III.1 j) Pantalla del Módulo Red

X.- Módulo de Cobertura.

La Señal de Cobertura y la cobertura de línea de vista se calculan en este módulo. Estos pueden importarse del módulo de Red para multi-análisis de sitio (fig. III.1 k).

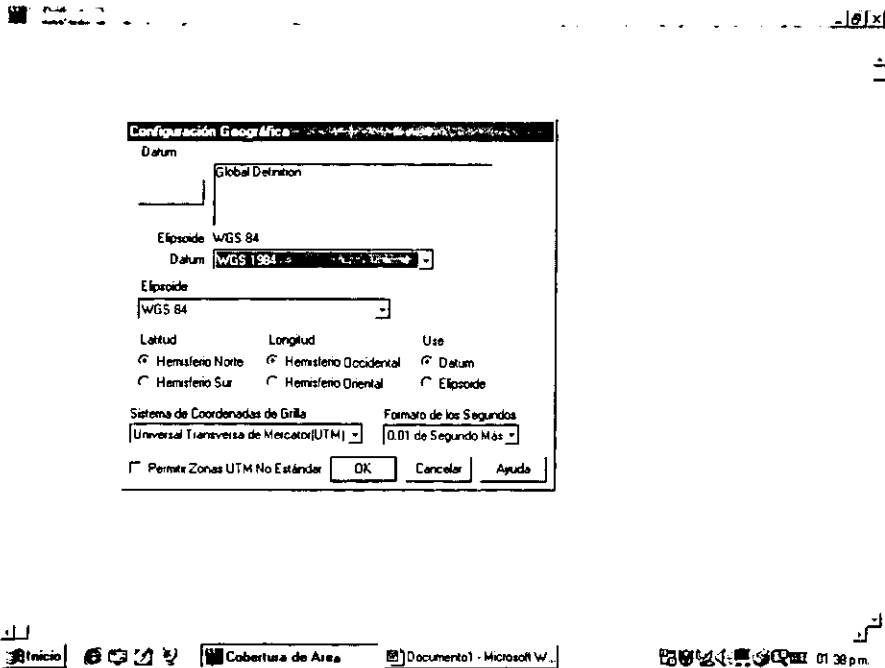


Figura III.1 k) Pantalla de Configuración de Cobertura

➤ **Datos generales de configuración del Software (Pathloss)**

- El perfil de terreno.

Debe de existir para tener acceso a los datos de las Alturas de Antenas, Difracción, Reflexión y Multitrayectorias.

- La Configuración de Antena - Microonda.

Todos los cálculos y el análisis en el programa son con base en una configuración de antena. La terminología siguiente describe el uso de antenas en aplicaciones de microonda (el cual es nuestro caso).

**TR** la antena se usa para transmitir y recibir.

**RX** la antena se usa solo para recibir.

**DR** la antena se usa solo para recibir, en una configuración de Diversidad.

**TH** la antena se usa para transmitir y recibir en una configuración de diversidad híbrida.

Estos tipos de antena se combinan en las configuraciones de antena como se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 1. Configuración de Antenas para Aplicaciones de Microonda

<b>TR-TR</b>	Una sola antena es usada en cada sitio para transmitir y recibir.
<b>TRDR-TRDR</b>	Dos antenas se usan en cada sitio en un espacio de configuración de diversidad. La antena TR se usa para transmitir y recibir. La antena DR es la antena dedicada para recibir la diversidad.
<b>TXRX-TXRX</b>	Dos antenas son usadas en cada sitio una para transmitir (TX) y otra para recibir (RX)
<b>TXRXDR - TXRXDR</b>	Tres antenas son usadas, una en cada sitio, una para transmitir (TX), una para recibir (RX) y otra recibe la diversidad (DR).
<b>TR-TRTHTRTH-TR</b>	Esta es una configuración de diversidad híbrida que usa diversidad de frecuencias en ambas direcciones y el espacio para la diversidad en un de fin de la trayectoria en el sitio final de cada antena TR y TH transmite y recibe un par de las frecuencias. Las dos configuraciones determinan el sitio que esta equipado con el espacio para la diversidad.

Tabla 2.

Tabla de Configuraciones de Antena para Aplicaciones de Microonda

<b>TX-RXR- TX</b>	Transmite en uno de los sitios y recibe el otro. Las dos configuraciones identifican a los que transmiten y reciben en los sitios.
<b>TX-RXDRRXDR- TX</b>	Transmite en uno de los sitios y recibe la diversidad en el otro. Las dos configuraciones identifican los sitios que transmiten y reciben en cada sitio.

### Seleccionar Configuración

La Configuración de antenas proveniente del menú del software (Pathloss), puede cambiarse si las que aparecen no van de acuerdo con lo que se va a trabajar, excluyendo de esta manera las que vienen cargadas en el software. Si alguna de las configuraciones de antenas que se muestra sobre la barra de condición, es la que se requiere, tan sólo para seleccionarla, dar click con el botón izquierdo del ratón y automáticamente trabajara con esa configuración.

- Datos Geográficos

Seleccionar Configurar para tener acceso a los Datos Geográficos del Pathloss del menú que se mostrara en el cuadro de dialogo (fig.III.11).

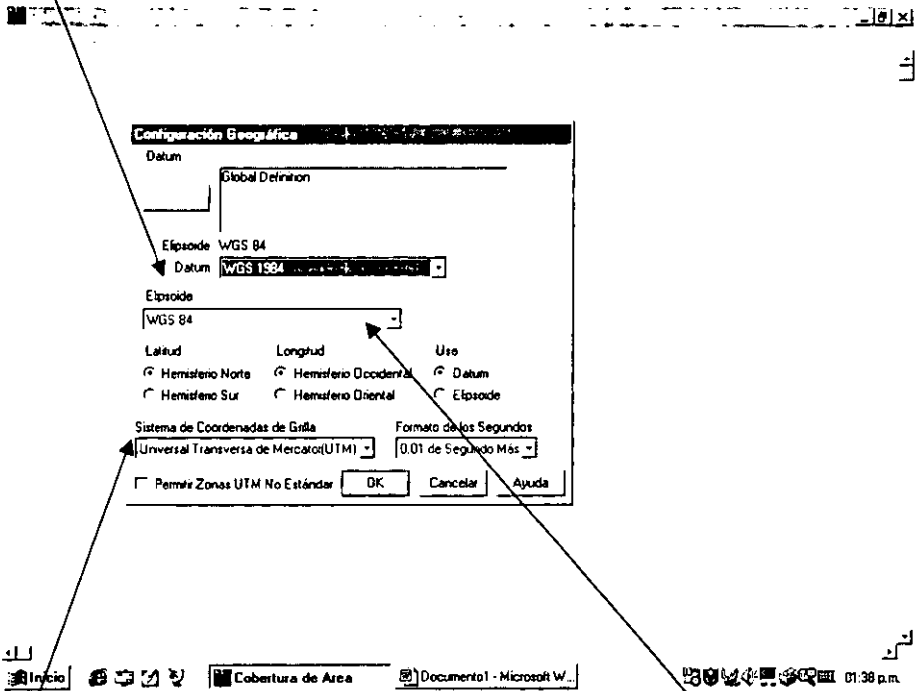
#### Use Dato o Elipsoide

Un elipsoide es definido por su eje mayor y el eje menor. Estas se usan para calcular distancia y azimuths (orientaciones) desde las coordenadas geográficas y para convertir coordenadas geográficas a coordenadas de rejilla tal como UTM. Un dato define el plano horizontal de medida. Cada dato es con base en un elipsoide, y contiene los factores medidos de corrección para permitir coordenadas geográficas definidas en un dato que puede ser transformado en otro.

En la mayoría de los casos, la opción " Usar dato" deberá seleccionarse. Esto permitirá la transformación semejante entre datos (por ej. de NAD-27 a NAD-84). Esto es importante cuando se usan bases de datos de terreno con un dato horizontal diferente al de los mapas topográficos. Un ejemplo típico es una base de datos de terreno que usa el dato WGS-84 especificada en el programa, si las coordenadas de sitio y los datos se referenciaron conforme a la base de datos NAD-27 y el usuario ha especificado el NAD-27 de dato, entonces las coordenadas de sitio se transformarán automáticamente a WGS-84 para generar el perfil.



Selección de Dato



Selección de grilla

Selección de dato

Figura III.1 b) Pantalla de configuración de datos geográficos

### El " Uso de Elipsoide"

Esta opción es requerida para manejar mapas especiales de ciertas regiones. Un ejemplo de esto es Suiza, que generalmente usa el Dato Europeo de 1950. Este dato usa el elipsoide Internacional (1924). El sistema Suizo es semejante pero usa el elipsoide Bessel 1841. En este caso, la opción "Uso de Elipsoide" deberá usarse para no tener una variación en nuestros datos.

### La Selección de Dato

Primero se selecciona el dato y entonces se selecciona la región específica para el dato. El requerimiento para la selección de región es necesario porque no hay ecuación general para transformar coordenadas desde un dato a otro. La transformación usa datos para determinar las nuevas coordenadas. La avería de regiones dentro de un dato es un compromiso entre la exactitud de transformación y el número de regiones. Al realizar esto se debe notar que una selección de dato automáticamente define el elipsoide.

### La Selección Elipsoide

Si la opción "Usar el Elipsoide" se ha verificado, entonces seleccionar el elipsoide específico desde la lista predeterminada por el programa (Pathloss).

### El Sistema Semejante de Rejilla

Un sistema semejante de rejilla representa el método más simple de tomar coordenadas desde un mapa topográfico y garantiza un alto grado de confiabilidad. Los siguientes sistemas semejantes de rejilla son en los que actualmente se está apoyando:

UTM

Gauss conformal (Sudáfrica)

La rejilla de Nueva Zelanda

La Rejilla Suiza

### Referencias de las zonas de Fresnel.

Las referencias de las zonas de Fresnel son una parte esencial de cualquier análisis de perfil de terreno. En el perfil se muestran, y se tiene acceso desde la barra de menú o con la tecla F2 (fig.III.1 m).

La referencia de la zona de Fresnel puede ser expresada como un porcentaje de la primera zona de Fresnel referenciada o como un número de Fresnel (p. ej.  $F2 = 1.414 F1$ ).

Algunas referencias de zonas de Fresnel son tomadas sobre la línea vista de trayectorias, las referencias de las zonas de Fresnel se sacan siempre de un punto a otro. Sobre trayectorias obstruidas, una representación más significativa se logra sacando la zona de Fresnel entre los horizontes.

Si un plano reflectivo ha sido definido, las zonas de Fresnel pueden ser dibujadas para el punto de reflexión. Esto provee una representación visual del área a lo largo del perfil requerido que apoye una posible reflexión.

No hay límite para el número de zonas de Fresnel de referencia. Cada pantalla de diseño mantiene su lista propia de zonas de Fresnel de referencias y estos se guardan con los datos del archivo.

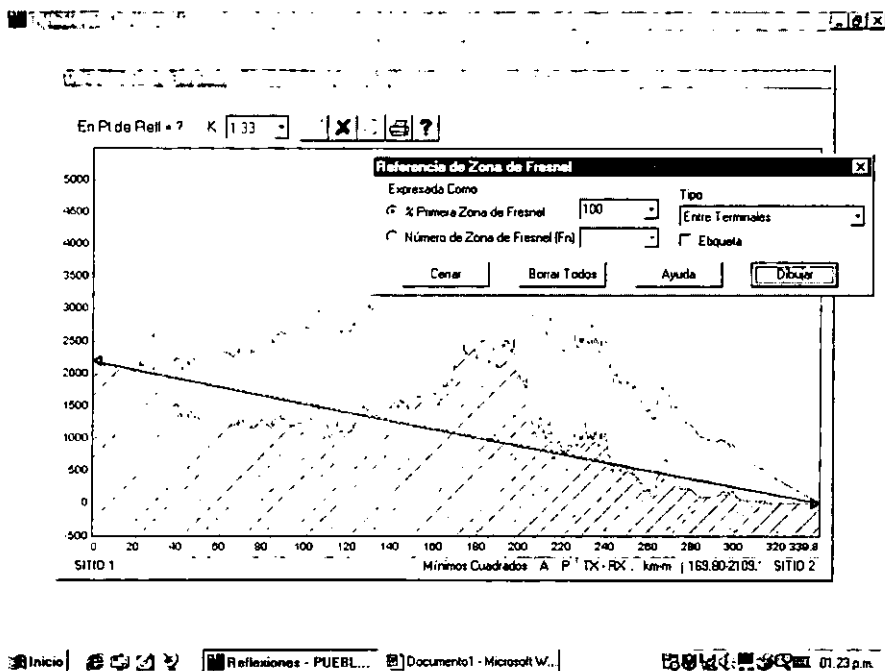


Figura III.1 m) Pantalla de configuración de las zonas de Fresnel

Averiguación respecto a los desvanecimientos:

Los desvanecimientos tipo Reyleigh producen grandes variaciones en la potencia de entrada del receptor empeorando la relación S/N, provocando roturas del enlace, y roturas en el silenciador (squelch) del receptor.

Para determinar la aceptabilidad del enlace, se deben calcular tanto el número como la duración de los desvanecimientos en cada tramo o en el enlace total.

### III.4 TRABAJO DE ESCRITORIO PARA EL DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS CON EL APOYO DEL SOFTWARE PATHLOSS (versión 3.0 o 4.0)

#### I.- Selección de la ruta de enlace:

Dentro del trabajo de escritorio es muy importante la determinación de los puntos por donde pasará la ruta de enlace, ya que guarda íntima relación no sólo con el diseño de propagación, sino con el diseño del sistema y otros elementos, por lo que la determinación de estos puntos debe tomarse en cuenta. En primer término, se hace una selección general de algunos anteproyectos de rutas sobre carta de niveles de mas o menos  $\frac{1}{2} \times 10^{-5}$ .

Una vez seleccionados los anteproyectos de rutas, se hacen los perfiles de las trayectorias de propagación de cada región de cada una de las rutas, en carta de nivel de mas o menos  $1/5 \times 10^{-4}$ , averiguando en estos la relación de las trayectorias de los obstáculos. En caso necesario, se utilizan cartas a mayor escala o fotografías aéreas, etc.

#### II.- Averiguación del carácter de propagación de cada tramo del enlace:

Una vez seleccionados cada uno de los tramos del enlace, se realizan las averiguaciones de las características de propagación de las ondas de microondas.

A continuación se muestra el método que se sigue en la práctica, en las cartas siguientes:

CARTA NUMERO I

<b>CONCEPTOS</b>		<b>ESTACIÓN</b>	
Antena		Clasificación	
		Ganancia	
Guía de onda		Clasificación	
		Longitud	
		Pérdida	
Pérdida del filtro de derivación			
Potencia de salida del transmisor			
Potencia de entrada del receptor			
Ruido térmico		dB	
		P watt	

CARTA NUMERO 2

CONCEPTOS	ESTACIÓN	
Altitud de la estación sobre el nivel del mar		
Altura de la antena sobre la superficie terrestre		
Coeficiente de reflexión real	Angulo vertical formado entre las ondas directas y las reflejadas	
	Pérdida de las ondas reflejadas a causa de la directividad de la antena	
	Pérdida de difracción de las ondas reflejadas en el obstáculo	
	Superficie de reflexión	Distancia
		Clasificación
		Pérdida
	Altitud	Pérdida
Total	Coeficiente	
Diferencia de la trayectoria entre las ondas directas y las reflejadas		
Distancia entre las dos estaciones (distancia del tramo)		
Pérdida de propagación en el espacio libre del tramo		
Libramiento en el obstáculo		
Otro		

### III.- Determinación de la dirección de la trayectoria de propagación:

Una vez determinada la ruta que se ha de seguir, es conveniente fijar la longitud y latitud (coordenadas) de la posición planeada de las estaciones, por cartas de nivel (fig. III.2), para facilitar el cálculo de la dirección de la trayectoria de propagación y la longitud de la trayectoria.

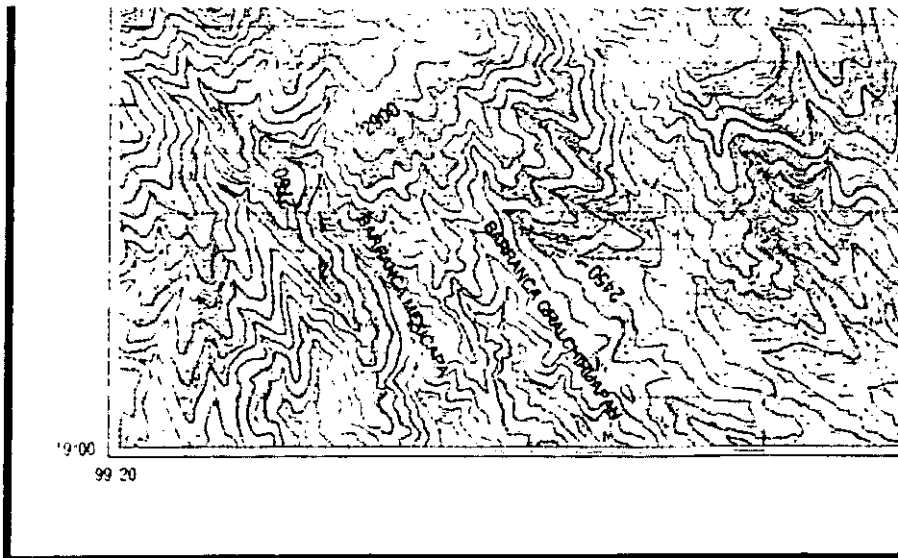


Fig. III.2 Latitud y Longitud en una carta topográfica ó de nivel



Para iniciar con el proceso de diseño actualmente se utiliza un software de apoyo de nombre **PATHLOSS**, con el cual primeramente una vez tomadas las coordenadas del lugar mediante las cartas topográficas, podremos ver la trayectoria del enlace y observar si esta obstruido o si esta libre de obstáculos, esto es posible ya que dicho programa está ligado a una base de datos geográfica del lugar con el cual sé esta trabajando.

Mediante este software se simplifican muchos cálculos matemáticos que anteriormente se tenían que realizar para determinar lo siguiente:

- Altura de torres.
- Altura de antenas.
- Orientación de un punto a otro (Azimuth).
- Distancia existente entre dos puntos.
- Pérdidas, etc.

Actualmente mediante este software se realiza gran parte del trabajo de escritorio el cual se requiere para realizar un enlace vía microondas, el usuario solo tiene que realizar el trabajo de campo necesario y proporcionarle los datos al software y este nos dará todos los datos que requerimos acerca del enlace.

### III.5 INVESTIGACIÓN DEL TERRENO REAL

#### I.- Bases de la investigación del terreno real

Una vez realizado el trabajo de escritorio del diseño de propagación y determinada la fijación de la ruta de la trayectoria del enlace, es necesario acudir al terreno real para investigar las condiciones reales de la ruta del enlace, así como las coordenadas, estas coordenadas las determinaremos por medio de un instrumento llamado GPS (Global Position System - Sistema de Posicionamiento Global), Fig. III.3.

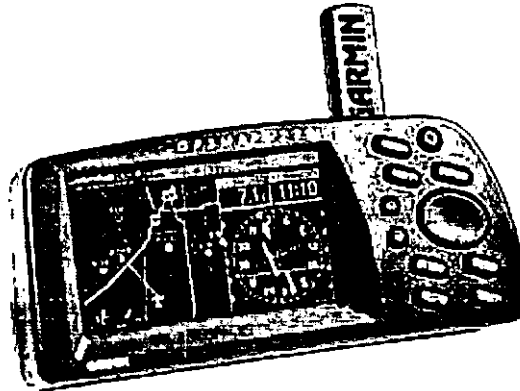


Figura III.3 Instrumento de medición de posición GPS

Dentro de esta investigación encontramos dos puntos básicos:

- a) Averiguación de los puntos problemáticos de carácter propagatorio que se pueden presentar en el trabajo de escritorio del diseño de propagación.
- b) Averiguación del terreno real del lugar donde se planea situar la estación.

II.- Averiguación de los puntos relacionados con el carácter preparatorio.

- Medición con aparatos topográficos, de la altura del lugar planeado para la estación, del obstáculo, etc.

La altitud de la posición planeada de la estación y la altura de los obstáculos son el dato básico más importante para muchos tipos de cálculos de las trayectorias de propagación.

Cuando en los cálculos de escritorio se estima que puede haber puntos problemáticos en lo que se refiere al punto de reflexión, al libramiento o a otros, los cálculos de la trayectoria de propagación se vuelven a realizar con los datos obtenidos mediante la medición real del lugar donde se planea poner las estaciones y donde se encuentran los obstáculos.

Para determinar la altura de un punto cuya altitud se desconoce, se recurre a la medición topográfica de su altura desde el punto más cercano cuya altitud sea conocida para nosotros, se saca la diferencia que se suma a la altitud del punto conocido.

El cálculo de la diferencia de altura entre dos puntos se realiza por métodos como la medición de tránsito, en que se utilizan medidores ópticos o bien por medio de alímetros de alta exactitud.

### III.6 INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL LUGAR PLANEADO PARA LA ESTACIÓN

I. - Terreno.

- a) Domicilio
- b) Propietario del terreno
- c) Altitud sobre el nivel del mar
- d) Latitud y longitud.- Generalmente se determinan sobre cartas de nivel; sin embargo, en ocasiones, se utilizan los métodos astronómicos para su fijación.
- e) Forma del terreno.- Es deseable que el terreno sea suficientemente plano y amplio para construir el edificio, la torre, etc.; sin embargo, no siempre es posible y es necesario como en los montes, realizar arreglos en el terreno. En estos casos se hacen estudios para estimar si es posible obtener un terreno de las dimensiones necesarias, cuántos metros es necesario rebajar el monte.
- f) Naturaleza del terreno.- El terreno debe tener los componentes necesarios para soportar las construcciones.
- g) Gases ofensivos.- En regiones volcánicas se originan gases sulfurosos, que dañan los equipos de transmisión de microondas.
- h) Flora y fauna dañinas.- Si cerca de la estación existen animales o plantas dañinas al hombre, que dificulten su construcción y su mantenimiento, es necesario incluir medidas de prevención.

- i) Condiciones de los alrededores.- Los grandes árboles y edificios que existen en los alrededores de la estación pueden ser obstáculos directos en la trayectoria, o bien los edificios cercanos a la trayectoria pueden reflejar las ondas y provocar interferencia; por esto es necesario realizar una averiguación de la propagación y de la dirección de los edificios, árboles, etc.

#### 2. - Edificio de la estación y torre.

La forma, la altura, el tipo, la posición, el área del edificio y de la torre se determinan con relación a las condiciones del terreno. Para esto, también es necesario tomar en cuenta los proyectos y necesidades futuras.

Al construir las estaciones y torres se debe pensar en la influencia que se puede ejercer a terceras personas.

#### 3. - Caminos y carreteras.

La existencia de caminos y carreteras es un factor importante para construir y mantener la estación. En caso de ser necesaria la construcción de estos se debe averiguar la distancia necesaria, la naturaleza del terreno, declives, la existencia de árboles, etc., de los lugares por donde se planea hacer el camino.

#### 4. - Meteorología.

La meteorología del lugar de la estación y sus cercanías tiene mucha relación con su construcción y su mantenimiento.

- a) Velocidad del viento.- La fortaleza y tipo del edificio y de la torre se determinan por la velocidad que alcanza el viento.
- b) Dirección del viento.- La dirección del viento determina la dirección del escape del generador de energía y de los orificios para los ventiladores.
- c) Temperatura.- En relación con la temperatura se determinan las instalaciones de refrigeración o calefacción necesarias para la protección de los equipos.

- d) Lluvia.- La cantidad de lluvia es factor determinante en el diseño de los caminos. En el diseño del enlace de las frecuencias de 7-8 GHZ o mayor, hay que tomar en cuenta las pérdidas a causa de la absorción de lluvia.
- e) Humedad.- La humedad, al igual que la temperatura, determina las condiciones de las instalaciones de protección de los equipos.

#### 5. - Energía eléctrica.

La energía eléctrica es indispensable para la construcción y el mantenimiento de la estación, por lo que se debe determinar si se consumirá luz pública o se creará un generador particular. En caso de consumir energía eléctrica pública, es necesario estimar la distancia y averiguar la frecuencia y el voltaje.

#### 6. - Otros.

Transporte de materiales para la construcción, método de depósito de los materiales, conocimientos sobre la existencia de problemas especiales de mantenimiento.

### III.7 PUESTA EN SERVICIO

#### ORDEN DE PUESTA EN SERVICIO DE UN ENLACE

Las operaciones de puesta en servicio descrito a continuación conciernen a un enlace constituidos por una estación A y una estación B. Incluye las siguientes etapas:

1. Instalación de la estación A con pre-orientación de la antena hacia la estación B.
2. Puesta en servicio de la estación A.
3. Instalación de la estación B, con pre-orientación de la antena hacia la estación A.
4. Puesta en servicio de la estación B con orientación de la antena y conexión de los afluentes y de los canales de servicio previstos.
5. Retorno a la estación A para realización de las siguientes operaciones:
  - Orientación final de la antena.
  - Realización del conjunto de los controles de puesta en servicio.
  - Verificación del enlace.
  - Conexión de los afluentes y de los canales de servicio.

### **III.8 INSTALACION DEL EQUIPO**

Orientar la antena de manera aproximada hacia la dirección de la estación distante, utilizando la marca TOP de este así como la brújula y el par de gemelos.

Montaje de la antena y el equipo de radio

- a) Instalación de la antena sobre el pole mounting (fig. III.4a).
- b) Instalación del acoplador (fig. III.4b) para el equipo de radio sobre el pole mounting sobre el mástil (fig. III.4c, III.4d).
- c) Instalación de los equipos de radio (fig. III.4e).
- d) Ajustes finales del equipo sobre el mástil de soporte (fig. III.4f).



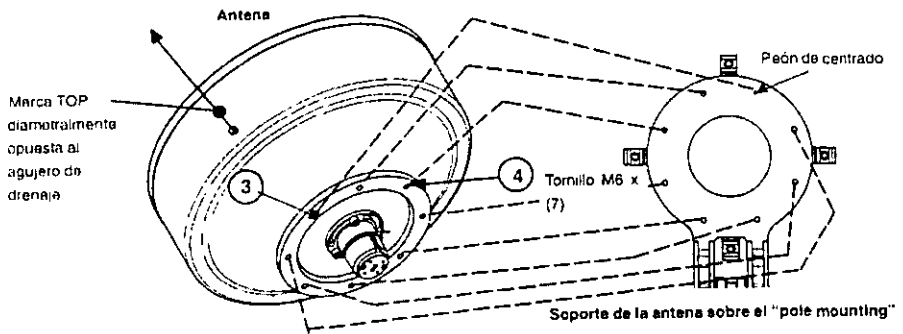
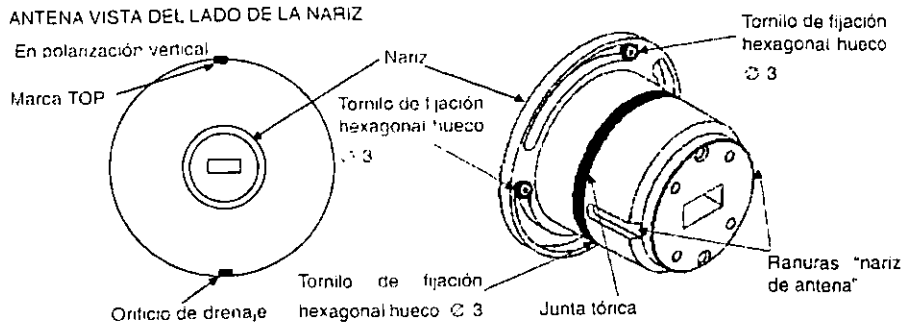
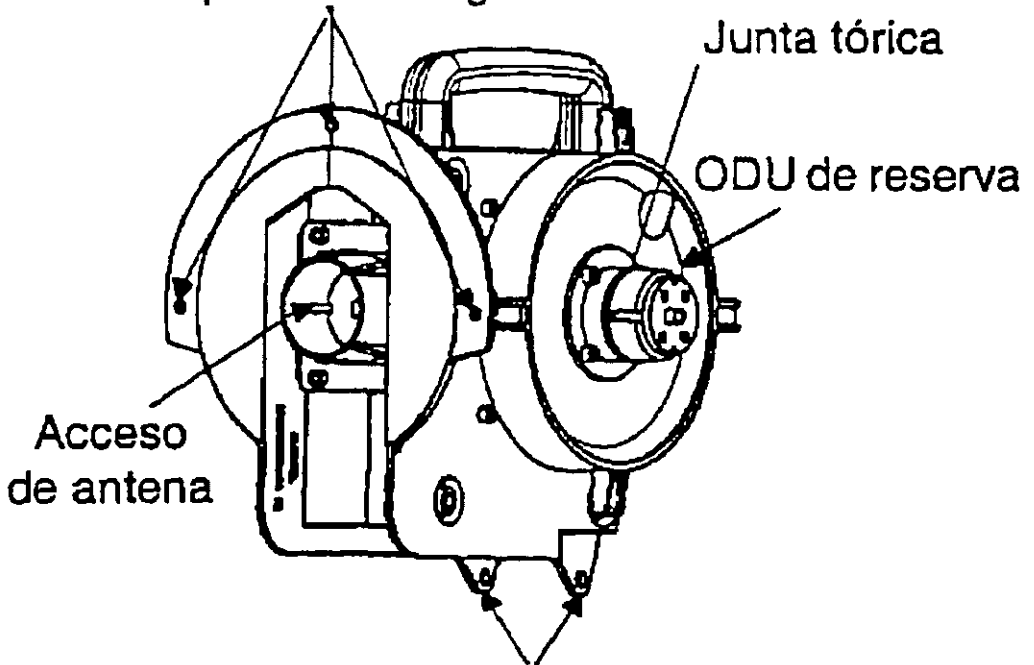


Figura III.4 a) Instalación de la antena sobre el pole mounting

Agujeros de fijación sobre la corona de soporte de radio o "pole mounting"



Agujeros de fijación lateral sobre el brazo del "pole mounting"

Figura III.4 b) Equipo acoplador para el radio y la antena

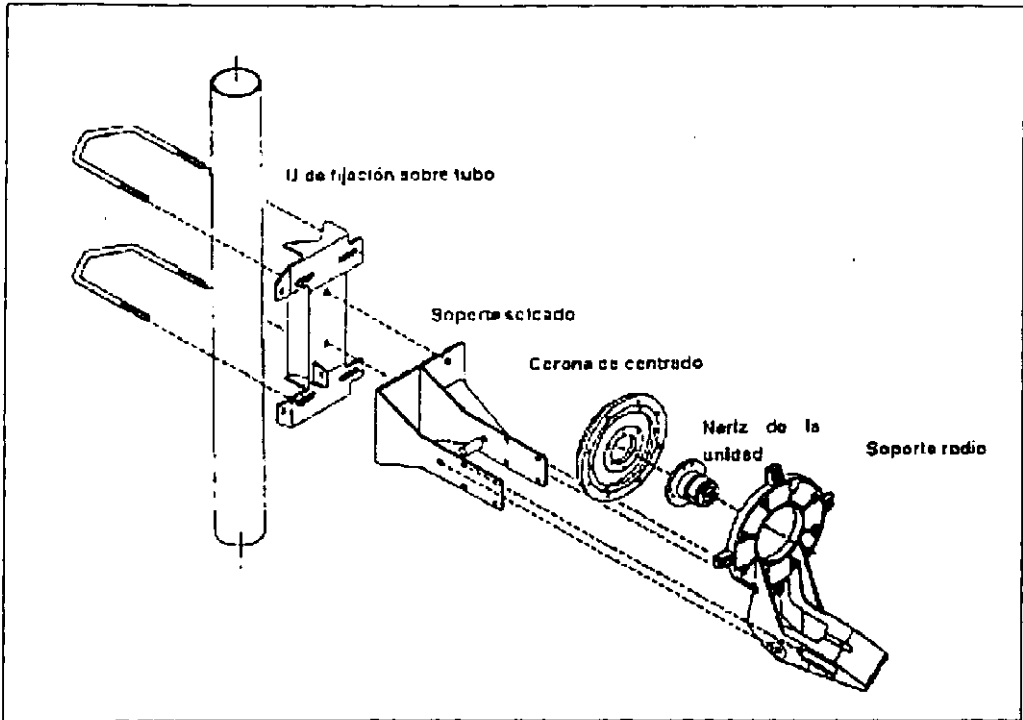


Figura III.4 c) Ensamblaje del pole mounting

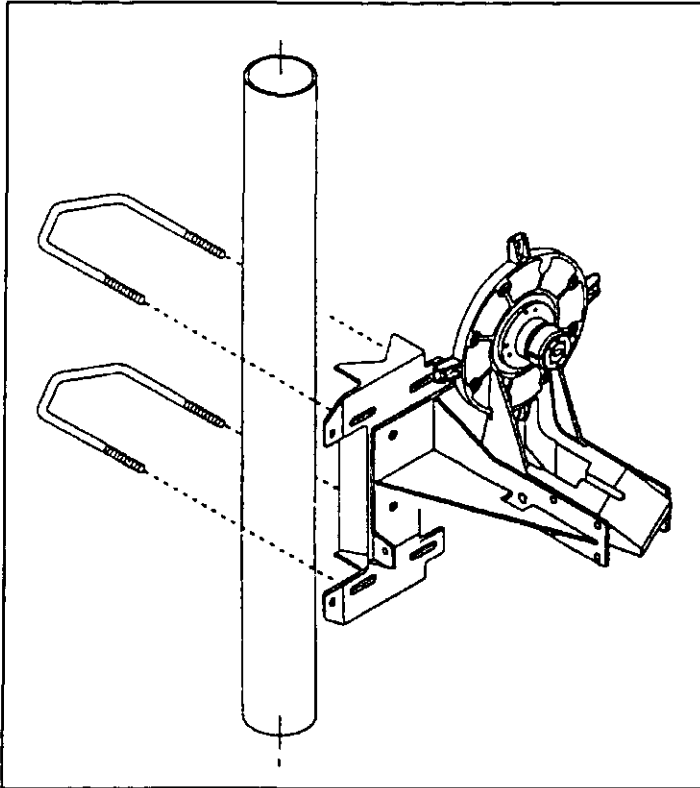


Figura III.4 d) Fijación del pole mounting sobre el mástil

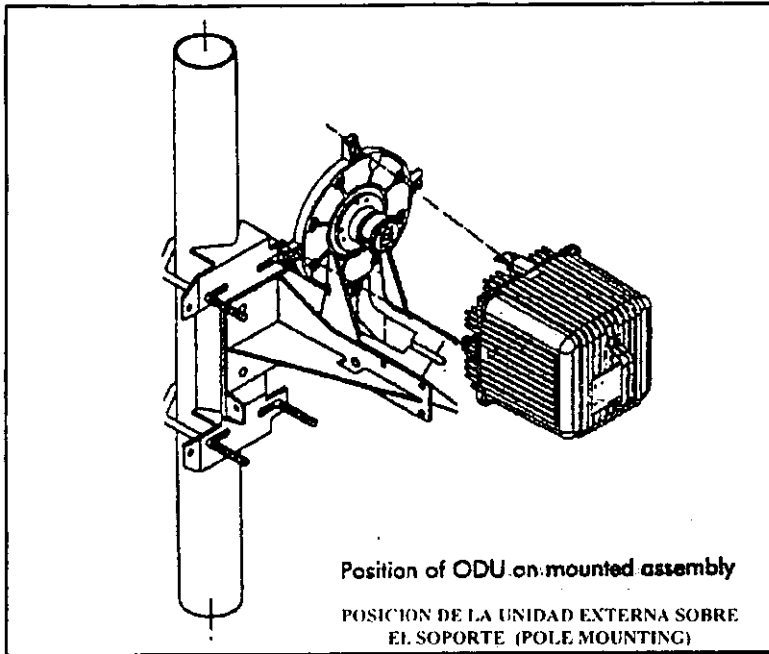


Figura III.4 e) - Instalación del equipo de radio sobre el pole mounting (soporte)

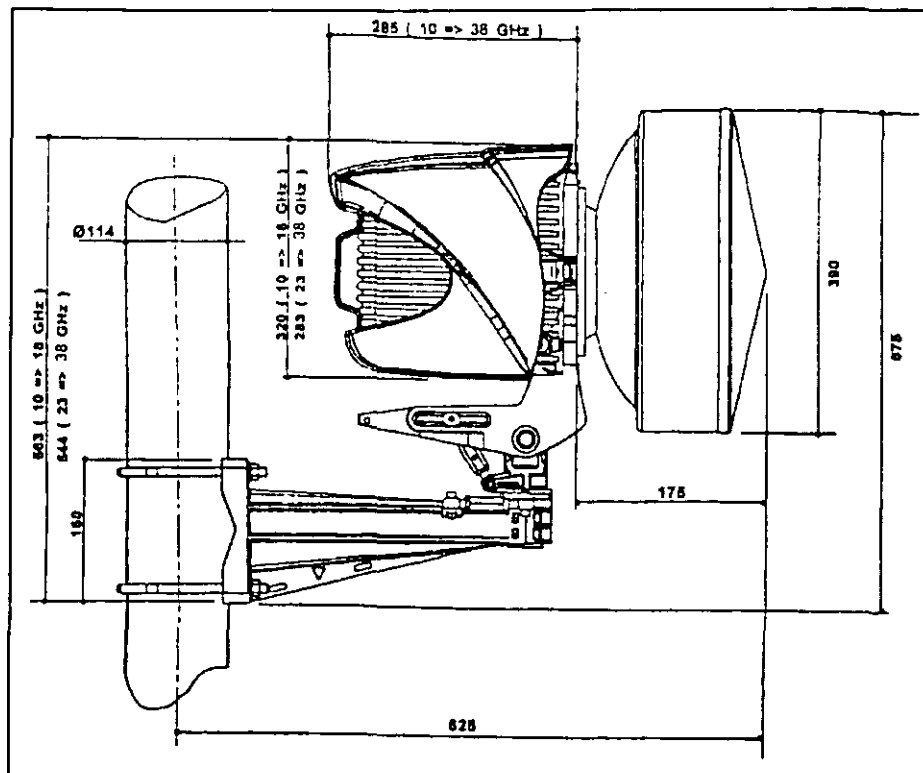


Figura III.4 f) Ajustes finales del equipo sobre el mástil de soporte

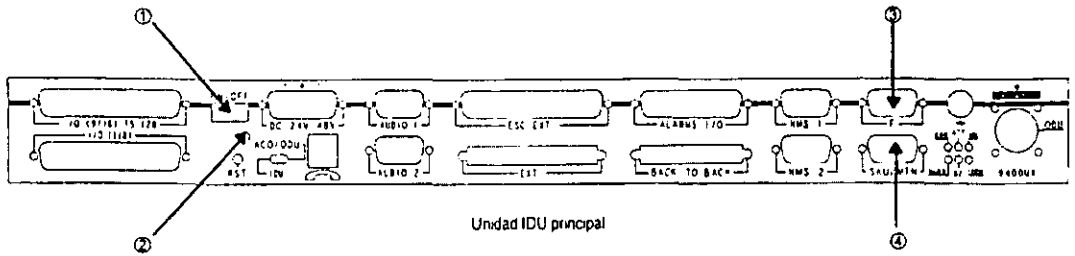
### III.9 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

La verificación del equipo en cuanto a su funcionalidad, lleva consigo los siguientes pasos:

- Verificar la presencia del voltaje de alimentación correcto (24 o 48v), con la polaridad correcta, en la toma de alimentación.
- Verificar que una clave de software de autorización de configuración este presente en el conector SKU/MTN (fig.III.5).
- Poner en tensión las unidades IDU ( Unidades Interiores Principal y de Extensión) por medio del inversor del panel de conexiones: El diodo electroluminiscente debe encenderse (fig.III.5).
- Verificar que la potencia recibida sea superior a  $-90$  dBm. Esta verificación se debe efectuar en el canal normal y eventualmente en el canal de socorro.

Si la potencia recibida es inferior a este valor, existe probablemente un problema de orientación de la antena o de emisión en la estación A.

- Si un operador esta presente en otra estación de la red y si un teléfono esta presente en la estación B, probar el canal de servicio telefónico.
- Ejecutar la aplicación del software en la configuración de parámetros de transmisión de radio (el software varía según la marca del equipo).
- Una vez ejecutado el software de configuración, verificar la no-existencia de indicación de alarmas y si es esto correcto, el enlace fue instalado en forma correcta.



- ① Switch de Encendido/Apagado
- ② Diodo indicador de Encendido
- ③ Puerto de Conexión para PC
- ④ Entrada de conexión a la llave de Configuración

**Figura III.5 Algunos de los componentes de la unidad interna principal (IDU)**



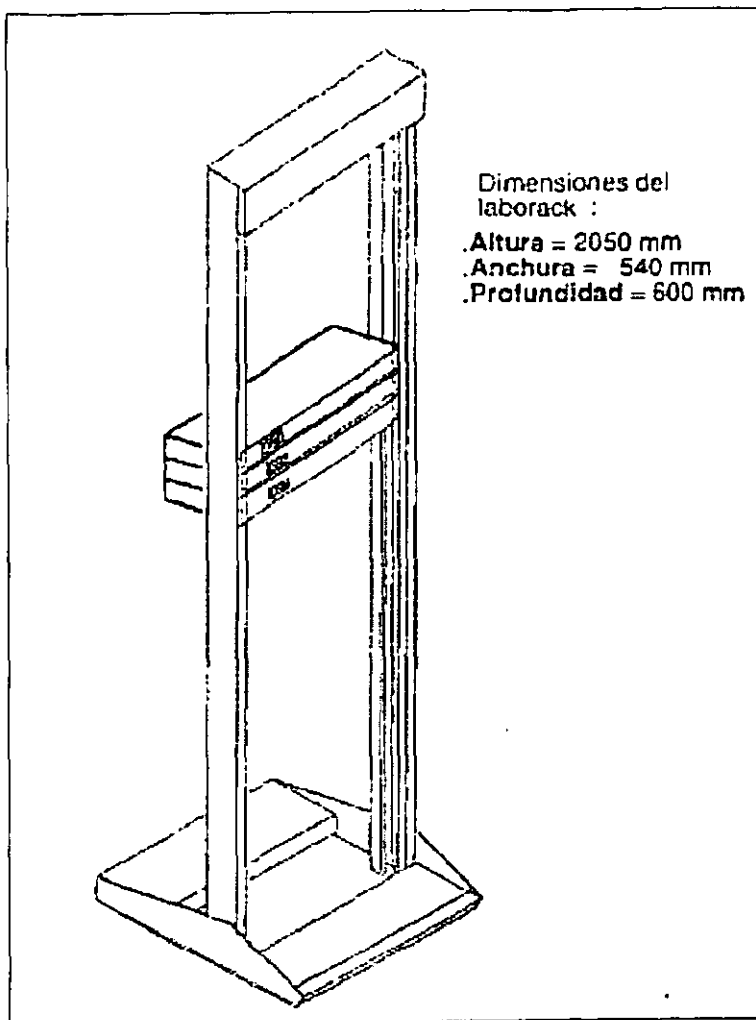
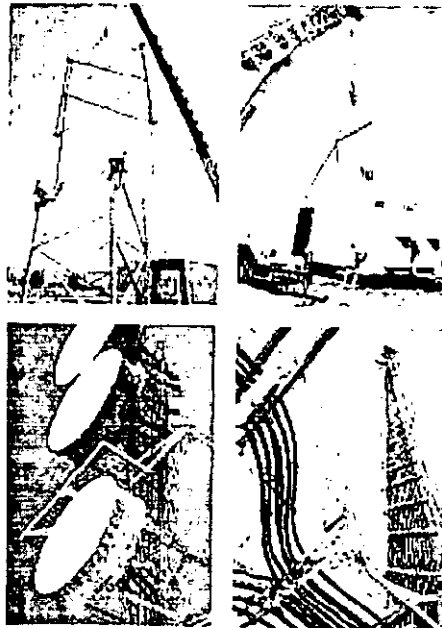


Figura III.6 Vista del rack donde se instala el equipo interno

## CAPÍTULO IV

# PROYECTO DEL ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA ENTRE LA CENTRAL CAMIONERA Y LA ZONA DE EXPANSIÓN INDUSTRIAL DE CALERA EN LA CIUDAD DE PUEBLA



## **IV.1 INTRODUCCIÓN**

A continuación se presenta un estudio de línea de vista para un enlace de microondas entre la central camionera y el sitio de expansión industrial de Calera, ambos sitios en la ciudad de Puebla.

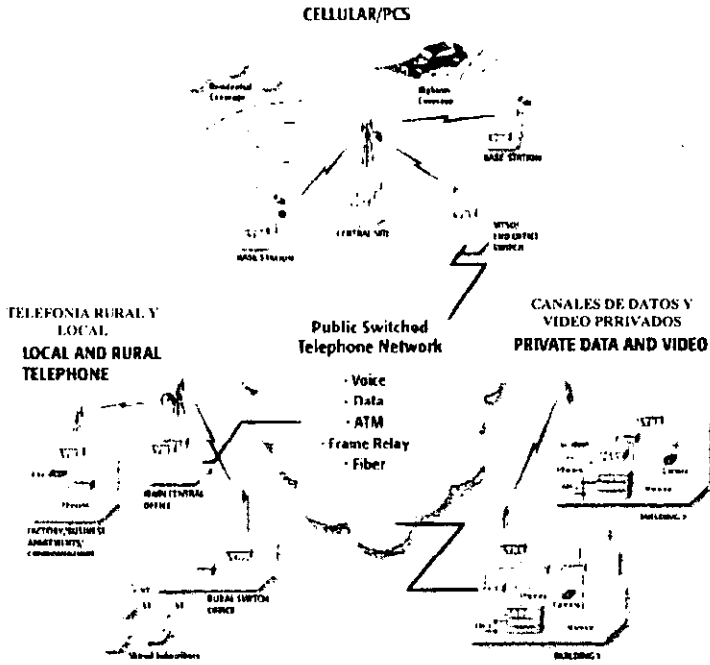
Para esto se tuvo que hacer un estudio de campo, en el cual se recabaron los datos necesarios para poder hacer los cálculos y el reporte de los resultados.

Esta propuesta queda abierta para quienes quisieran aprovechar estos dos sitios como medio de transmisión de voz, datos o video debido a que se encontró una marcada falta de comunicación entre el sitio Calera - en donde sé esta proliferando la industria y la construcción de una zona residencial – y otra fuente de enrutamiento a diferentes servicios como por ejemplo Internet, videoconferencia, transacciones bancarias, datos de radios celulares y en fin un sin número de servicios de comunicación muy atractivos que podrían canalizarse a través del sitio de central camionera en donde se cuenta con los medios de enrutamiento hacia todos estos servicios a través de diferentes compañías enlazadas por otros medios a este sitio (compañías telefónicas alámbricas y celulares, compañías que ofrecen servicios satelitales y de internet etc.), en general se puede ilustrar como funciona una red de microondas en la figura IV.1, en donde se puede observar las diferentes aplicaciones que se le pueden encontrar.

De esta manera se presenta el perfil de este enlace en cuanto a datos técnicos se refiere, teniendo el cliente la opción de elegir entre tres propuestas que se presentan en este informe sugiriéndole un tipo de radio con tecnología de espectro disperso.\*

---

\* Para consultar otro tipo de equipo de microondas convencional, que no sea de espectro disperso existen compañías líderes en el ramo las cuales tienen direcciones en internet como por ejemplo ALCATEL, ERICSSON o TADIRAN MICROWAVE NETWORKS en donde se puede consultar el equipo más actual y con tecnología de vanguardia para las comunicaciones inalámbricas.



**Figura IV.1 Red de microondas**

## IV.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Este reporte contiene la información del estudio de campo realizado para enlazar los puntos entre la central camionera y la zona de expansión industrial CALERA en Puebla, realizado como un proyecto de tesis para quien desee tener una comunicación entre estos dos sitios, teniendo la central camionera un enrutamiento diverso hacia otros sitios de interés para el usuario (enlaces satelitales, telefonía, es decir conexiones hacia una red WAN).

### IV.2.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

Este proyecto de estudio de línea de vista tiene como objetivo mostrar lo viable de implementar un enlace de microondas entre dos sitios con necesidad de comunicación, o para quienes quisieran utilizar este medio para comunicarse e incrementar sus ligas de expansión (hablando en particular de la zona industrial de Calera) hacia una infinidad de lugares a través del enrutamiento en la central camionera de Puebla. El estudio de línea de vista como ya se menciono determina lo factible del sistema además de las consideraciones adicionales para la implementación, ya sea de infraestructura de los sitios así como del acondicionamiento de los mismos (para tener una idea más clara de lo que es un estudio de línea de vista y en lo que consiste se puede volver a revisar el subcapitulo 1.22).

### IV.2.2 CRITERIO DE DISEÑO DEL ENLACE

Se elaborara el perfil del enlace y se definió para efectos de cálculo la altura de las antenas en los diferentes sitios a fin de proveer un claro mínimo del 70% de la primer zona Fresnel y a  $K= 4/3$  (K es la constante de curvatura de la tierra), cabe mencionar que para que un enlace no tenga problemas si se detecta que este es critico en cuanto a obstrucciones en su trayectoria, se deben hacer los cálculos considerando librar el 100% de la primera zona de Fresnel. Sin embargo para nuestro caso en particular basta con librar el 70% debido a que nuestro enlace a lo largo de su trayectoria no presenta obstáculos relevantes. Se analizo el enlace para determinar posibles reflexiones. El enlace presentado en este estudio reúne el criterio de claro mencionado anteriormente.

#### IV.2.3 CRITERIO DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

El criterio de confiabilidad o disponibilidad del enlace se refiere a que tan seguro es el sistema bajo condiciones adversas en el ambiente y de las pérdidas por el espacio libre. Generalmente este resultado se representa en un porcentaje el cual debe ser muy cercano al 100 %, y el cliente lo puede definir antes de hacer el estudio, puede pedir desde un nueve después del punto si no requiere tanta disponibilidad o hasta tres si requiere un sistema muy confiable.

De manera informativa se consideraron tres casos de manera que al obtener los resultados el cliente decidirá cual opción es la que más le conviene:

- 1) Usando cable coaxial ½" heliax y antenas de 0.6 mts.
- 2) Usando cable coaxial heliax y antenas de 1.2 mts.
- 3) Usando guía de onda en el lado de la central camionera y cable coaxial ½" heliax en el lado de Calera

En el diseño del enlace será utilizada una polarización Vertical debido a que este tipo de polarización es menos factible a que le afecte el medio (lluvia, niebla u otro tipo de particular suspendida en el aire).

Los resultados arrojados por los cálculos se mostraran en el estudio que a continuación se presenta, lo mismo que los datos recolectados para poder hacerlos.

### IV.3 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS

A continuación se presentan los datos recabados, del estudio de campo que se realizó a los sitios de la central camionera y Calera en la ciudad de Puebla.

#### IV.3.1 SITIO CENTRAL CAMIONERA

<b>Dirección:</b>	Calle 32 poniente N° 232, frente a la central de abastos de Puebla Col. la Aurora Puebla Puebla
<b>Ciudad:</b>	Puebla Puebla
<b>País:</b>	México
<b>Latitud:</b>	19° 04' 17"
<b>Longitud:</b>	98° 12' 46"
<b>Obtención de Coordenadas:</b>	DGPS (Sistema diferencial de posición global)
<b>Elevación asnm (altura sobre el nivel del mar):</b>	2172 mts. (Esta altura también la proporciona el DGPS)
<b>Mapas de referencia:</b>	Guía roji y Carta topográfica e14b43.

Tabla IV.1 Datos generales del sitio central camionera

#### IV.3.1.1 INFORMACIÓN DEL SITIO

Para obtener estos datos se tuvo que hacer una visita al sitio y medir directamente todos los parámetros necesarios.

Este sitio tiene una torre autoportada de 45 mts de altura SNP, se encuentra aterrizada y esta en buenas condiciones para instalar la antena. La antena deberá ser instalada a la altura recomendada y en el lugar especificado, ver dibujos y fotografías (Figuras IV.2, IV.3, IV.4, IV.5, IV.6, IV.7, IV.8 y IV.9).

El cliente deberá de colocar una escalerilla de 6" de ancho y codos con radio de curva de 12" que partiría desde la escalerilla de la torre (del centro de la torre, aproximadamente a la altura de las mufas de otros cableados existentes), pegada a la malla ciclónica a una altura de 2.80 m y hasta la pared del contenedor asignado.

<b>Descripción del suelo:</b>	Las calles están pavimentadas.
<b>Máximo grado de inclinación del camino:</b>	N/A (No aplica)
<b>Condiciones del camino de acceso y vehículo requerido:</b>	Condiciones adecuadas (zona urbana), el vehículo necesario no requiere de características especiales.
<b>Distancia a la carretera o poblado más próximo:</b>	N/A
<b>Tipo de construcción y estado:</b>	El cuarto de radio proporcionado por la central camionera Puebla es un contenedor que se encuentra en buenas condiciones y con los requerimientos necesarios para poder instalar el equipo GLENAYRE.
<b>Altura de la construcción (niveles):</b>	Contenedor de 3 m
<b>Lugar propuesto para la instalación del equipo:</b>	Rack de aluminio de 19 " donde se encuentra instalados equipos como: ATI, INNOVA; Minilink ERICSSON (Estos también son radios de microondas ya instalados). El espacio disponible es de 0.50 mts. en la parte más baja del rack donde se puede instalar el equipo GLENAYRE y equipos asociados de requerirse.
<b>Distancia estimada de la antena a la sala de equipos:</b>	77 m
<b>Energía eléctrica disponible:</b>	Se dispone de alimentación de -48 Vcd.

**Tabla IV.2 Condiciones del sitio central camionera**



### IV.3.1.2 INFORMACIÓN DE TORRE Y SOPORTES

En este caso la torre ya existía por lo que no se tuvo que considerar una nueva, sin embargo si se tuvo que proponer una altura para empotrar la antena.

<b>Torre existente y tipo:</b>	Autosoportada.
<b>Altura de la torre existente:</b>	45 m
<b>Comentarios y/o restricciones de la torre existente:</b>	El diámetro de la pierna a la altura en la que se propone la instalación de la antena es de 2.9".
<b>SopORTE requerido:</b>	De un metro de altura y brazos de dos metros de longitud.
<b>Comentarios y/o restricciones de la torre propuesta:</b>	N/A

Tabla IV.3 Datos de la torre

### IV.3.1.3 INFORMACIÓN DE LA ANTENA

<b>Antenas existentes:</b>	No hay
<b>Comentarios y/o restricciones:</b>	Los soportes en donde se localizaran las antenas llevaran el color de la sección de torre que les corresponde
<b>Antena propuesta:</b>	El enlace satisface las condiciones de disponibilidad (99.999 %) si se realiza empleando antenas de 0.60 mts. de diámetro con guía de onda elíptica como línea de transmisión del lado de la central camionera debido a la gran longitud de ésta, para evitar atenuación. El modelo de la antena esta en función de los acoplamientos necesarios en referencia al flange (guía de onda) que puede proveer el fabricante de la antena (Gabriel electronics ó Andrew).
<b>Altura a nivel de piso o azotea:</b>	24 m SNP (Sobre Nivel de Piso)
<b>Azimut:</b>	153.38°
<b>Longitud de la línea de transmisión:</b>	77 m de Guía de onda elíptica tipo EW-52

Tabla IV. 4 Información de las antenas

El empleo de guía de onda es resultado de la longitud de línea de transmisión que debe emplearse derivada de la altura de la antena para librar obstáculos presentes en la trayectoria del enlace (postes de alta tensión sobre la avenida Defensores de la República y una torre T-45 que se encuentra aproximadamente 3 Km de un lado por donde pasa la trayectoria del enlace) por lo que se sugiere seguir las recomendaciones para la instalación de la antena y a fin de satisfacer los criterios de disponibilidad. Por consecuencia es necesaria la instalación además del circuito de deshidratador que estamos obligados a emplear tras el uso de guía de onda como línea de transmisión.

#### IV.3.1.4 CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO CENTRAL CAMIONERA

A continuación se presentan los dibujos, croquis y fotografías del sitio central camionera, que nos describen de una manera gráfica el perfil físico de donde se pretende instalar el equipo de microondas.

En la figura IV.2 se observa un croquis de la vista aérea del sitio central camionera, cabe mencionar que sólo se muestra la parte de la central camionera correspondiente al área de comunicaciones, que es un patio adjunto a la central camionera, lo mismo que las fotografías correspondientes a este sitio.

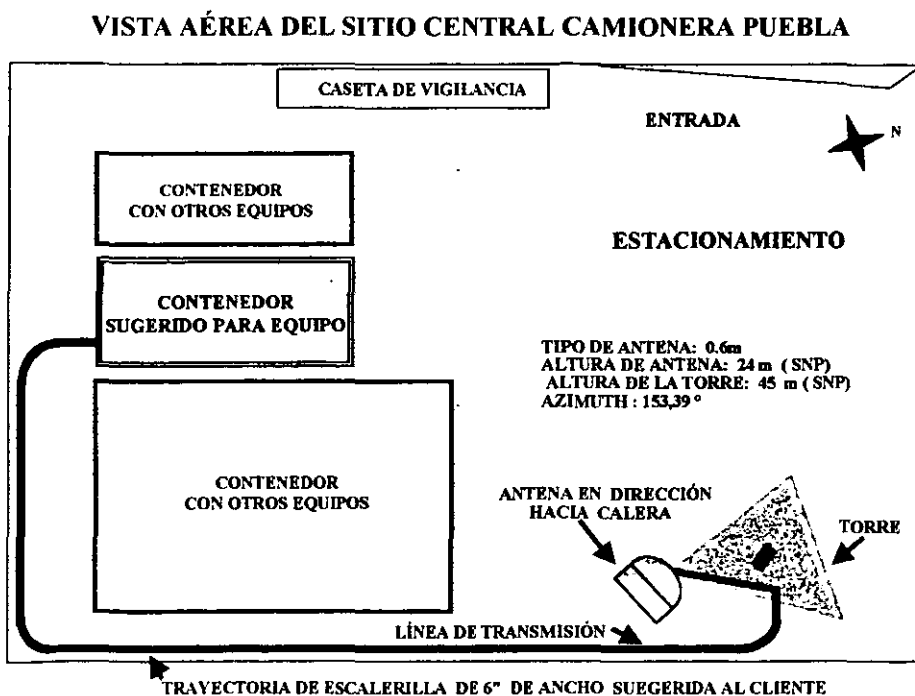


Figura IV.2 Vista superior de la central camionera

En la figura anterior se puede notar la trayectoria de la escalerilla propuesta para soportar la guía de onda que va desde la torre hasta el contenedor, la cual es necesaria debido a la rigidez de la línea de transmisión.

El siguiente esquema (figura IV.3) muestra la vista frontal del sitio central camionera, el cual deja ver una perspectiva muy detallada de donde quedara instalado el equipo desde la antena en la torre, la línea de transmisión por donde pasara y hasta el contenedor donde se ubicaría el radiomodem.

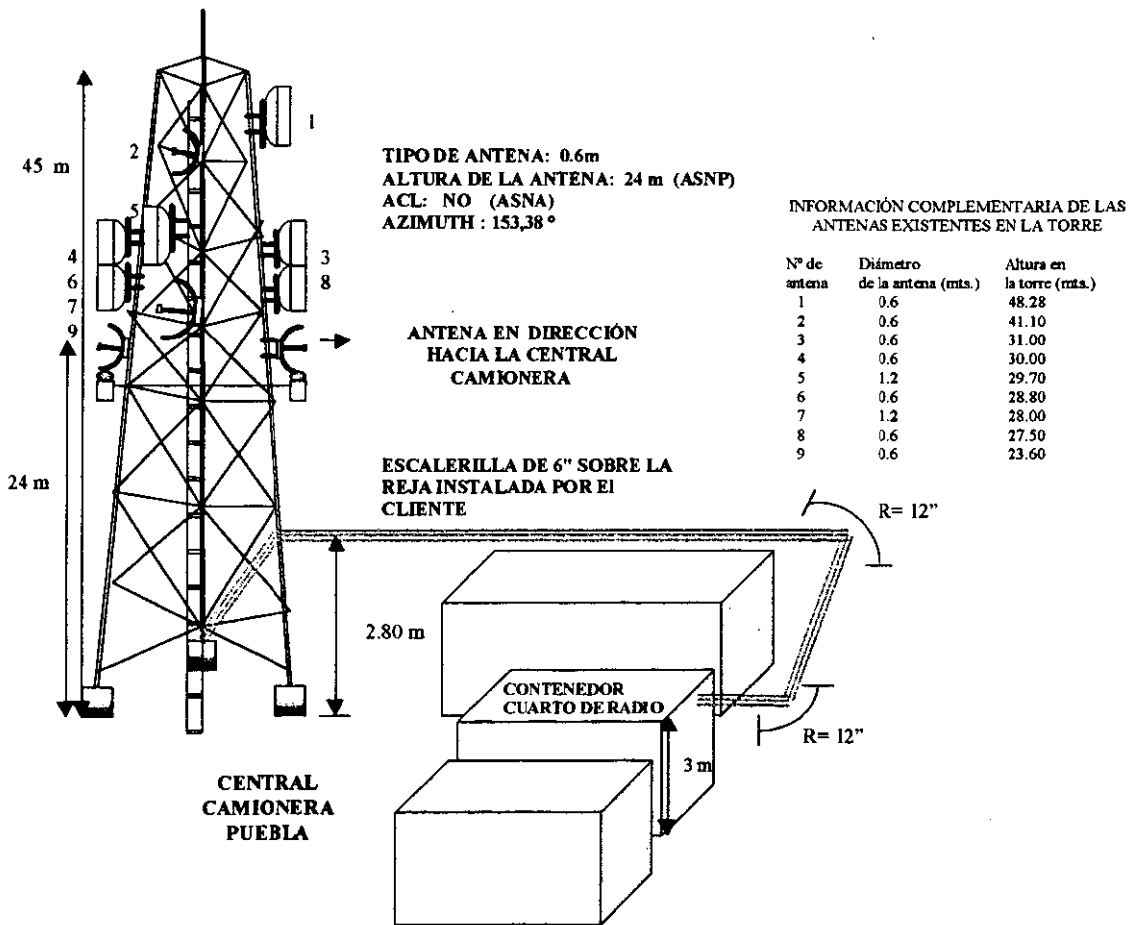


Figura IV.3 Vista frontal del nodo central camionera

La siguiente figura (figura IV.4) nos muestra la ubicación del rack con el equipo, dentro del contenedor. Cabe mencionar que esta ubicación fue la mejor opción a nuestro criterio, teniendo en cuenta el demás equipo ya existente.

### SALA Y LUGAR ASIGNADO AL EQUIPO

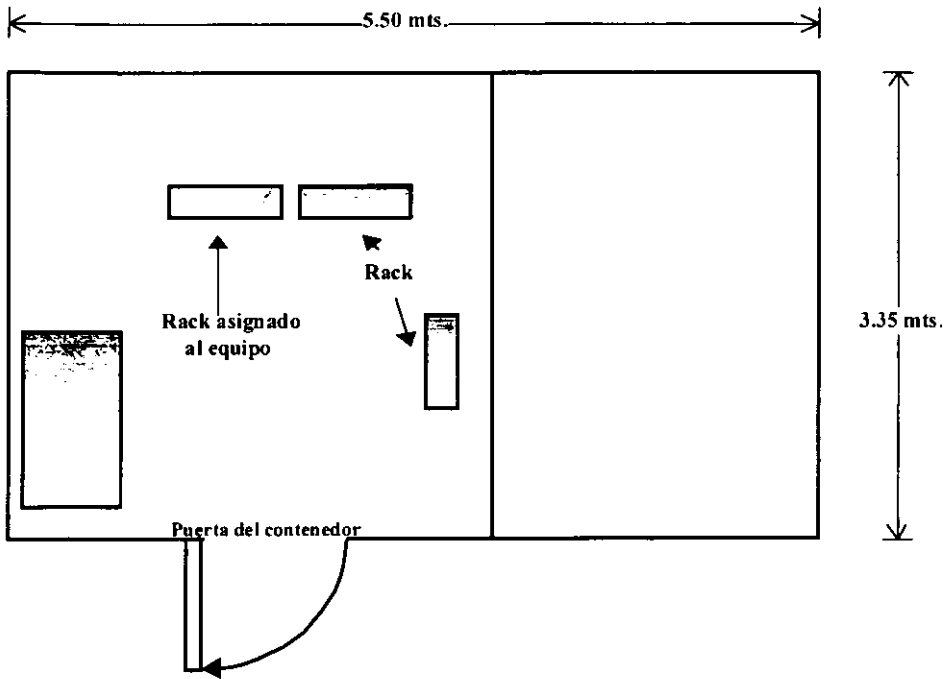


Figura IV.4 Ubicación del rack en donde se instalara el equipo

En la figura IV.5 podemos observar los dispositivos necesarios en el caso de utilizar guía de onda

### DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS EMPLEANDO GUIA DE ONDA

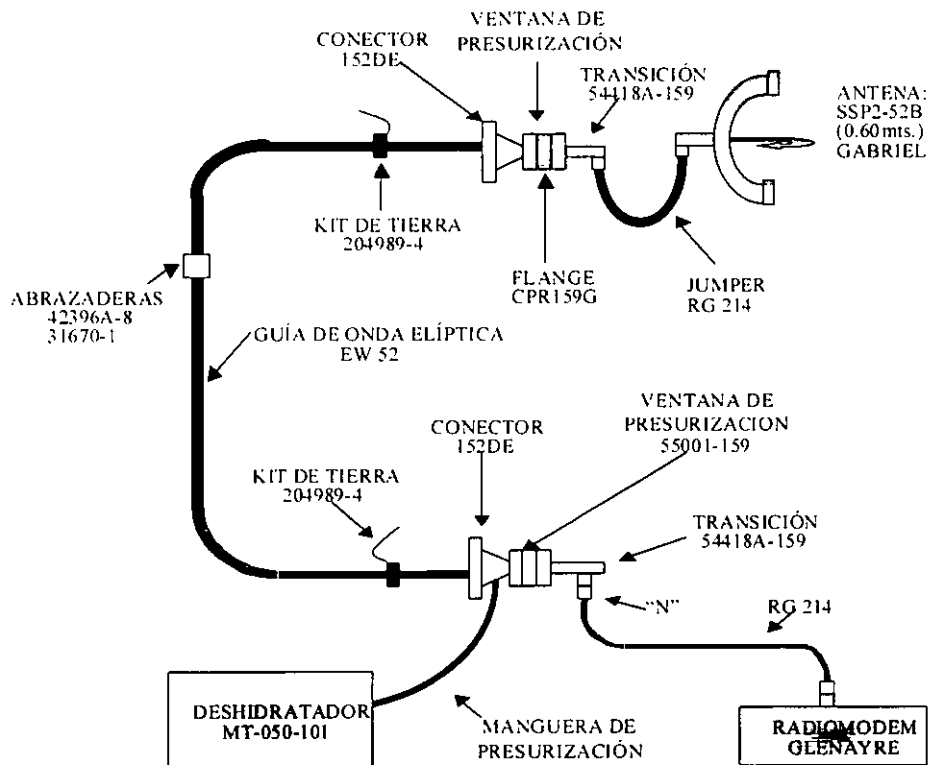


Figura IV.5 Esquema del sistema utilizando guía de onda

Equipos marca ANDREW a menos que se especifique.

La siguiente fotografía (figura IV.6), nos muestra la vista frontal de la central camionera en la parte correspondiente a la torre de comunicaciones. En esta fotografía nos damos cuenta de la infraestructura del lugar, la cual no presenta inconvenientes para la instalación de nuestro equipo.

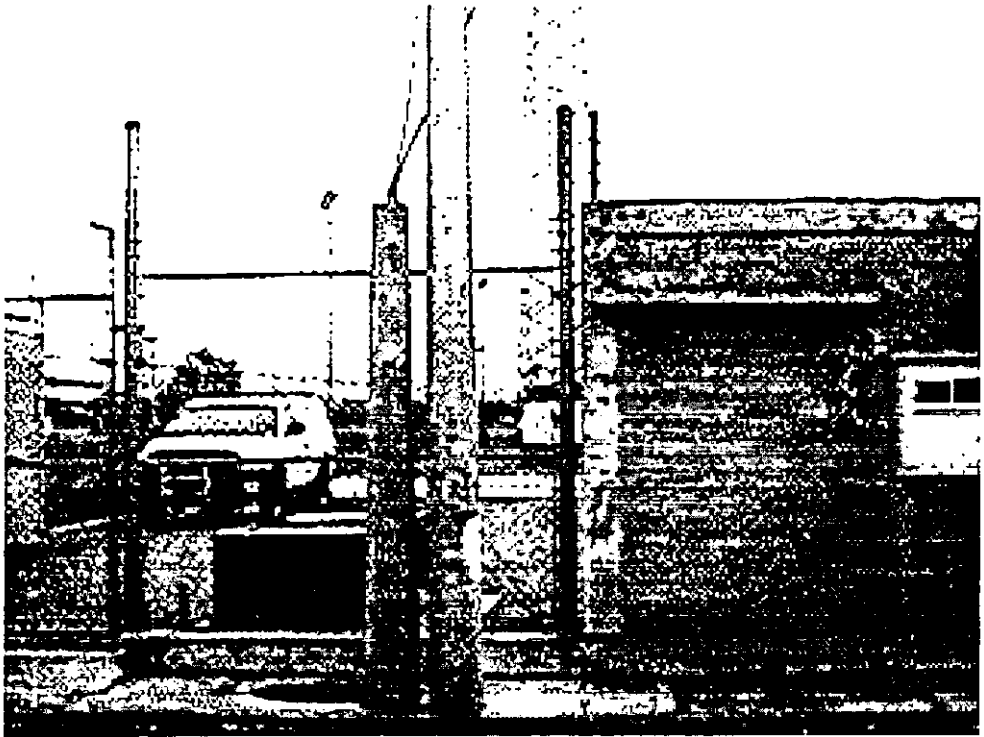
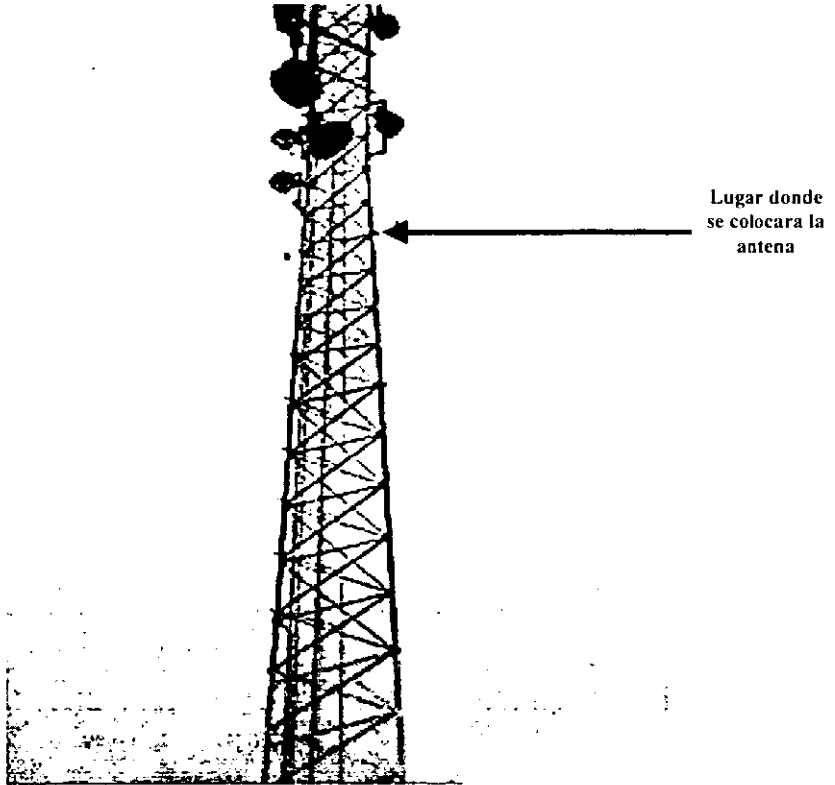


Figura IV.6 Vista frontal del sitio central camionera

La fotografía (figura IV.7) que a continuación se muestra, nos da una vista exacta de en donde se colocaría la antena. La antena debe estar a 24 m sobre nivel de piso, como se muestra posteriormente en los cálculos para poder librar los obstáculos que se encuentran en la trayectoria.



**Figura IV.7 Vista del lugar en donde se colocaría la antena en la torre de la central camionera**



Esta fotografía (figura IV.8) nos indica el lugar por donde pasaría la escalerilla propuesta para colocar la guía de onda desde la torre hasta el contenedor que se observa en la foto. Cabe mencionar que hay más cables de otros enlaces ya existentes los cuales pasan por ductos subterráneos estos se pueden ver en la esquina del contenedor y van al subsuelo. La razón por la cual se propone escalerilla y no se utiliza el ducto es por la rigidez de la guía de onda y los implementos que se utilizan para su instalación.

Lugar por donde pasara la escalerilla



**Figura IV.8 Lugar por donde pasara la escalerilla**

La siguiente fotografía (figura IV.9) nos muestra una panorámica de la línea de vista hacia el sitio Calera. Se puede notar que no existen muchos obstáculos que nos puedan causar reflexiones, obstrucción o desvanecimiento por lo que el enlace se considera no crítico.



**Figura IV.9** Línea de vista hacia el sitio calera

### IV.3.2 SITIO CALERA

<b>Domicilio:</b>	Lomas San Alfonso N°14 Col. Villa la Satélite La Calera Puebla Puebla
<b>Ciudad:</b>	Puebla Puebla
<b>País:</b>	México
<b>Latitud:</b>	19° 00' 18"
<b>Longitud:</b>	98° 10' 40"
<b>Obtención de coordenadas:</b>	DGPS (Sistema diferencial de posición global)
<b>Elevación asnm (altura sobre el nivel del mar):</b>	2180 m (Esta altura también la proporciona el DGPS)
<b>Mapas de referencia:</b>	Guía roji y cartas topográficas e14b43

Tabla IV.5 Datos generales del sitio Calera

#### IV.3.2.1 INFORMACIÓN DEL SITIO

Al igual que en el sitio anterior se tuvo que hacer un estudio de campo para poder recolectar los datos necesarios para los estudios.

A este sitio se puede llegar por la avenida Fidel Velázquez y se encuentra en la loma de San Alfonso, donde existe un contenedor donde será ubicado el equipo GLENAYRE, dicho contenedor se encuentra acondicionado para realizar la instalación del equipo. Entrando al contenedor del lado derecho existe un lugar adecuado para el equipo donde se colocaría.

En la parte trasera del contenedor se encuentra una torre T-30 donde se instalara la antena. Ver dibujos y fotografías (figuras IV.10, IV.11, IV.12, IV.13 y IV.14).

<b>Descripción del suelo:</b>	Calles pavimentadas
<b>Máximo grado de inclinación del camino:</b>	N/A (No aplica)
<b>Condiciones del camino de acceso y vehículo requerido:</b>	Condiciones adecuadas (zona urbana), el vehículo necesario no requiere de características especiales
<b>Distancia a la carretera o poblado más próximo:</b>	N/A
<b>Tipo de construcción y estado:</b>	Contenedor en buenas condiciones
<b>Altura de construcción (niveles):</b>	El contenedor tiene una altura de 2.50 m
<b>Lugar propuesto para la instalación del equipo:</b>	El lugar asignado para la instalación del equipo se encuentra entrando al contenedor a mano derecha y hasta la esquina existe un rack de 19" con un espacio libre de 0.80 mts para colocar el equipo glenayre
<b>Distancia estimada de la antena a la sala de los equipos:</b>	30 m
<b>Energía eléctrica comercial disponible:</b>	127.5 Vca., - 48 Vcd

Tabla IV.6 Condiciones del sitio Calera

#### IV.3.2.2 INFORMACIÓN DE TORRE Y SOPORTES

Como se menciona anteriormente en este sitio se cuenta con un contenedor en buen estado además de una torre tipo T-30 arriestrada que también se encuentra en buen estado. Los detalles se explican a continuación.

<b>Torre existente y tipo:</b>	Existe una torre T-30, que se encuentra en la parte trasera del contenedor
<b>Altura de la torre existente:</b>	21 m
<b>Comentarios y/o restricciones de la torre existente:</b>	La torre contiene retenidas que se encuentran a la altura de 8 m, 12 m, 17 m y 20 m, contiene dos triángulos antitorción a 8 m y a 17 m, por la que se encuentra segura para la instalación de la antena de 0.60 m
<b>SopORTE propuesto:</b>	De un metro de altura y brazos de 1.70 metros de largo
<b>Comentarios y/o restricciones de la torre propuesta:</b>	Ninguna

Tabla IV.7 Datos de la torre

#### IV.3.2.3 INFORMACIÓN DE LA ANTENA

<b>Antena existente:</b>	No hay
<b>Comentarios y/o restricciones:</b>	Los soportes en donde se localizaran la antena llevara el color de la sección de torre que les corresponde (rojo o blanco)
<b>Antena propuesta:</b>	El enlace satisface las condiciones de disponibilidad si se realiza empleando antena de 0.60 mts. de diámetro usando cable coaxial ½" heliax como línea de transmisión
<b>Altura a nivel de piso:</b>	12 m SNP (Sobre nivel de piso)
<b>Azimut:</b>	333.39°
<b>Longitud de la línea de transmisión:</b>	Cable coaxial ½" heliax, aproximadamente 30 m

Tabla IV.8 Datos de la antena

Se recomienda que se coloque la antena a la altura recomendada y en el lugar propuesto debido a que desde ahí se tiene la línea de vista. El sitio para instalar se encuentra con la infraestructura adecuada para instalar el equipo GLENAYRE. Para cubrir con los resultados mostrados en las hojas de cálculo (ver tabla IV.12, IV.13 y IV.14) y que el enlace sea confiable, se debe considerar que la altura de antena propuesto se debe respetar ya que de poner más abajo la antena no se garantiza que el sistema funcione correctamente.

### IV.3.2.4 CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO CALERA

Lo mismo que en el sitio anterior a continuación se muestran los croquis y fotografías del sitio Calera. Para esto también se tuvo que realizar un estudio de campo para recolectar los datos necesarios que nos muestran físicamente el sitio Calera.

El siguiente croquis (figura IV.10) nos muestra la vista aérea del sitio Calera.

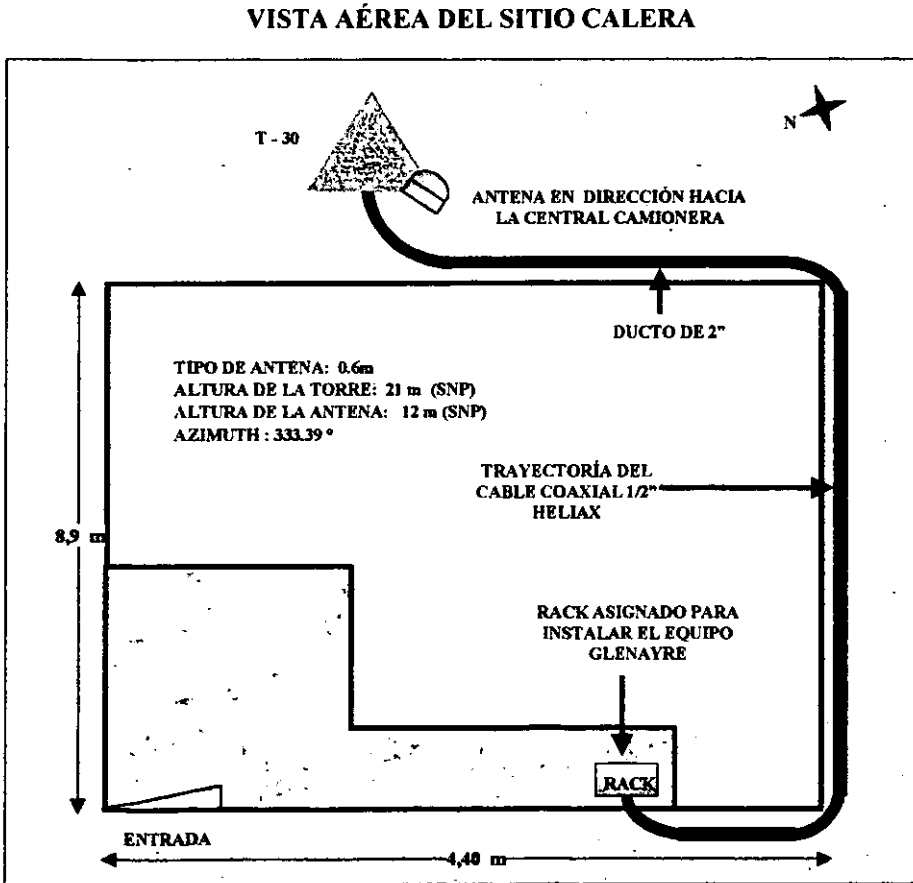


Figura IV.10 Vista aérea del sitio Calera

La figura anterior muestra el perfil del lugar de la torre ya existente y del lugar por donde pasaría el ducto con el cable desde la torre y hasta el rack en la sala de radio por lo que en este croquis podemos observar perfectamente el lugar donde se instalara el equipo.

En el siguiente croquis (figura IV.11) se muestra la vista frontal del sitio Calera, dicho croquis refleja las condiciones físicas de donde se instalara la antena, la línea de transmisión y el radiomodem en el cuarto de radio.

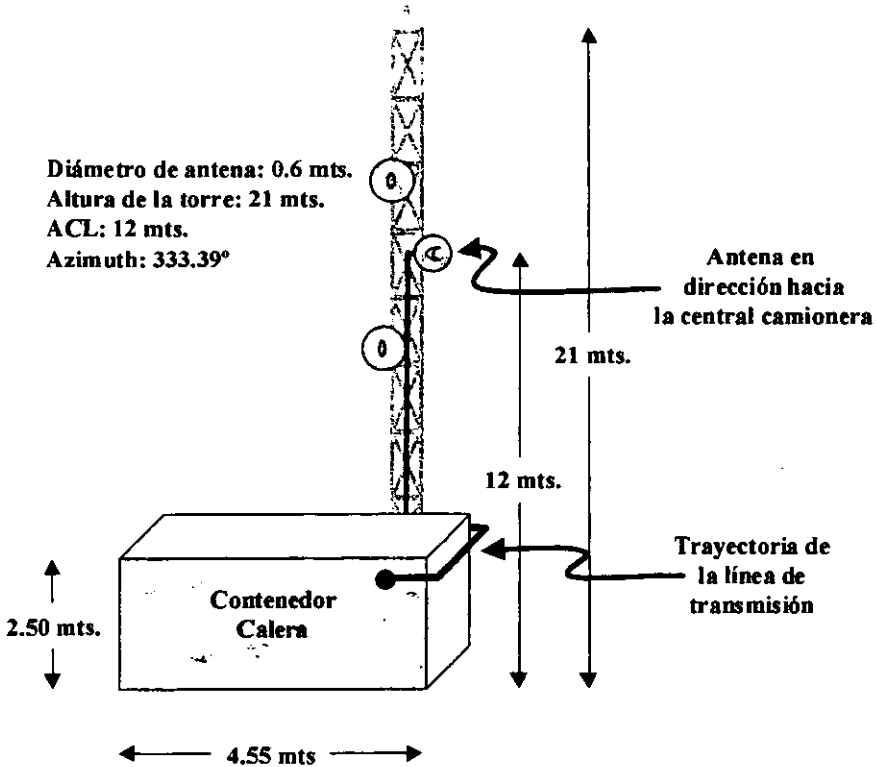


Figura IV.11 Vista frontal del sitio Calera



En la figura IV.12 se muestran las posiciones de los equipos ya instalados en el rack y del lugar en donde se ubicaría nuestro equipo.

### POSIBLE UBICACIÓN DEL EQUIPO EN EL RACK

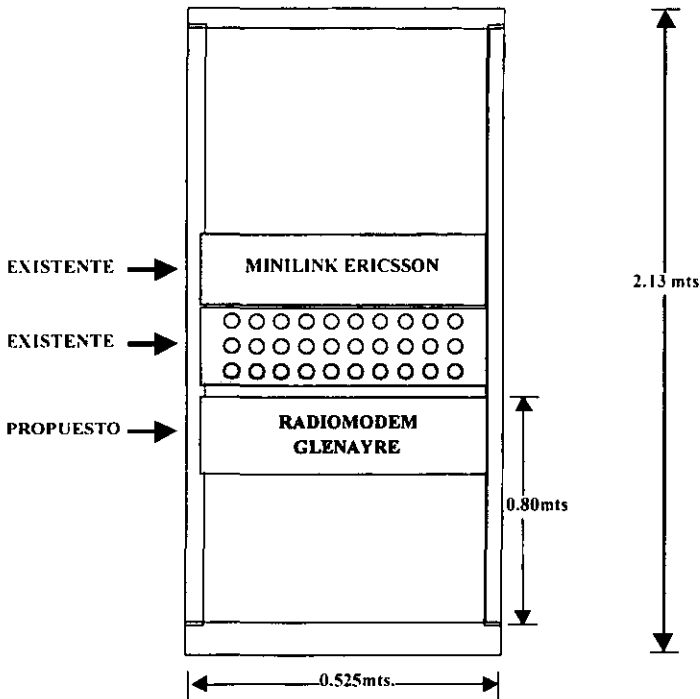
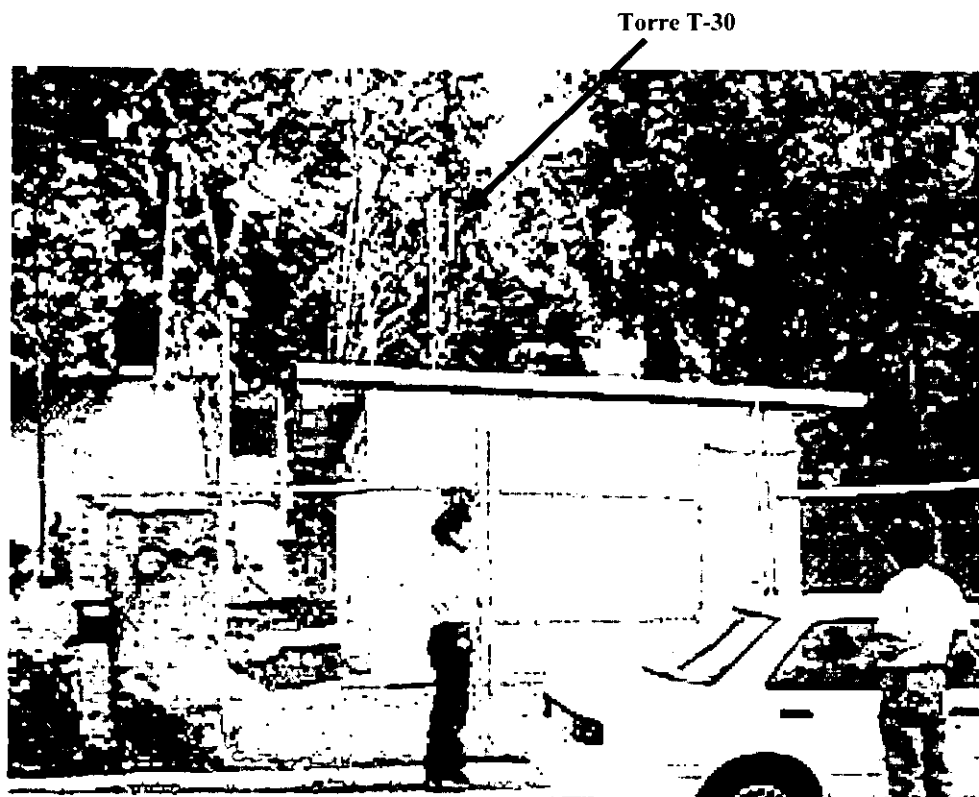


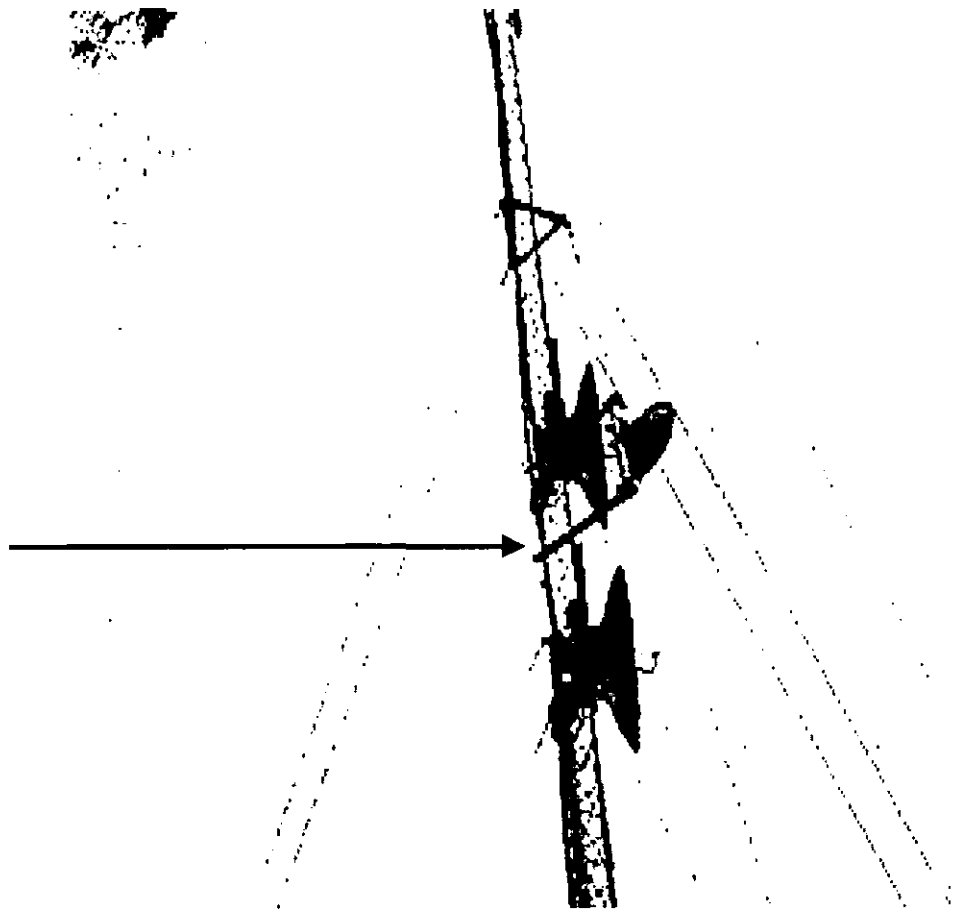
Figura IV.12 Posible ubicación del equipo en el rack

En esta fotografía (figura IV.13) se ve una toma del frente del sitio Calera, en donde se puede notar que la torre se encuentra atrás de la sala de radio.



**Figura IV.13 Vista frontal del sitio Calera**

Esta toma es de la torre T-30 del sitio Calera y del lugar donde se presume puede colocarse la antena (Figura IV.14).



**Figura IV.14 Torre del sitio Calera y lugar donde se propone colocar la antena**

En esta última fotografía (figura IV.15) se muestra la panorámica hacia el sitio central camionera. Como dato de este sitio (Calera), el lugar se encuentra geográficamente en un relieve alto, por lo que no existe (como ya lo habíamos mencionado en la línea de vista del sitio anterior) ningún obstáculo de consideración que dificulte la trayectoria del enlace.



**Figura IV.15** Línea de vista hacia el sitio central camionera

### **IV.4 POLIGONAL DEL ENLACE Y UBICACIÓN EN LA CARTA TOPOGRÁFICA**

La poligonal del enlace es un resumen de la localización de ambos sitios a enlazar que siempre se debe incluir en los reportes de estudio de línea de vista y que es solicitado por el cliente el cual se muestra a continuación (Figura IV.16). Los datos aquí mostrados son medidos físicamente en cada lugar con la ayuda del DGPS (Sistema de posición global diferencial) el cual se pone a sensor (capta señales de satélite) en cada sitio y nos muestra la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar del sitio en donde se encuentre.

Además también se incluye la localización geográfica en carta topográfica de ambos sitios (figura IV.17).

**CENTRAL CAMIONERA**

**LATITUD: 19°04'17" N**

**LONGITUD: 98°12'46" W**

**AZIMUT: 153.38°**



**DISTANCIA: 8.22 Km**

**CALERA (PROPUESTA PARA  
EXPANDIR NECESIDADES DE  
COMUNICACIÓN)**

**LATITUD: 19°00'18" N**

**LONGITUD: 98°10'40" W**

**AZIMUT: 333.39°**

**Figura IV.16 Poligonal del enlace**

El siguiente es sólo la sección de la carta topográfica en donde se ubican ambos sitios, debido a que no sería practico mostrar todo el mapa.

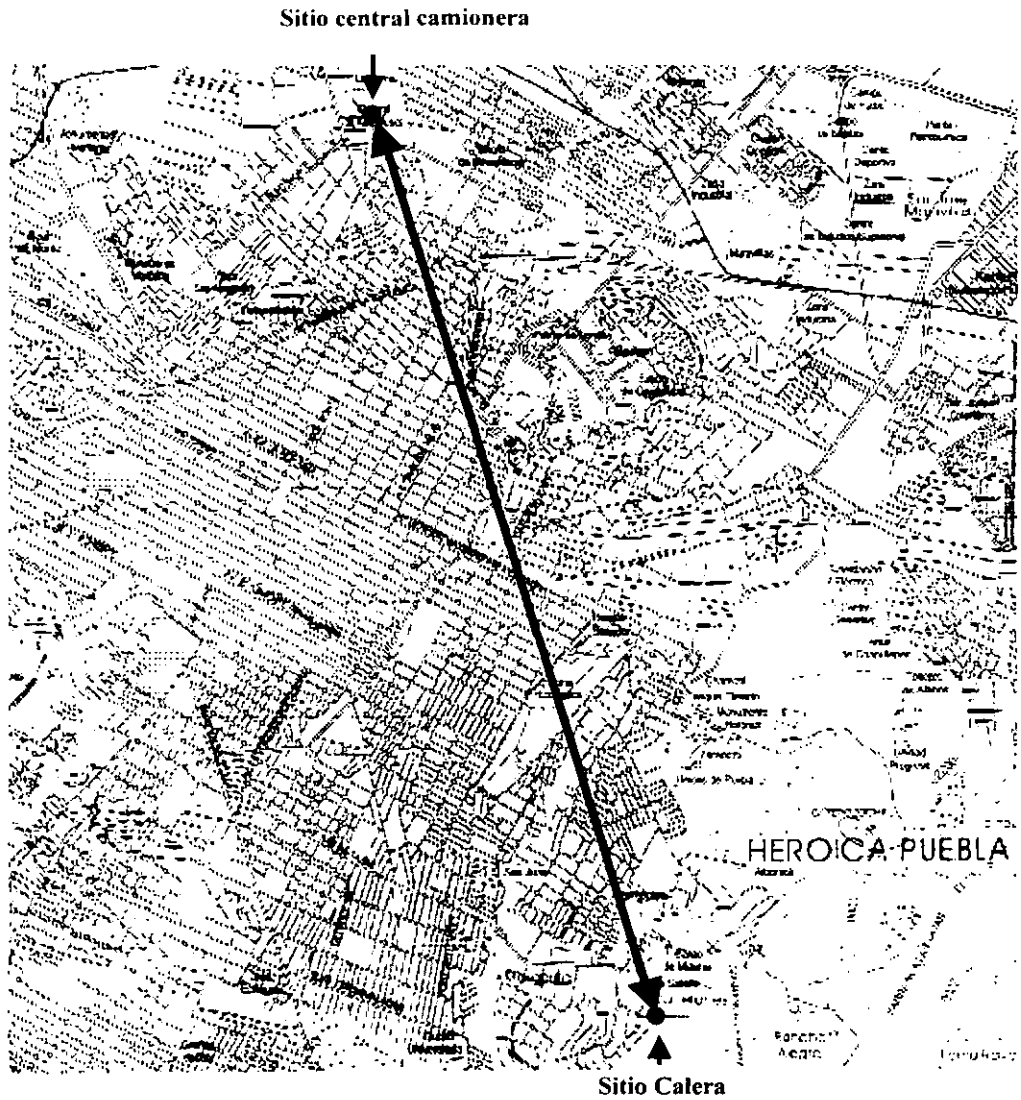


Figura IV.17 Mapa del proyecto

## IV.5 PLAN DE FRECUENCIAS

Esta tabla(IV.9) muestra el plan de frecuencias propuesto para este enlace. Cabe mencionar que este plan de frecuencias es con respecto al tipo de radio que estamos utilizando (con tecnología de espectro disperso), por lo que si se propone otro modelo de radio se debe de reestructurar este plan y adecuarse a las propiedades del mismo y también a las condiciones del enlace.

Además se proporcionan algunos otros datos que se mencionaron con anterioridad a manera de resumen, lo mismo que la longitud de línea de transmisión que se utilizara.

### SITIO CENTRAL CAMIONERA

FRECUENCIA		DIÁMETRO DE LA ANTENA	TIPO DE POLARIZACIÓN	ALTURA DE LA ANTENA	LONGITUD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	TIPO DE TORRE	ALTURA DE TORRE
Tx	Rx						
5820 MHz	5755 MHz	0.60 m	VERTICAL	24 m SNP	77 m	AUTOSOPORTADA	45 m

### SITIO CALERA

FRECUENCIA		DIÁMETRO DE LA ANTENA	TIPO DE POLARIZACIÓN	ALTURA DE LA ANTENA	LONGITUD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	TIPO DE TORRE	ALTURA DE TORRE
Tx	Rx						
5755 MHz	5820 MHz	0.60 m	VERTICAL	12 m SNP	30 m	ARRIOSTRADA T30	21 m

Tabla IV.9 Plan de frecuencias y línea de transmisión

## IV.6 CARACTERÍSTICAS DEL RADIOMODEM

A continuación se presentan las características del radiomodem propuesto (tabla IV.10 y figura IV.18). Se le llama radiomodem debido a que la interfaz (que es donde se multiplexa, codifica/decodifica y modula/demodula la información) y los radios de microonda (que es donde se adecua la señal ya procesada al medio) se encuentran en una sola unidad la cual se puede monitorear desde el rack donde se encuentre ubicada.

ESPECIFICACIONES DEL RADIOMODEM	
Fabricante:	GLENAYRE
Modelo y capacidad:	LYNX sc 4E1
Tipo de tecnología:	Spread Spectrum
Banda de frecuencia:	5725 - 5850 MHz
Modulación:	QPSK
Potencia de salida:	23 dBm típico
Máximo nivel de recepción:	+10 dBm sin dañarse
Mínimo nivel de recepción (BER $1 \times 10^{-6}$ ):	-95 dBm
Alimentación:	$\pm 20$ a $\pm 63$ Vcd. $\leq 45$ Watts
Temperatura de operación:	-30 a +65 °C
Humedad:	0 al 95 % sin condensarse
Altitud:	5000 mts. (sobre nivel del mar)
Dimensiones:	43.7x8.9x36.8 (cm)
Peso:	5 Kg

Tabla IV.10 Datos de radiomodem

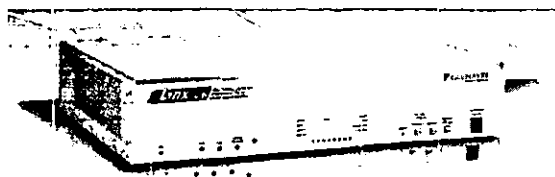


Figura IV.18 Radiomodem Glenayre



### IV.7 DATOS DEL ENLACE

La siguiente tabla IV.11 nos muestra la información que necesita el PATHLOSS para poder hacer los cálculos del enlace.

	Central Camionera	Calera
Latitud	019° 04' 17" N	019° 00' 18" N
Longitud	098° 12' 46" W	098° 10' 40" W
Azimut	153.38°	333.39°
Distancia (Km)	8.22	
Sistema de coordenadas	NAD27 – Clarke 1866	
Zona UTM	14	14
Easting	582.829	586.544
Northing	2108.776	2101.446
Elevación (m)	2172.0°	2180.0°
Altura de la antena (m)	24.0	12.0
Banda de Frecuencia (MHZ)	5800.00	
Polarización	Vertical	

Dist (Km)	Elev (m)	Estr (m)	Suelo	Dist (Km)	Elev (m)	Estr (m)	Suelo
0.00	2172.0		TP	6.00	2168.0		TP
1.07	2170.0		TP	6.30	2170.0		TP
1.80	2168.0	21 A	TP	6.70	2168.0		TP
2.30	2170.0		TP	6.90	2167.0		TP
3.75	2170.0		TP	7.00	2165.0		TP
4.00	2171.0		TP	7.50	2168.0		TP
4.25	2169.0		TP	7.70	2170.0		TP
4.30	2170.0		TP	7.90	2175.0		TP
4.90	2173.0		TP	8.22	2180.0		TP
5.80	2170.0		TP				

Tabla IV.11 Datos del enlace

Elevación del suelo – SNM, Altura de antena y Estructura SNP

Tipo de Terreno

PB – Pobre, TP – Promedio, TB – Bueno, AF – Agua Fresca, AF – Agua Salada

Tipo de estructura

A – Árbol, E – Edificio, TA – Torre de Agua

rc – rango inicial, rf – rango final, ft – fuera de trayectoria

Para obtener más datos técnicos o especificaciones acerca del radiomodem, se puede consultar el manual del equipo Western Multiplex. Para más información de cómo se realiza un estudio de línea de vista en la práctica, consulta de manuales, información del software que se utiliza etc., el contacto en México para el equipo y el que realiza este tipo de trabajos es la compañía ASTTEL S.A. de C.V., teléfono: 55 59 60 33 e-mail: div.microondas@astel.com.mx.

## IV.8 HOJAS DE CÁLCULOS DEL ENLACE EN EL PATHLOSS

En las siguientes tablas se dan los resultados arrojados por el programa de ingeniería (Pathloss 3.0) utilizado para obtener los datos más importantes para realizar un enlace.

### IV.8.1 CÁLCULOS CONSIDERANDO CABLE COAXIAL HELIAX DE ½" Y ANTENAS ESTÁNDAR DE 60 CM

Proyecto de estudio de línea de vista	Central camionera	Calera
Elevación (m)	2172.00	2180.00
Latitud	019 04 17 N	019 00 18 N
Longitud	098 12 46 W	098 10 40 W
Azimut	153.38	333.39
Tipo de antena	(0.6) SSP2 – 52B	(0.6) SSP2 – 52B
Altura de antena (m)	24.00	12.00
Ganancia de antena (dBi)	28.50	28.50
Tipo de línea de TX	LDF4 – 50A	LDF4 – 50A
Longitud de línea de TX (m)	77.00	30.00
Pérdida en línea de TX (dB/100 m)	21.80	21.80
Pérdida en línea de TX (dB)	16.79	6.54
Pérdida en conectores (dB)	1.00	1.00
Pérdidas misceláneas (dB)	0.50	0.50
Frecuencia (MHz)	5800.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la trayectoria (km)	8.22	
Pérdida de espacio libre (dBi)	126.03	
Margen de campo (dB)	0.50	
Pérdida de absorción atmosférica (dB)	0.07	
Pérdida neta en trayectoria (dB)	95.93	95.93
Modelo del equipo	GLENAYRE 5.8 GHz	GLENAYRE 5.8 GHz
Cometido de frecuencia TX (MHz)	5820	5755
Potencia de transmisión (w)	0.10	0.10
Potencia de transmisión (dBm)	20.00	20.00
Potencia efectiva radiada (dBm)	30.21	40.46
Criterio de umbral de recepción	BER@10E-6	BER@10E-6
Nivel de umbral (dBm)	- 87.00	- 87.00
Nivel de señal RX máximo (dBm)	0.00	0.00
Nivel de señal RX (dBm)	-75.93	-75.93
Margen de desv.- Térmico (dB)	11.07	11.07
Margen de desv.- Dispersivo (dB)	58.00	58.00
Factor de desv. dispersivo	1.00	
Margen de desv.- Efectivo (dB)	11.07	11.07
Factor climático	1.00	
Rugosidad del terreno (m)	6.10	
Factor C	3.29	
Temperatura anual promedio (gr. C)	20.00	
Tipo de diversidad	No Protegido	
Peor mes – un sentido (seg.)	1306.76	1306.76
Peor mes – un sentido (%)	99.950276	99.950276
Anual – un sentido (seg.)	5331.57	5331.57
Anual – un sentido (%)	99.983094	99.983094
Anual – dos sentidos (% - seg.)	99.966187 – 10663.15	
Región precipitación	CCIR Región N	

Tabla IV.12 Hoja de cálculos utilizando heliax de ½" y antenas de 60 cm

IV.8.2 CÁLCULOS CONSIDERANDO CABLE COAXIAL HELIAX DE ½" Y ANTENAS ESTÁNDAR DE 120 CM

Proyecto de estudio de línea de vista	Central camionera	Calera
Elevación (m)	2172.00	2180.00
Latitud	019 04 17 N	019 00 18 N
Longitud	098 12 46 W	098 10 40 W
Azimut	153.38	333.39
Tipo de antena	(1.2) SSP4 – 52A	(1.2) SSP4 – 52A
Altura de antena (m)	24.00	12.00
Ganancia de antena (dBi)	34.20	34.20
Tipo de línea de TX	LDF4 – 50A	LDF4 – 50A
Longitud de línea de TX (m)	77.00	30.00
Pérdida en línea de TX (dB/100 m)	21.80	21.80
Pérdida en línea de TX (dB)	16.79	6.54
Pérdida en conectores (dB)	1.00	1.00
Pérdidas misceláneas (dB)	0.50	0.50
Frecuencia (MHz)		5800.00
Polarización		Vertical
Longitud de la trayectoria (km)		8.22
Pérdida de espacio libre (dBi)		126.03
Margen de campo (dB)		0.50
Pérdida de absorción atmosférica (dB)		0.07
Pérdida neta en trayectoria (dB)	84.53	84.53
Modelo del equipo	GLENAYRE 5.8 GHz	GLENAYRE 5.8 GHz
Cometido de frecuencia TX (MHz)	5820	5755
Potencia de transmisión (w)	0.10	0.10
Potencia de transmisión (dBm)	20.00	20.00
Potencia efectiva radiada (dBm)	35.91	46.16
Criterio de umbral de recepción	BER@10E-6	BER@10E-6
Nivel de umbral (dBm)	- 87.00	- 87.00
Nivel de señal RX máximo (dBm)	0.00	0.00
Nivel de señal RX (dBm)	-64.53	-64.53
Margen de dev.- Térmico (dB)	22.47	22.47
Margen de dev.- Dispersivo (dB)	58.00	58.00
Factor de dev. dispersivo		1.00
Margen de dev.- Efectivo (dB)	22.47	22.47
Factor climático		1.00
Rugosidad del terreno (m)		6.10
Factor C		3.29
Temperatura anual promedio (gr. C)		20.00
Tipo de diversidad		No Protegido
Peor mes – un sentido (seg.)	94.69	94.69
Peor mes – un sentido (%)	99.996397	99.996397
Anual – un sentido (seg.)	386.34	386.34
Anual – un sentido (%)	99.998775	99.998775
Anual – dos sentidos (% - seg.)		99.997550 – 772.68
Región precipitación		CCIR Región N

Tabla IV.13 Hoja de cálculos utilizando heliax de ½" y antenas de 120 cm

IV.8.3 CÁLCULOS CONSIDERANDO COAXIAL HELIAX ½" DEL LADO DE CALERA Y GUÍA DE ONDA DEL LADO CENTRAL CAMIONERA CON ANTENAS DE 60 CM

Proyecto de estudio de línea de vista	Central camionera	Calera
Elevación (m)	2172.00	2180.00
Latitud	019 04 17 N	019 00 18 N
Longitud	098 12 46 W	098 10 40 W
Azimut	153.38	333.39
Tipo de antena	(0.6) SSP2 - 52B	(0.6) SSP2 - 52B
Altura de antena (m)	24.00	12.00
Ganancia de antena (dBi)	28.50	28.50
Tipo de línea de TX	EW - 52	LDF4 - 50A
Longitud de línea de TX (m)	77.00	30.00
Pérdida en línea de TX (dB/100 m)	4.02	21.80
Pérdida en línea de TX (dB)	3.10	6.54
Pérdida en conectores (dB)	1.00	1.00
Pérdidas misceláneas (dB)	0.50	0.50
Frecuencia (MHz)		5800.00
Polarización		Vertical
Longitud de la trayectoria (km)		8.22
Pérdida de espacio libre (dBi)		126.03
Margen de campo (dB)		0.50
Pérdida de absorción atmosférica (dB)		0.07
Pérdida neta en trayectoria (dB)	82.24	82.24
Modelo del equipo	GLENAYRE 5.8 GHz	GLENAYRE 5.8 GHz
Cometido de frecuencia TX (MHz)	5820	5755
Potencia de transmisión (w)	0.10	0.10
Potencia de transmisión (dBm)	20.00	20.00
Potencia efectiva radiada (dBm)	43.90	40.46
Criterio de umbral de recepción	BER@10E-6	BER@10E-6
Nivel de umbral (dBm)	- 87.00	- 87.00
Nivel de señal RX máximo (dBm)	0.00	0.00
Nivel de señal RX (dBm)	-62.24	-62.24
Margen de desv.- Térmico (dB)	24.76	24.76
Margen de desv.- Dispersivo (dB)	58.00	58.00
Factor de desv. dispersivo		1.00
Margen de desv.- Efectivo (dB)	24.76	24.76
Factor climático		1.00
Rugosidad del terreno (m)		6.10
Factor C		3.29
Temperatura anual promedio (gr. C)		20.00
Tipo de diversidad		No Protegido
Peor mes - un sentido (seg.)	55.82	55.82
Peor mes - un sentido (%)	99.997876	99.997876
Anual - un sentido (seg.)	227.75	227.75
Anual - un sentido (%)	99.999278	99.999278
Anual - dos sentidos (% - seg.)		99.998556 - 455.51
Región precipitación		CCIR Región N

Tabla IV.14 Hoja de cálculos utilizando guía de onda del lado central camionera y cable coaxial heliax de ½" del lado Calera con antenas de 60 cm

Es importante mencionar que en las hojas de cálculo antes presentadas sólo se muestran resultados, aunque sólo parecieran ser más datos pues algunos se repiten de la tabla IV.11, sin embargo no es así; las hojas de cálculo muestran más valores representativos del enlace lo que nos permite ver la diferencia entre las tres propuestas antes mencionadas (ver subcapítulo IV.2.3 criterio de confiabilidad del sistema) y poder determinar cual es la mejor opción.

Cabe mencionar que en realidad no se presenta ningún cálculo, debido a que es ese precisamente el trabajo del programa de ingeniería (pathloss) y que para nosotros resulta transparente, y sólo nos concierne como ingenieros una vez introducidos los datos al programa determinar que parámetros podemos variar para hacer seguro al sistema y que no falle en el momento de la instalación (antenas de mayor diámetro, torres más altas, más potencia de transmisión etc.). Sin embargo a continuación se presentan algunas de las formulas que se tendrían que utilizar para obtener sólo algunos de los parámetros que el programa calcula:

$$L_p \text{ (dB)} = 32.4 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log D \text{ (km.)} \dots\dots\dots (a)$$

Donde:  $L_p$  = Pérdida en el espacio libre  
 $f$  = Frecuencia en MHz  
 $D$  = Distancia del enlace

$$\text{PIRE (dBm)} = P_{TX} \text{ (dBm)} + G_{TX} \text{ (dBi)} - P_{LT} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (b)$$

Donde: PIRE = Potencia isotrópica radiada efectiva en dBm  
 $P_{TX}$  = Potencia de transmisión en dBm  
 $G_{TX}$  = Ganancia de la antena en dBi  
 $P_{LT}$  = Pérdidas en la línea de transmisión en dB

$$N_{RX} \text{ (dBm)} = P_{TX} \text{ (dBm)} - P_{NT} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (c)$$

Donde:  $N_{RX}$  = Nivel de señal de recepción en dBm  
 $P_{TX}$  = Potencia de transmisión en dBm  
 $P_{NT}$  = Pérdida neta en la trayectoria en dB

$$F_m \text{ (dB)} = \underbrace{30 \log D}_{\text{Efecto de múltiples trayectorias}} + \underbrace{10 \log (6ABf)}_{\text{Sensibilidad a superficie rocosa}} - \underbrace{10 \log (1-R)}_{\text{Objetivos de confiabilidad}} - \underbrace{70}_{\text{Constante}} \dots\dots\dots (d)$$

- Donde:
- F<sub>m</sub> = Margen de desvanecimiento en dB
  - D = Distancia del enlace (km.)
  - f = Frecuencia (GHz)
  - R = Confiabilidad expresada como decimal (ejemplo, 99.99% = 0.9999 de confiabilidad)
  - 1 - R = Objetivo de confiabilidad
  - A = Factor de rugosidad  
= 6.10 en nuestro caso
  - B = Factor para convertir una probabilidad del peor mes  
= 1 para convertir una disponibilidad anual a una base para el peor mes

Estas son sólo algunas de las fórmulas que utiliza el programa internamente para hacer los cálculos y obtener los resultados correspondientes, sin embargo no son todas, además de que el Pathloss utiliza bases de datos internas, para algunas características de clima, tipo de terreno y demás consideraciones de cálculo, por lo que los resultados son más reales.

Para ejemplificar uno de los resultados calculados en el Pathloss, le pondremos valores a la fórmula para la pérdida en el espacio libre (a):

$$L_p \text{ (dB)} = 32.4 + 20 \log (5,800 \text{ MHz}) + 20 \log (8.22 \text{ km.})$$

Entonces L<sub>p</sub> = 125.9659 dB, que como se puede ver es muy cercano al calculado por el Pathloss (L<sub>p</sub> = 126.03 dB). Con esto se demuestra que para hacer unos 10 o 12 cálculos a la semana (que son los que se hacen en la práctica en una empresa dedicada a este tipo de trabajo) de todos los parámetros necesarios para decidir si un enlace es viable, resulta impracticable cuando el tiempo de respuesta debe ser lo más rápido posible.

\* Para mayor detalle de estas fórmulas se puede consultar la bibliografía: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, de Wayne Tomasi la cual se menciona en la bibliografía de esta tesis. En especial se puede consultar el capítulo 17, en donde se explica la comunicación y la ganancia de un sistema vía microondas. Por otra parte el Pathloss cuenta con un manual, en donde se explica con más detalle cada una de las consideraciones para cada caso en particular de un cálculo de enlace de microondas, este se puede consultar en cualquier empresa que cuente con el software, en nuestro caso se hizo en colaboración con la compañía ASTTEL S.A. de C.V.

## IV.9 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

En la tabla siguiente (Tabla IV.15) se muestran los resultados de disponibilidad y nivel de recepción para las tres combinaciones de implementar este enlace. Generalmente estos dos parámetros son los que más importan por lo que son los que se representan en la siguiente tabla:

LÍNEA DE TRANSMISIÓN	DIÁMETRO DE ANTENA	NIVEL DE RECEPCIÓN	DISPONIBILIDAD
CABLE COAXIAL HELIAX ½"	0.60 mts.	- 75.93 dBm	99.983094%
CABLE COAXIAL HELIAX ½"	1.2 mts.	-64.53 dBm	99.998775%
GUÍA DE ONDA EN EL LADO CENTRAL CAMIONERA Y CABLE COAXIAL HELIAX ½" EN EL LADO CALERA	0.60 mts.	- 62.24 dBm	99.999278%

**Tabla IV.15 Resumen de cálculos**

Si analizamos cada una de las opciones podemos decir que lo mejor para el cliente es la última, es decir con guía de onda del lado central camionera y cable coaxial heliax de ½" utilizando antenas de 0.6 m. Se observa que los resultados más importantes para el cliente son el nivel de señal de recepción y la disponibilidad del sistema. Algunos clientes piden más de tres veces después del punto en cuanto a disponibilidad se refiere, sin embargo con tres veces el sistema es del todo estable. También en el medio un nivel de recepción de -70 dBm es óptimo por lo que estamos (con la última opción) con un muy buen nivel de recepción.

La primera opción no es del todo segura, debido a que tanto la disponibilidad como el nivel de recepción no son muy aceptables y no se le asegura al cliente que en condiciones hostiles de clima (niebla, lluvia etc.) el enlace se mantenga funcionando correctamente.

La opción intermedia con cable coaxial heliax de ½" en ambos sitios pero con antenas de 1.2 metros de diámetro es también recomendable, no es tan confiable como con la opción de la guía de onda, sin embargo el enlace funcionaría. Esta opción es recomendada si es que no se quiere hacer el gasto de la línea de transmisión (guía de onda) especial y el deshidratador que tendría que instalarse.

#### IV.10 PERFIL DEL ENLACE

Por último mostramos el perfil del enlace (figura IV.19) el cual también es proporcionado por el Pathloss en donde se ve que el único obstáculo de consideración es un árbol de 21 metros de altura el cual ya se menciona en la tabla IV.2 en los datos del enlace. De esta manera se dice que el enlace no es crítico ya que libra perfectamente el 70% de la primera zona de Fresnel, aunque en general se recomienda librar el 100% de esta zona.

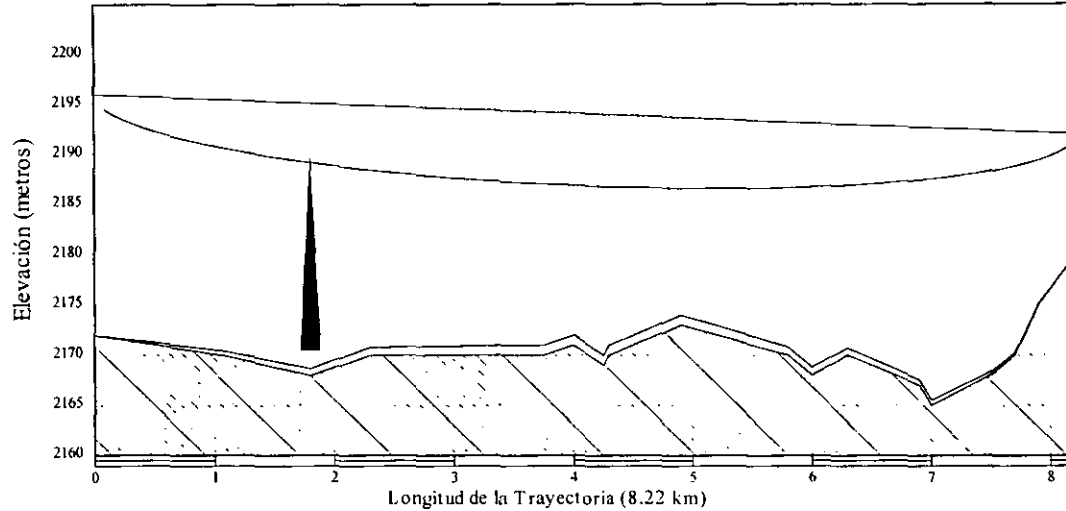


Figura IV.19  
Perfil del  
enlace

<b>Central camionera</b> Latitud 019 04 17 N Longitud 098 12 46 W Azimut 153.37 gr Elevación 2172 mASNM Altura de Antenas 24.0 mASNP		Frecuencia = 5800.0 MHz K = 1.33 %F1 = 70.00	<b>Calera</b> Latitud 019 00 18 N Longitud 098 10 40 W Azimut 333.38 gr Elevación 2180 mASNM Altura de Antenas 12.0 mASNP	
ENEP ARAGON				
CENTRAL CAMIONERA CALERA			Date 02-08-100	



## IV.11 EQUIPO DE MEDICIÓN

### IV.11.1 EQUIPO EMPLEADO EN EL ESTUDIO DE LÍNEA DE VISTA

#### PRECISIÓN DE LAS LECTURAS

- **Cinta Métrica:**  
Marca: ESLON  
Modelo: 50M +/- 0.05 mts
- **Cinta Métrica:**  
Marca: SCALA  
Modelo: 810-10m +/- 0.05 mts
- **Cámara Fotográfica Digital:**  
Marca: CASIO  
Modelo: QV-11B  
No. de serie: 2112931B
- **Pistola Láser (medidor de distancias):**  
Marca: RIEGL  
Modelo: SCOUT 1000-C +/- 0.10 mts  
No. de serie: 9599537

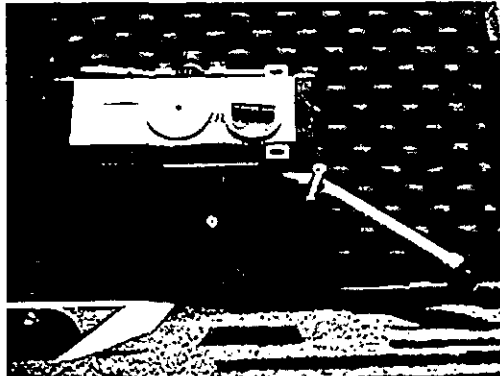


Figura IV.1 Pistola láser

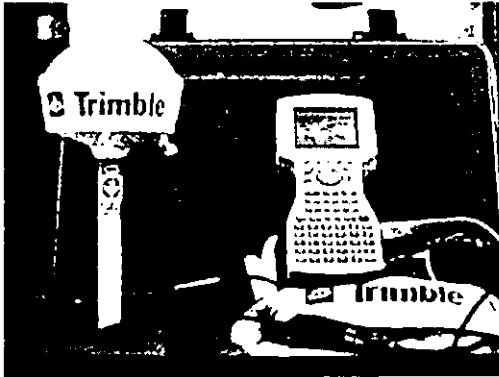
- **DGPS (Sistema Diferencial de Posicionamiento Global):**

Marca: TRIMBLE

Modelo: SC1

No. de serie: 0220132299

· 1.6 – 2.0 mts



**Figura IV.2 DGPS**

- **Multímetro :**

Marca: FLUKE

Modelo: 79

- **Binoculares**

- **Brújula**

- **Espejos**

- **Teléfonos celulares y cinturones de seguridad**

- **PC Pentium**

**Programa de ingeniería:**

**PATHLOSS VERSIÓN 3.0 PARA WINDOWS**

**1985-1995 CONTRACT TELECOMMUNICATION ENGINEERING**

**IV.11.2 EQUIPOS DE MEDICION EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS A  
EQUIPOS DE MICROONDA**

- **Analizador de espectro**  
Marca: HP  
Modelo: 8593E
  
- **Analizador digital de transmisión**  
Marca: HP  
Modelo: 3784A
  
- **Atenuador variable**  
Marca: HP  
Modelo: K382A
  
- **Amplificador para pruebas de barridos en frecuencia**  
Marca: CELERITEK  
Modelo: 2.0 – 40.0 GHz
  
- **Generador de funciones**  
Marca: GOLDSTAR  
Modelo: FG – 2002C
  
- **Medidor de potencia**  
Marca: HP  
Modelo: 436A
  
- **Osciloscopio**  
Marca: TEKTRONIX  
Modelo: 2465B 400MHz
  
- **Sensor de potencia**  
Marca: HP  
Modelo: 8485D 2 GHz - 26.5 GHz

## CONCLUSIONES

La realización del trabajo nos dio como resultado el conocimiento general de cómo realizar el diseño de un enlace de microondas, tomando en cuenta las consideraciones que se deben tener para poder diseñarlo (ver subcapítulo I.22).

El hecho de que se haya pensado en realizar un enlace de microondas fue determinado desde el momento en que existen ocasiones en las que es imposible tender un cable ó porque resultaría muy costoso la instalación del mismo, a través de una zona geográfica muy accidentada o en ciudades en las que la ruptura de la pavimentación sería además de costoso, también problemático por los problemas viales que se originarían, por esa razón se recurre a los enlaces de microondas, por ser en esos casos más baratos y libre de problemas en cuanto a construcción se refiere. Como ya se dijo anteriormente en el subcapítulo IV.2.1 el porque de enlazar estos dos sitios (Calera y central camionera en la ciudad de Puebla) es debido a que muchas de las empresas que están proliferando en la zona de Calera se enrutan a través de medios de transmisión más costosos (por ejemplo por medio de TELMEX en su red llamada RDI – Red Digital Integrada), sin considerar que sería más práctico tener un enlace propio.

Por otra parte para que un enlace ó toda una red de microondas sea construido, dependerá de la aprobación y justificación en cuanto a inversión se refiere, ya que cada compañía que solicita la ampliación de su red de telecomunicaciones verá y determinará cual será la mejor opción para crecer tomando en cuenta los medios con que se cuenta actualmente para hacerlo, ya sea físico (cable de cobre o fibra óptica) o no físico (en este caso los enlaces de microondas). La decisión para determinar cual será la mejor opción la definirá el departamento de ingeniería de cada compañía.

Para darnos una idea de la diferencia en costos entre una tecnología y otra, a continuación se presenta una tabla comparativa de los costos en implementar un enlace de microondas y lo que costaría rentar el servicio, en este caso el de RDI que ofrece TELMEX.

TABLA COMPARATIVA DE ENLACES DIGITALES CON CAPACIDAD DE 1E1 RDI VS ESPECTRO DISPERSO					
		TELMEX RDI	ASTTEL/WESTERN MULTIPLEX		
		USD	USD		
12	Contratación	\$15,000.00			
	Renta Mensual	\$1,200.00			
	Rentas mensuales	\$14,400.00			
	pago anual de derechos a SCT		\$60.00		
	Registro ante COFETEL		\$160.00		
	Precio por enlace		\$21,500.00		
	<b>Total 1er. Año</b>	<b>\$29,400.00</b>	<b>\$21,720.00</b>		
	<b>Diferencia 1er año</b>	<b>\$7,680.00</b>	<b>A favor del equipo</b>		
150	USD/mes de poliza de mantenimiento a partir del segundo año		\$5,400.00		
	Pago de derechos a SCT 4 años de uso del enlace		\$240.00		
60	Meses; plan a 5 años	\$87,000.00	\$27,360.00		
	<b>TOTAL</b>	<b>\$87,000.00</b>	<b>\$27,360.00</b>		
<p><b>El ahorro por enlace en 5 años es de :</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>\$59,640.00</b></td> <td style="text-align: center;"><b>USD</b></td> </tr> </table>				<b>\$59,640.00</b>	<b>USD</b>
<b>\$59,640.00</b>	<b>USD</b>				
<p><b>Notas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Tipo de cambio 10 pesos por US dólar</li> <li>2 El precio de contratación incluye punta A y B</li> <li>3 La renta mensual incluye punta A y B</li> </ol>					

**Tabla comparativa de la renta de un E1 contra un enlace de microondas con tecnología de espectro disperso (precios actuales junio del 2000)**

Como se puede ver la tabla esta basada en la renta del servicio para un E1 y se nota claramente que la inversión al paso del tiempo se amortiza, teniéndose una recuperación casi inmediata, además de que el análisis de la renta del servicio considera solamente un E1, siendo que el equipo que se propone tiene capacidad de hasta cuatro E1 teniendo esto más a nuestro favor.

Con el análisis anterior se puede observar la conveniencia de tener un enlace propio, siendo uno de los principales puntos a tratar en la venta de un equipo de microondas y siendo el estudio de línea de vista parte fundamental de la aceptación del proyecto.

Por último otro de los fines es el de aportar un sustento Teórico- Práctico de cómo se realiza un estudio de línea de vista (cabe mencionar que cada compañía realiza sus estudios de acuerdo a sus necesidades y los formatos varían, sin embargo el procedimiento a seguir es similar) para aquellos estudiantes del área de comunicaciones y electrónica que se interesen por el tema, teniendo con esto una visión de cómo se realizan en el campo de trabajo real (para seguir la secuencia de los pasos a realizar en un estudio se aconseja revisar el subcapítulo I.22, donde se presenta la metodología a seguir, la cual se plasma en el proyecto, en el capítulo IV).

# **BIBLIOGRAFÍA**

ENRIQUE HERRERA PEREZ  
FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA TELEFÓNICA  
EDITORIAL LIMUSA

JOHN R. PIERCE  
SEÑALES LA CIENCIA DE LAS TELECOMUNICACIONES  
EDITORIAL REVARTE

O' REILLY JOHN  
PRINCIPIOS DE TELECOMUNICACIONES  
EDITORIAL ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA

ROBERT G. WINEH  
TELECOMMUNICATION TRANSMISSION SYSTEMS  
EDITORIAL PRENTICE HALL

STREMLER, F. G.  
INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN  
EDITORIAL ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA

TOMASI, WAINE  
SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS  
EDITORIAL PRENTICE HALL

## **MANUALES**

GABRIEL ELECTRONICS  
MICROWAVE ANTENNAS & TRANSMISSION LINE SYSTEMS  
CATALOG 990

INSTALLATION AND MAINTENANCE MANUAL  
LYNX.sc E1 FAMILY  
SPREAD SPECTRUM RADIOS  
JANUARY 1999 GLENAYRE WESTERN MULTIPLEX

## **DIRECCIONES EN INTERNET**

<http://www.alcatel.com.mx/> (Fecha de consulta 5 de Julio del 2000. se actualiza diariamente)  
<http://www.andrew.com/home/default.asp> (Fecha de consulta 5 de Julio del 2000. se actualiza diariamente)  
<http://www.cft.gob.mx/> (Fecha de consulta 5 de julio del 2000)  
<http://www.ericsson.com> (Fecha de consulta 5 de Julio del 2000. se actualiza diariamente)  
<http://www.sct.gob.mx/> (Fecha de consulta 5 de Julio del 2000. se actualiza diariamente)  
<http://www.microwavenetworks.com/tmn99/nethome.htm> (Fecha de consulta 5 de Julio del 2000. se actualiza diariamente)  
<http://lamport.rhon.itam.mx/~creyes/msa3.htm> (Fecha de consulta 5 de julio del 2000)

## **FUENTES VIVAS**

C.P. MIGUEL FLORES CARMONA (DIRECTOR GENERAL DE LA DIVISIÓN MICROONDAS)  
ASTTEL S.A. DE C.V.  
DIVISIÓN MICROONDAS  
SAN BORJA 1307  
COL. VERTIZ NARVARTE MÉXICO, D.F., C.P. 03600  
E-MAIL: [divmicroondas@asttel.com.mx](mailto:divmicroondas@asttel.com.mx)  
TEL.: 55 59 60 33

ING. ISIDRO BORRAS ESCORZA (LIDER DE PROYECTOS DE MICROONDAS)  
NEXTEL DE MÉXICO S.A. DE C.V.  
BLDVD. MANUEL AVILA CAMACHO NO. 36,  
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC MÉXICO, D.F., C.P. 11000  
E-MAIL: [info@nextel.com.mx](mailto:info@nextel.com.mx)  
CONMUTADOR: 52-78-40-00

ING. JUAN RODRIGUEZ CABRERA (INGENIERO DE SERVICIO DE RADIO FRECUENCIA Y MICROONDAS)  
WFI DE MÉXICO. S. DE R.L. DE C.V.  
MUSSET N° 10  
COL. REFORMA POLANCO MÉXICO, D.F., C.P.11550  
TEL.: 52 52 03 98 30