

147  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ENLACE PARA SEÑALES DE TELEVISION  
Y DATOS ENTRE DOS EDIFICIOS.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO **ELECTRICO**

P R E S E N T A N :

**EZEQUIEL RAMOS RAMOS**

**HECTOR HORACIO ROJAS MERCADO**



ASESOR DE TESIS. M.C. AMANDA O. GOMEZ G.

MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**EZEQUIEL RAMOS RAMOS**

**DEDICO ESTA TESIS**

**A mis padres**

**Ezequiel Ramos Muñoz.  
Juana Ramos Vda. de Ramos.**

En especial a mi madre, quien con su amor y esfuerzo ha sido el pilar que me ha guiado, para realizarme como persona y profesionista en esta vida.

**A mis hermanos, tios y sobrinos.**

Por sus consejos y ejemplo, que me guiaron para lograr esta meta profesional y el apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis, a mis sobrinos espero que sirva de ejemplo para su vida

**A mi esposa.**

Que con su ayuda y paciencia me motivo para la conclusión de esta tesis

**En particular a mi Directora de Tesis.  
M.C. Amanda O. Gómez G.**

Por su amabilidad, orientación y sugerencias para corregir fallas y perfeccionar progresivamente esta tesis

**A mi Jurado.**

De antemano le doy las gracias por sus observaciones y su apreciable presencia en este día.

**A mis compañeros y amigos.**

**En memoria de**

**Guadalupe Arteaga Cervantes.**

**HECTOR H. ROJAS MERCADO.**

**DEDICO ESTA TESIS**

**A mis padres**

**Pablo Rojas Vargas**

**Sara Mercado Colín**

Como agradecimiento, por el esfuerzo y dedicación, que mostraron para ofrecer me una preparación, que me permita tener un lugar dentro de la sociedad.

También quiero mencionar el apoyo que he recibido de mis hermanos en los momentos buenos y malos.

A la UNAM, que me permitió obtener la carrera de ingeniería, y que brinda la misma oportunidad a más estudiantes.

**A mí Directora de Tesis.**

M.C. Amanda O. Gómez S., por su amabilidad, orientación y sugerencias en la elaboración de esta tesis.

**A mis compañeros y amigos.**

## **INTRODUCCIÓN.**

### **I.-DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ZONA**

### **II.-INFRAESTRUCTURA EXISTENTE**

### **III.-ANÁLISIS DEL TIPO DE SEÑAL Y MODULACIÓN**

### **IV.-ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN**

a) RADIO

b) MICROONDAS

c) FIBRA ÓPTICA



### **V.-CÁLCULO DE ENLACE**

### **COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

## INTRODUCCIÓN

Las propuestas que se analizan en este trabajo dan una metodología para el enlace entre 2 edificios cuales quiera que sean, para satisfacer así las necesidades de comunicación que imperan actualmente ya que el volumen de información a aumentado en gran medida

Se analizan los diferentes medios que pueden ser utilizados para satisfacer con rapidez y confiabilidad, los requerimientos de información en una empresa y así aumentar su rendimiento, los medios pueden ir desde un cable coaxial hasta fibra óptica o una red satelital según sea el caso

Tomando en cuenta las limitaciones geográficas, económicas, tecnológicas, etc se selecciona el medio que mejor se adapte a las situaciones de los 2 edificios y a las necesidades de la empresa

En el capítulo 1 se mencionan los parametros que se toman en cuenta para la descripción topografica de los edificios a enlazar

El capítulo 2 se evalua la construcción de los edificios para conocer si existe la infraestructura suficiente para llevar acabo el enlace.

El capítulo 3 se estudia los diferentes tipos de señales y modulación que se utilizan en un enlace

En el capitulo 4 se analizan cada uno de los medios que facilitan la transmisión de información

El capitulo 5 se da un esquema para la implementación del medio que sea seleccionado, así como un ejemplo de enlace entre 2 edificios.

El ejemplo se refiere en particular al enlace entre el edificio principal y anexo de la Facultad de Ingeniería basandose en los estudios realizados anteriormente.

## **INDICE.**

### **CAPITULO I**

#### **DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ZONA.**

El Trazado.	
Características del Terreno.	
Tipo de Suelo.	
Línea de Vista.....	5

### **CAPITULO II**

#### **INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....7**

### **CAPITULO III**

#### **ANÁLISIS DEL TIPO DE SEÑALES Y MODULACIÓN.**

##### **SEÑALES.**

Señal .....	9
Clasificación de las señales.	
Señales continuas.	
Señales discretas.....	10
Señales digitales.	
Señales reales.	
Señales complejas.....	11
Señales periódicas.	
Señales aleatorias.....	12
Señales determinísticas.....	13

##### **MODULACIÓN**

Modulación en Amplitud (Análogica).....	14
Modulación en Frecuencia (Análogica).....	19
Modulación AQSK, FSK, PSK, QAM.....	21
Modulación ASK.....	22
Modulación en Frecuencia.....	23
Modulación de Fase.	
Modulación PSK Bifásica.....	24
Modulación DPSK Bifásica.	

Modulación Multifase .....	25
<b>Características Generales De La Modulación de Fase.</b>	
Modulación ASK .....	
Modulación FSK .....	
Modulación PSK .....	26
Modulación Digital .....	
Modulación por Pulsos Codificados (PCM) .....	
Modulación por Pulsos .....	27
Muestreo .....	28
Cuantificación .....	29
Codificación .....	
Velocidad de Bits .....	32
Transmisiones en Banda Base .....	33
Clasificación de los Códigos .....	
Códigos NRZ y RZ .....	
Códigos de codificación de fase .....	
Códigos multinivel .....	
Códigos polares y unipolares .....	34
Modulación Analógica de la voz .....	35
Señales de Televisión .....	36
Video comprimido y no comprimido .....	39
Ancho de banda .....	41
Transmisión de T.V. por Redes Dedicadas .....	42
Multicanalización .....	43

## **CAPITULO IV**

### **ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN.**

Radio-Enlace .....	
Satélite .....	
Sistemas de Microondas .....	47
Rayo Láser Infrarrojo .....	
Fibras Ópticas .....	
Par Trenzado .....	
Cable Coaxial .....	48
Medios de Transmisión .....	49
RDSI en México .....	54
Análisis de Alternativas .....	57



## CAPITULO V

### CÁLCULO DE ENLACE.

Sistemas en Línea de Vista.	
Pasos para el Diseño del Enlace.....	60
Ubicación de los Puntos.....	61
Cálculo de las Alturas de las Torres.....	62
Guía para el Factor K.....	63
Punto de Reflexión.....	64
Enlace Punto a Punto.....	66
Desvanecimiento	
Ganancia de la Antena de Transmisión.	
Pérdidas en la Trayectoria.....	67
Diseño y Componentes del Sistema.....	68
Pérdidas y Limitaciones.....	69
Pérdidas de la Potencia de Transmisión.....	70
Pérdidas por Acoplamiento.....	71
Selección de Componentes.	
Fuentes Emisoras.....	72
Detectores.	
Pérdidas de la Fibra Óptica.....	73
Selección de la Fibra.....	74
Pérdidas en Conectores.....	
Pérdidas en Empalmes.....	75
Ancho de BANDA.....	76
DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA.....	79
INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA.....	83
DIAGRAMA DE LA RED PROPUESTA.....	92
TRAYECTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA.....	93
COSTO DEL PROYECTO.....	94
Costo de Mantenimiento.....	
Equipos Asignados para el Enlace.....	95
Ventajas.....	96

### COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### BIBLIOGRAFÍA

## **DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ZONA.**

**El Trazado.**  
**Características del Terreno.**  
**Tipo de Suelo.**  
**Línea de Vista**

## I.-DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ZONA

Para hacer posible la comunicación entre uno o más edificios , hay que observar el medio ambiente en el cual están ubicados, y analizar como influye el medio ambiente, para establecer un sistema de comunicaciones (satélite, microondas, fibras óptica etc ).

Es necesario hacer una inspección ocular del lugar para recavar información y conocer la situación geográfica entre los edificios, que se planea comunicar, porque ésta información influirá en gran parte para la selección del medio de comunicación que más se adecue a la situación geográfica, así como también influyen las necesidades de comunicación que se pretenden establecer en el proyecto

Para esto se recomienda obtener los siguientes parámetros.

### a) EL TRAZADO.

Revisar los planos (si existen ) de situación y alturas entre los dos edificios, de los cuales se desprende las pendientes, así como los cruces a alto nivel y bajo nivel de ríos y calles, como el número de curvas críticas. (éste ultimo es utilizado para los casos de fibras ópticas).

### b) CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

Se debe verificar si se trata por ejemplo de zona llana, montañosa, boscosa, pantanosa, de aguas, etc

### c) TIPO DE SUELOS

Hay que aclarar si el suelo es de humus, arcilloso, tepetate, con piedras, o si contiene impurezas químicas, etc

### d) LÍNEA DE VISTA.

Existe la línea de vista entre los edificios que se planea comunicar, es decir no hay obstáculos entre estos, que impidan en un momento dado establecer un sistema de microondas o un sistema de rayos láser, y si existe en que condiciones se encuentra, si es confiable para un futuro próximo, hay posibilidades de que ésta línea de vista sea anulada por construcciones futuras ajenas a los edificios, o si existen parques y jardines con árboles de gran altura que en un momento dado llegaran a perturbar la línea de vista.

## **INFRAESTRUCTURA EXISTENTE**

## II.-INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Una red para comunicar uno o más edificios, cae dentro de lo que es una red local, porque la comunicación está configurada en un área geográfica de tamaño moderado tal como un edificio o un campus, y es utilizada por una sola organización aunque no se descarta que se tenga comunicación con otras redes.

Hay compañías que tienen sucursales en todos los estados del país o solo en algunos estados y requieran tener enlazados todos sus centros de trabajo.

Por medio de estas redes, es posible enlazar oficinas, equipos de producción, laboratorios, hospitales, Institutos, etc permitiendo a cualquier usuario crear, almacenar, transmitir y recibir información, además de poder utilizar los recursos (impresoras, discos, graficadores etc) del sistema de una manera eficiente.

Para hacer el estudio del enlace de dos o más edificios, se realiza una visita a las instalaciones, con el propósito de conocer la siguiente información.

- Cuál es el número de niveles, de cada uno de los edificios.
- Preguntar si el edificio cuenta con conductores para la red de comunicación.
- Verificar si en las azoteas existen antenas de radio, así como antenas parabólicas.
- Si hay torres para las antenas.
- Conocer la distancia que separa a los edificios.
- Verificar si se cuenta con lo que se llama línea de vista, (que no se tenga ningún obstáculo entre los dos edificios).
- Si existe alguna instalación subterránea que enlace a los edificios disponible para ser utilizada.

Estos factores influyen en la selección del medio de comunicación a utilizar, y en los costos de instalación, porque hay sistemas con costos iniciales bajos en comparación con otros que son caros, pero que con el paso del tiempo, se vuelven obsoletos, o incapaces para ampliar la red en un futuro próximo, aquí es donde los sistemas baratos pueden convertirse en sistemas caros.

# ANÁLISIS DEL TIPO DE SEÑALES Y MODULACIÓN.

## SEÑALES.

### Señal

Clasificación de las señales.

Señales continuas.

Señales discretas

Señales digitales

Señales reales.

Señales complejas

Señales periódicas.

Señales aleatorias

Señales determinísticas.

## MODULACIÓN

Modulación en Amplitud (Análogica).

Modulación en Frecuencia (Análogica).

Modulación AFSK, FSK, PSK, QAM.

Modulación ASK.

Modulación en Frecuencia.

Modulación de Fase

Modulación PSK Bifásica.

Modulación DPSK Bifásica.

Modulación Multifase.

Características Generales De La Modulación de Fase.

Modulación ASK.

Modulación FSK.

Modulación PSK.

Modulación Digital.

Modulación por Pulsos Codificados (PCM).

Modulación por Pulsos

Muestreo

Cuantificación.

Codificación.

Velocidad de Bits

Transmisiones en Banda Base.

Clasificación de los Códigos

Códigos NRZ y RZ

Códigos de codificación de fase

Códigos multinivel.

Códigos polares y unipolares.

Modulación Análogica de la voz.

Señales de Televisión.

Video comprimido y no comprimido.

Ancho de banda.

Transmisión de T. V. por Redes Dedicadas.

Multicanalización

### III.-ANÁLISIS DEL TIPO DE SEÑAL Y MODULACIÓN

#### SEÑALES

Señal.

Es una función valuada en el tiempo, esto es, que para cada instante de tiempo la función tiene solamente un valor como se muestra a continuación, figura 1.

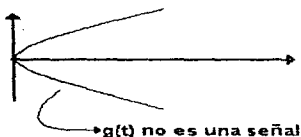
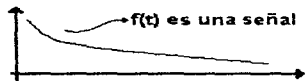
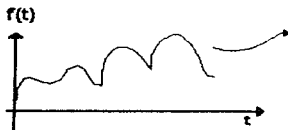


Fig. 1

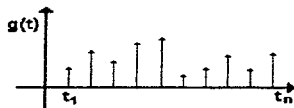
## CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES<sup>1</sup>

**Señales continuas:** Son aquellas en que uno o más variables pueden cambiar en cualquier instante de tiempo. Es decir que no existen intervalos

**Señales discretas :** Son aquellas en donde una o más variables pueden cambiar solo en ciertos instantes de tiempo, esto es, existen intervalos, figura 2.



$f(t)$  puede ser valuada en cualquier instante de tiempo.



$g(t)$  es una señal discreta ya que solo vale para  $t_1, t_2, \dots, t_n$  en los intervalos entre  $t_2$  y  $t_2$  etc.  $g(t)$  no existe.

Fig.2

<sup>1</sup> Ing. Bernardo Cardenas, Apuntes "Análisis de Sistemas y Señales"



**Señales digitales** : Son aquellas en donde su amplitud puede presentar unicamente dos valores (0,1), figura.3.

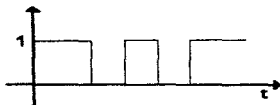


Fig.3

**Señales reales** : Son aquellas que se pueden definir solamente en el campo de los números reales.

**Señales complejas:** Para definir las es necesario usar el campo de los números reales e imaginarios, es decir, usando variables complejas, como se muestra en la siguiente ecuación<sup>2</sup>.

$$f(\alpha) \text{ donde } \alpha = a + jb$$

**a** .- Es un número real

**jb** .- Es un número imaginario.

---

<sup>2</sup> Ibidem.

**Señales periódicas:** Son aquellas en las cuales después de un intervalo de tiempo  $T$  la función se repite, figura 4.

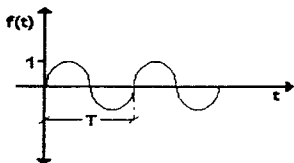


Fig.4

**Señales aleatorias:** La señal no se repite, es decir, no existe el intervalo de tiempo  $T$ , figura.5.

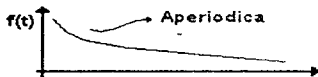


Fig 5

El intervalo de tiempo  $T$  se define como el periodo de la función, y es el inverso de la frecuencia de la función como se ilustra a continuación.

ecuación 2.

$$T = \frac{1}{f}$$

donde:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

y  $\omega$  = velocidad angular de la función en (rad/seg):

**Señales determinísticas:** Son aquellas en las cuales, a partir de un valores anteriores conocidos, se puede "pronosticar", el valor que tendrá en un instante de tiempo T, figura 6

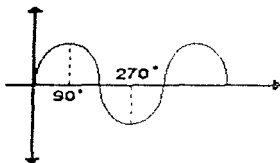


fig. 6

Apartir de los valores (sen 0°) podemos determinar el valor que tendrá en 360°.

**Señales aleatorias.** Toman valores aleatorios en cada instante de tiempo por lo que no se "pronostica", algún valor, figura 7.

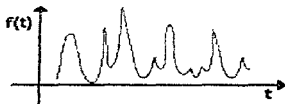


Fig. 7

## MODULACIÓN EN AMPLITUD.

El modular una señal en amplitud involucra el uso de una portadora que habitualmente es una senoide de la forma:

$$C(t) = A_c \cos(W_c t + \phi_c)$$

donde:

$A_c$  = Amplitud de la portadora que es constante.

$W_c$  = Frecuencia de la portadora

$\phi_c$  = Fase inicial de la portadora.

La portadora, que es una señal de R.F., no conduce información a menos que un conmutador opere interrumpiendo o dejando pasar la señal R.F. para formar la clave morse utilizada en telegrafía.

En la amplitud de la portadora se introduce la señal  $A$ , en  $f(t)$ , que se desea transmitir. Así la  $f(t)$  modula a la portadora

Su expresión matemática es:

$$E(t) = A_c f(t) \cos(W_c t + \phi_c)^3$$

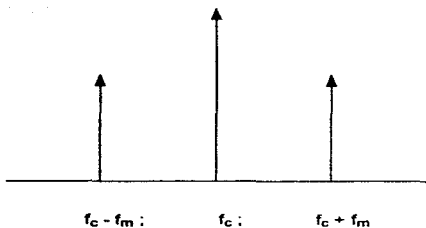
Al hecho de multiplicar la señal de R.F. por la de AF se le denomina **mezclado** o heterodino

La señal representada por la ecuación anterior se le llama **amplitud modulada**.

Al modular la portadora surgen las bandas laterales, supóngase que la frecuencia de la portadora es  $f_c$  y que la señal de audio,  $f_m$ , es una frecuencia única, al mezclarse para obtener la modulación en amplitud, el espectro de frecuencias queda definido para los valores como se muestra en la figura 8:

---

<sup>3</sup> Simens, Telecomunicaciones Digitales p 44



La figura 8 ilustra éste aspecto de frecuencias :

**Espectro de frecuencias de  $f_c$  y  $f_m$**

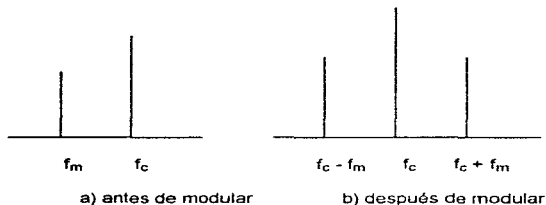


Figura 9

También se observa que aparece una frecuencia  $f_c - f_m$  por abajo de la  $f_c$  y otra frecuencia  $f_c + f_m$  por arriba de la  $f_c$ , como ilustra la figura 9.b estas frecuencias se les llama bandas laterales, estas dos bandas son simétricas entre sí, por lo que contienen la misma información, por esta razón, en la práctica solo se transmite una de ellas, la frecuencia  $f(t)$  tiene un ancho de banda (BW) comprendido entre la frecuencia más baja,  $f_{m1}$  y la más alta,  $f_{m2}$ .

Al modular la  $f(t)$  a la portadora de la frecuencia,  $f_c$  se tiene el espectro de frecuencias mostrado en la figura 10 con los valores.

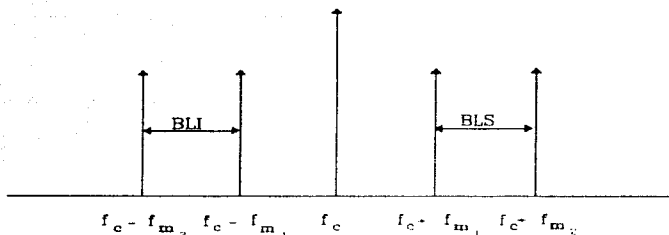


Figura 10, Espectro de frecuencias de  $f_c$  modulada  
por el BW  $f_{m1} - f_{m2}$

La banda comprendida de  $f_c - f_{m2}$  a  $f_c - f_{m1}$  se le denomina banda lateral inferior (BLI), dentro de esta banda comprendidas todas las frecuencias de audio que han sido, una por una, trasladadas a la BLI para este caso.

La banda comprendida entre  $f_c + f_{m1}$ , y  $f_c + f_{m2}$  se llama banda lateral superior (BLS); también dentro de esta banda se encuentran las frecuencias de audio, que han sido, una por una trasladadas a la BLS.

Al modular un ancho de banda se obtiene en frecuencia, dos bandas laterales y la portadora, por esto se le asigna el nombre de doble banda lateral (DBL).

La penetración que logra la señal moduladora en la portadora se llama Índice de modulación (figura 11), el cual queda expresado por

$$m = \frac{(A_{c\max} - A_{c\min})}{(A_{c\max} + A_{c\min})}$$

En relación con el voltaje de la señal de AF y la de RF, el índice se expresa por la ecuación.

$$m = \frac{\text{Amplitud de la AF. \%}}{\text{Amplitud de la RF.}} \dots^4$$

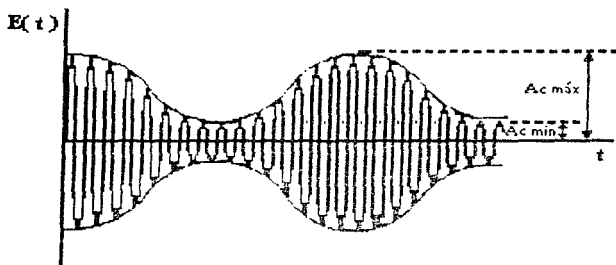


Figura 11. VOLTAJES DE REFERENCIA PARA EL ÍNDICE DE MODULACIÓN.

El índice de modulación toma los valores del 0 al 100%, ya que cada frecuencia es penetrada por un porcentaje diferente, el promedio de todos los índices es el que se evalúa por medio de las ecuaciones anteriores

En el índice de modulación del 100%, que es el que proporciona la mejor modulación, se observa que el voltaje pico de la AF es igual al de la RF.

De la ecuación anterior se define que el voltaje de las dos bandas laterales es igual al de la portadora.

De aquí se puede desprender la relación entre la amplitud de una de las bandas laterales, ya sea la BLI o la BLS y la portadora por.

$$\text{BLI o BLS} = m \frac{\text{Amplitud de la R.F.}}{2} \dots^5$$

<sup>4</sup> J. Dunlop/D.G. Smith Ingeniería de las telecomunicaciones p. 59

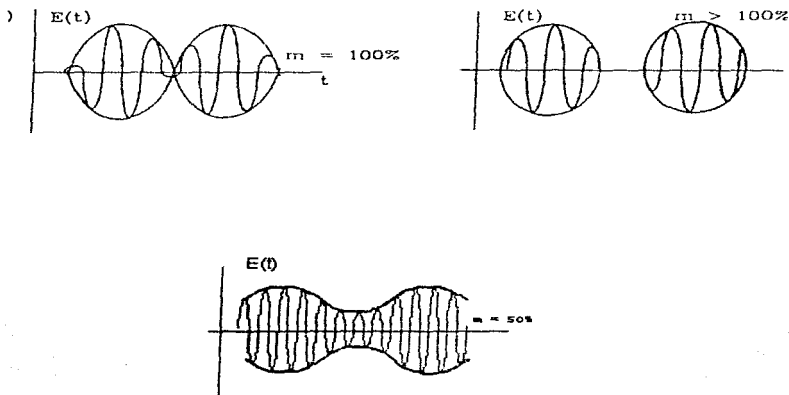
<sup>5</sup> Ibidem.

También de la ecuación de  $m$ , se concluye que la potencia que proporcione la etapa de audio, en el transmisor, debe ser el 50% de la potencia total, la etapa de RF aporta el otro 50%.

La figura 12 muestra varios diagramas para diferentes valores del índice de modulación.

En el caso (b) se denomina sobre modulación, en él existen períodos en que el voltaje de salida es cero. La sobre modulación causa interferencia con otros canales ya que genera bandas laterales no deseadas, impidiendo al receptor hacer el ajuste deseado. El índice de modulación no debe ser menor al 50%.

Figura 12



Penetración de la portadora con : (a)  $m=100\%$  ; (b)  $m>100\%$  ;  
(c)  $m=50\%$ .



## MODULACIÓN EN FRECUENCIA.

El ancho de banda asignado a la onda larga y onda corta, en las que de preferencia se modula en amplitud se fue cubriendo, por lo que se hizo necesario ampliar la banda a frecuencias más elevadas y con esto a dar paso a nuevas técnicas de modulación.

La modulación en fase y frecuencia opera con una banda de varios Megahertz ya que este tipo de modulación, requiere un ancho de banda de transmisión del orden de los Kilocertz.

La modulación en FM presenta varias ventajas sobre la AM debido a que ésta última tiende a incrementar el nivel de ruido conforme se hace necesario aumentar la amplitud y además por que el ruido en general, está formado por señales aleatorias moduladas en amplitud que se combinan con la AM durante su transmisión

En este tipo de modulación la frecuencia, es la que varía y no la amplitud de la portadora, como en el caso de la AM por lo que la FM está relativamente libre de ruido

Existe sin embargo, una relación de la señal de AM y FM, es que mientras la amplitud de la señal de AF se incrementa en la parte positiva de la onda, la señal modulada en frecuencia genera frecuencias elevadas, esto es, se comprime. Cuando la AF toma los valores negativos de la onda de frecuencia de la FM baja, esto es, se dispersa, como muestra la figura. En este caso particular se le presenta como amplitud constante.

Las variaciones de amplitud de la AF también son seguidos por la FM. Sin embargo, para la FM, únicamente son de interés los cortes en el eje de frecuencia, por lo que el nivel de amplitud solo es necesario para efectos de operación de los circuitos; éste nivel se mantiene constante pasando la señal a través de un limitador.

Así, la señal de frecuencia modulada sigue a la señal de audio, según los picos positivos de amplitud alcanzan altas frecuencias, y en los picos bajos, frecuencias menores. El proceso se repite con el periodo de la AF, por lo que la señal en FM tiene una frecuencia central,  $f_c$ , y una desviación hacia la derecha e izquierda de esta frecuencia  $A_{fc}$ .

La razón entre la máxima desviación y la frecuencia máxima de la señal de AF,  $f_m$ , se llama índice de modulación de la FM ( $\beta$ ) como se muestra en la ecuación:

$$\beta = \frac{\text{máx. desviación en frecuencia}}{\text{frec. máx. de la señal modulada}}$$

en donde  $\beta$  se representa por la ecuación.

$$\beta = \frac{\Delta F}{f_m}$$

En la modulación FM el 100% de la modulación no tiene el mismo significado que la AM para la FM este 100% implica que la frecuencia va a tener el máximo de desviación permitido en relación con la frecuencia central. El 50% en el índice de modulación implica la mitad de la desviación permitida en relación con la frecuencia central.

La máxima desviación,  $\Delta F$  es de  $\pm 75$  Khz, ósea, 150 Khz para FM normal y de  $\pm 100$  Khz para FM estéreo.

La desviación en frecuencia determina el número de armónicas a considerar en la transmisión, y esto a su vez, está relacionado con el número de bandas laterales generadas en la FM.

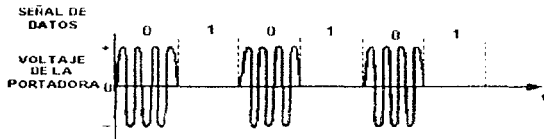
Las bandas laterales de la FM no son generadas como la suma o la diferencia de frecuencias, como en el caso de la AM sino, que la primera banda de FM es generada a partir de frecuencia portadora, sumándole por un lado, y restándole por otro, la frecuencia modulada,  $f_m$ , restándola o sumándola a la frecuencia portadora.

Así se puede considerar que el ancho de la banda de la FM, es de dos veces la frecuencia de la armónica como máxima en la transmisión.

Dado que el número de armónicas puede ser muy grande, únicamente se consideran aquellas que son significativas, ósea, las que su amplitud sea mayor al 1% de la amplitud de la portadora sin modular.

## MODULACIÓN (AQSK),(FSK),(PSK) Y (QAM).

Así como existe una multitud de técnicas de modulación para señales analógicas, también la información digital se puede oprimir sobre una onda portadora de muchas maneras. Dado un mensaje digital, la técnica de modulación más sencilla, es la manipulación por corrimientos de amplitud (ASK), donde la amplitud de la portadora se conmuta entre uno o más valores por lo general el puesto (on) y el (off) de las señales binarias, como se muestra en la figura 13:



Forma de onda de modulación digital, para mensaje binario por corrimiento de Amplitud.

La onda modulada consiste entonces de pulsos de RF o marcas, que representan al binario 1, y espacios que representan al binario 0 de la figura 13. De manera similar, se podría manipular la frecuencia y la fase donde la manipulación por corrimiento de frecuencias (FSK) o la manipulación por corrimiento de fase (PSK).

Estos tipos de modulación corresponden a la AM y FM respectivamente, claro que el precio de esta sencillas técnicas es un ancho de banda de transmisión excesivo tal como la AM analógica

A continuación se presentan los tipos de modulación (2PSK), (4PSK), donde PSK del inglés Key-Shift-Keying así como la modulación (QAM), que representa la modulación por cuadratura y amplitud.

## MODULACIÓN DE AMPLITUD ASK

La modulación de amplitud consiste en la variación de amplitud de una señal llamada portadora, en función de los datos a transmitir. En particular los bits 0 y 1 se representan por ausencia y presencia de la portadora, figura 14.

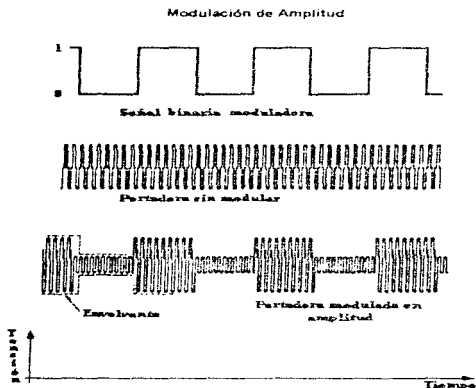


Figura 14

La modulación de amplitud en la transmisión de datos tiene el inconveniente de ser más sensible al ruido, a las perturbaciones, a las variaciones de amplitud que en la modulación de frecuencia y la modulación de fase. La anchura de banda, centrada al rededor de  $f_p$  es el doble de la señal del mensaje, para reducir la banda ocupada y la potencia de transmisión se puede transmitir, una sola banda lateral o bien la portadora reducida y una banda lateral parcialmente suprimida.

## MODULACIÓN DE FRECUENCIA

La modulación de frecuencia FM consiste en hacer variar la frecuencia de la señal transmitida en función de la señal de datos, muy usada en la transmisión de datos y el tipo más común es la FSK<sup>7</sup> (Frequency Shift Keying).

En la FSK dos frecuencias diferentes corresponden a los niveles binarios uno y cero, figura 15.

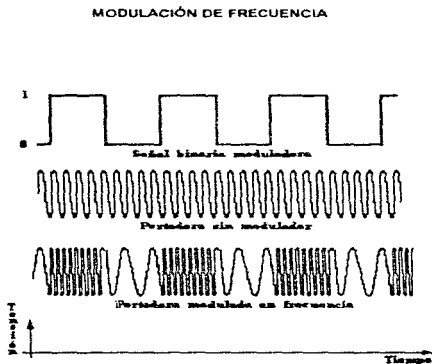


Figura 15

<sup>7</sup> Siemens, Telecomunicación Digital p 45

## MODULACIÓN DE FASE

La modulación de fase consiste en hacer variar la fase de la señal transmitida, en función de la señal de datos.

### a) MODULACIÓN PSK BIFÁSICA.

En la PSK<sup>B</sup> bifásica la señal transmitida esta desfasada en un ángulo función del bit de la señal de datos, los dos niveles binarios 0 y 1 se hacen corresponder a dos fases diferentes, figura 15.

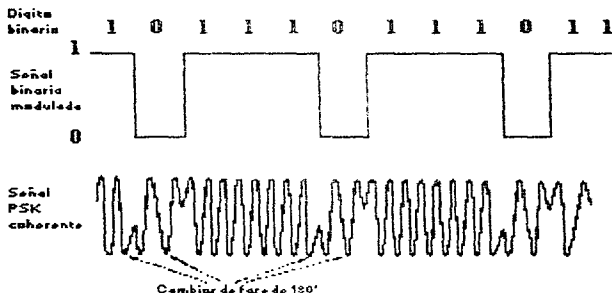


Figura 15

\* ibidem

## b) MODULACIÓN DPSK BIFÁSICA

La modulación PSK presenta el inconveniente de que se necesita en la recepción una fase de referencia fija, con la cual comparar la fase de la señal recibida, de modo de detectar la presencia del bit 0 ó 1. (Se prefiere por lo tanto recurrir a la modulación de fase diferencial DPSK).

En ésta a cada bit 0 le corresponde una variación de fase, por ejemplo de 180 grados y a cada bit 1 ninguna variación de fase.

## c) MODULACIÓN MULTIFASE.

Generalmente en la transmisión de datos se utiliza la modulación multifase de QPSK 4y 8FSK fases o variaciones de fases, de esta modo se consigue doblar o triplicar la velocidad de transmisión. La modulación multifase se usa mucho entre 2400 [b/s] y 9600 [b/s] figura 17.

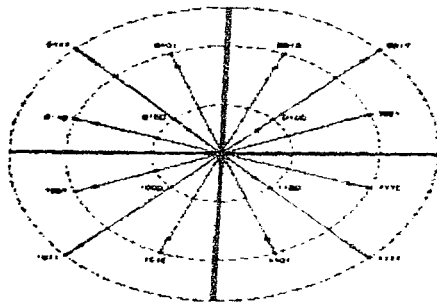


Figura 17

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MODULACIÓN DE FASE

La modulación de fase es muy usada en la transmisión de datos, ya que presentan mejores características que la AM y que la FM, con respecto al ruido, la banda ocupada es del mismo tipo que la modulación de amplitud ON-OFF. Las velocidades de transmisión son más elevadas que en FSK ya que la fase de la señal transmitida corresponde a varios bits en el sistema multifase.

A fin de mejorar la eficiencia, los transmisores PSK pueden emplear cuatro fases para enviar los cuatro números 00,01,10,11. La eficiencia se incrementa aún más mediante la transmisión de ocho fases para enviar los ocho números, 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

**ASK.**-Suele utilizarse para enlaces por fibras ópticas.

**FSK.**-Normalmente se utiliza en enlaces asincrónicos ya que es posible demodular asincrónicamente, es el más económico y fácil de construir. Por consiguiente es el sistema ideal para operación a baja velocidad. Es un sistema bastante sólido lo que es importante cuando se utiliza en redes de computadoras. La desventajas de FSK es el ancho de banda relativamente grande que se emplea .

**PSK.**-Es el método más eficiente para transmitir datos binarios en presencia de ruido, en comparación con lo que ocurre en el caso de la FSK. La señal PSK debe demodularse sincrónicamente, por lo que es un candidato ideal para el módem sincrónico. Los requisitos de ancho de banda son excelentes si se emplea QSPK o DPSK.



## MODULACIÓN DIGITAL

Si nosotros deseamos transmitir señales de voz a través de redes digitales lo que tenemos que hacer es muestrear la señal de voz analógica.

### MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)<sup>9</sup>.

Para la modulación por pulsos codificados es necesario transformar las señales de voz de variación continua en una serie de impulsos codificados, invirtiendo luego el procedimiento para restituir las señales analógicas.

### MODULACIÓN POR PULSOS

El método más complicado para la modulación de pulsos, se incorpora una técnica que consiste en codificar muestras individuales de la amplitud de la señal de la información y transmitir la información codificada a fin de representar cada tamaño de la muestra. El proceso de muestrear y codificar es lo que llamamos PCM (Pulse Code Modulation).

Las muestras de la señal de información en PCM deben convertirse en valores numéricos discretos preasignados; por tanto cada muestra debe almacenarse en el depósito de código que represente su valor real con mayor precisión. El proceso de digitalizar una señal de información se denomina cuantización y da por resultado algo de ruido extra (ruido de cuantización), en los datos recuperados.

La modulación por impulsos es una técnica digital para la transmisión de datos y es la menos susceptible a los ruidos, que los otros tipos de modulación existentes, al usar la modulación por impulsos se minimiza la tasa de error durante la transmisión y por lo tanto también se puede aumentar la velocidad de transmisión.

---

<sup>9</sup> J. Dunlop/D.G. Smith, "Ingeniería de las telecomunicaciones" p 94

El sistema PCM fue desarrollado en 1939 por A. H. RECIVES en los laboratorios BELL, aunque el sistema engloba múltiples procesos suele describirse en tres etapas:

- 1) Muestreo
- 2) Cuantificación
- 3) Codificación

### MUESTREO

Consiste en tomar suficientes lecturas (muestras), de la señal de voz. Donde suficiente significa una calidad buena que permita reconocer cada una de las voces.

Para determinar la velocidad de muestreo se hace uso del "TEOREMA DE MUESTREO", el cual establece:

"Toda la información de la señal original estará representada por muestras tomadas a intervalos regulares de tiempo si:

- La señal original tiene un ancho de banda limitada esto es, no contiene ninguna componente con una frecuencia arriba de un valor  $B$ .
- La frecuencia de muestreo  $f_s$ , es más del doble, que la más alta frecuencia de la señal original, esto es,  $f_s = 2B$ ".

En telefonía se trabaja con un ancho de banda de 300 a 3400 Hz. Una frecuencia de muestreo apropiada es 8000 muestras/seg. ya que llena los requerimientos para que no se pierda información.

El resultado del muestreo es una señal PAM (PULSE AMPLITUDE MODULATED, Modulación por Amplitud de Pulsos), donde cada pulso corresponde directamente a la amplitud de la señal de voz. En la figura 18 se observa la señal PAM obtenida de la señal de voz.

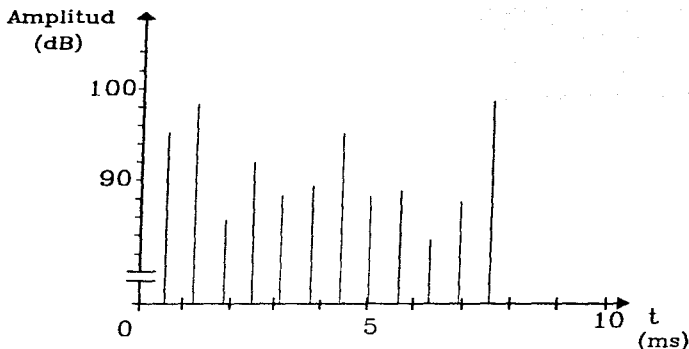


Figura 18

### CUANTIFICACIÓN

La transmisión digital involucra la transferencia de valores numéricos, por lo tanto debemos medir el "peso" de los pulsos de la señal PAM, y dar a cada pulso un valor numérico. Para no obtener un número infinito de valores numéricos, los niveles de amplitud se dividen en intervalos. Todas las muestras que caen dentro de un intervalo dado se les da el mismo valor. Esto se conoce como cuantificación de la muestra.

La cuantificación significa un compromiso con la exactitud. La serie de números no representa realmente la curva de voz original, la desviación se conoce como distorsión de cuantificación, pero al mismo tiempo obtenemos un número limitado de valores numéricos a transmitir por lo que el equipo puede hacerse más sencillo y el riesgo de errores de transmisión hacerse más pequeño.

En sistemas telefónicos se usan 256 intervalos de cuantificación y por lo tanto, existen 256 valores diferentes a transmitir, pero existe un problema si los intervalos de cuantificación son exactamente del mismo tamaño. En estos casos se tiene la misma cantidad de distorsión en cuantificación independiente de la amplitud. Si vemos la distorsión en relación a la amplitud nos damos cuenta que es importante para la auditividad que la distorsión sea pequeña en relación con la intensidad del sonido figura 20.

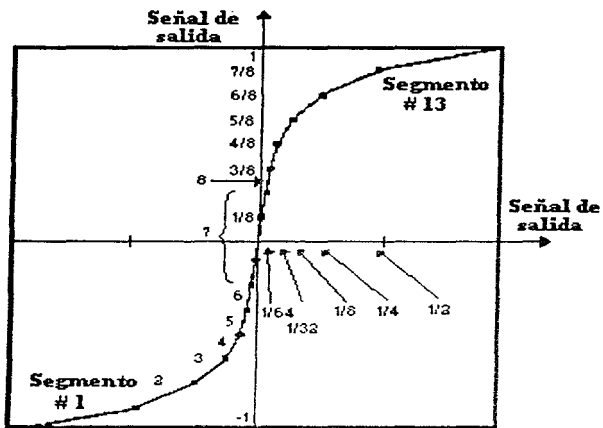


figura 19

Una manera de resolver esto es hacer los intervalos de cuantificación suficientemente pequeños de manera que aún las variaciones de amplitud más pequeñas pueden transmitirse con niveles de audibilidad suficientemente buenos. Sin embargo al mismo tiempo, obtendremos intervalos innecesariamente pequeños para las amplitudes grandes y además un número innecesariamente grande de valores a transmitir.

El ideal sería un esquema que incremente el intervalo de cuantificación conforme aumenta la amplitud. La relación amplitud/distorsión debería de preferencia mantenerse constante. Además tenemos que encontrar el balance correcto entre el número de intervalos de cuantificación y la calidad deseada de transmisión.

Existen dos modelos para resolver este problema el primero la ley A que se muestra en la figura 19, el otro la ley U sigue los mismos principios, pero tiene 15 segmentos en lugar de 13. Otra diferencia es que bajo la ley U la máxima amplitud se codifica con ceros y en la ley A con unos.

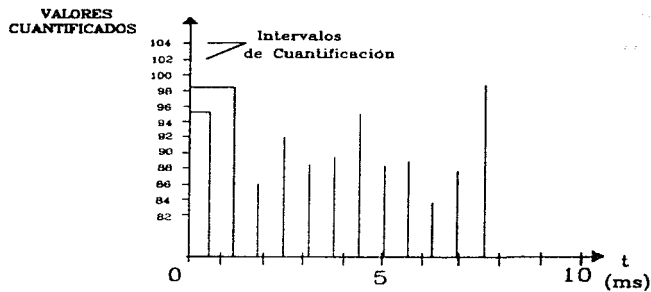


Figura 20 Muestras con sus correspondientes niveles cuantificados

## CODIFICACIÓN

Una forma apropiada para la transmisión es dar 256 valores posibles, esto es con pulsos binarios, pulsos con solo 2 niveles, ocho de tales pulsos o bits, son suficientes para formar un código único (figura 21), para cada valor de los intervalos:

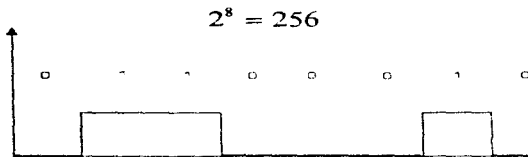


Figura 21

### VELOCIDAD DE BITS.

Con ésto, se completa el proceso de Modulación de pulsos (PCM), y se obtiene un código binario de 8 bits, conocido como palabra PCM (fig. 22), una palabra PCM corresponde a una muestra. Como la velocidad de muestreo es de 8000 Hz, entonces se obtienen 8000 palabras PCM por segundo. Para cada conversación. La velocidad de transferencia de bits, en un enlace digital es de  $8 \times 8000 = 64000$  [b/s].

Por ejemplo, en telefonía la digitalización de la voz se lleva a cabo con el proceso llamado PCM usando los siguientes parámetros:

- Muestreo: 800 veces por segundo.
- Cuantificación: a cada muestra se le asigna uno de 256 valores.
- Codificación: a cada valor cuantificado se asigna un código binario de 8 bits.
- Velocidad: de acuerdo a los parámetros anteriores la velocidad resulta de 64 [Kb/s].

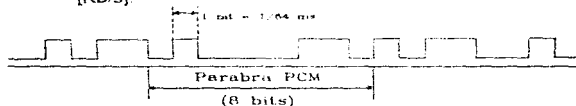


Figura 22

## TRANSMISIONES EN BANDA BASE

Las transmisiones en banda base se caracterizan por el hecho de no requerir modulación y por lo tanto pueden realizarse con dispositivos más simples y menos costosos, sobre todo a grandes velocidades y en el caso de transmisiones sincrónicas se usan en particular en cable telefónico para conectar aparatos distantes entre sí, (pocos kilómetros.).

Las velocidades de transmisión parten desde algunos cientos de bits por segundo para llegar a valores superiores a 1 M[b/s]; los valores comunes van desde 300[b/s] hasta 96 k[b/s].

La transmisión en banda base implica algunos problemas como son:

- 1) La señal tiene que codificarse para una mejor adaptación a la línea, en efecto los transformadores en los extremos de la línea (transladores) y los eventuales amplificadores intermedios, no dejan pasar la componente continua y por lo tanto una sucesión de bits 1 se transforman en una sucesión de bits 0, es preciso entonces codificar la señal de modo de eliminar la necesidad de que el sistema de transmisión responda a las componentes continuas.
- 2) El límite superior de la banda tiene que ser limitado o adecuado a la banda del medio de transmisión.
- 3) La señal digital codificada tiene que ser tal, que permita la detección de eventuales errores.
- 4) La señal transmitida tiene que tener características tales, como para permitir la sincronización del receptor con el transmisor.

## CLASIFICACIÓN DE LOS CÓDIGOS

### 1) **Códigos NRZ<sup>10</sup> (NON RETURN TO ZERO) y RZ (RETURN TO ZERO).**

La diferencia consiste en el hecho de que en los códigos NRZ no se tiene retorno a cero de la señal en el intervalo de un bit.

### 2) **Códigos de codificación de fase**

En ellos se tiene una transición de nivel de señal en cada intervalo de bit.

### 3) **Códigos multinivel.**

En ellos la información esta representada por señales que tienen más de dos niveles.

### 4) **Códigos polares y unipolares.**

Los primeros se diferencian de los segundos, por el hecho de que los niveles de la señal tienen diferente signo algebraico, en los segundos las tensiones correspondientes a los bits 0 y 1 tienen el mismo signo y difieren por su valor. Los códigos más usados son del tipo NRZ, RZ, decodificación de fase y multinivel.

---

<sup>10</sup> SIMENS, Telecomunicación Digital p 37



## MODULACIÓN ANALÓGICA DE LA VOZ

La modulación es el intercambio de información entre dos puntos, utilizando un medio de transmisión. Sin embargo, si dos o más comunicaciones ocurren a la vez por el mismo medio de transmisión, se genera una interferencia que destruye la comunicación. Esta interferencia puede ser evitada empleando un medio de transmisión por cada comunicación o de otra manera, utilizando solamente una parte restringida de éste medio.

La modulación es la adaptación de una señal al medio de transmisión y se basa en la combinación de una señal de información con una señal de transporte, la cual nos hace ocupar solamente una parte del medio de transmisión.

Una de las ventajas de la modulación consiste en la multicanalización. Esta permite la transmisión en forma simultánea de varios mensajes utilizando un solo canal de comunicación.

La voz humana se encuentra dentro del rango de frecuencia de 0 Hz a 25 KHz denominado Audio Frecuencia (AF) con estas se obtienen longitudes de onda promedio de 300,000 metros.

$$v = \lambda F$$

$$\lambda = v / F$$

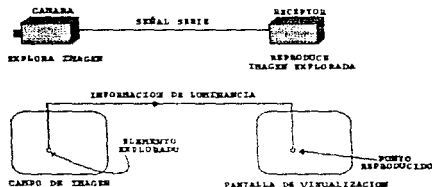
Actualmente las antenas que se utilizan para radiar señales de audio son del tipo Marconi. Estas antenas se caracterizan porque su altura sobre la tierra es de una cuarta parte de la longitud de onda de la señal radiada. Con base en lo anterior, las antenas que pueden radiar las audiofrecuencias deben ser de 5 a 6 Km de altura, lo cual resulta muy impráctico. Sin embargo si se logra trasladar la banda de audiofrecuencia a frecuencia lo suficientemente elevadas para que el diseño de los radiadores resulte posible, digamos del orden de KHz (Radiofrecuencias), entonces la antena deberá tener de 80 a 120 metros de altura, lo que es mucho más práctico.

# SEÑALES DE TELEVISIÓN

Las señales de televisión, básicamente, se generan y transmiten de una manera diferente a como se hace en las técnicas usadas en las películas, la imagen se explora en series de barridos horizontales (625 líneas por trama en Europa); en cada barrido, la luz reflejada por la imagen se convierte en una señal electrónica, cuya amplitud instantánea representa la cantidad de luz reflejada.

La reproducción de la imagen tiene lugar variando la intensidad de un haz luminoso proporcionalmente al nivel de señal recibida, como se ilustra en la (figura 23)<sup>11</sup>.

Figura 23. TRANSMISIÓN SERIE DE UNA IMAGEN BIDIMENSIONAL



Los datos relativos a la variación de luz de la imagen se conocen como luminancia. Para una reproducción precisa de la imagen se necesitan transmitir pulsos de sincronismo que marquen el comienzo de la imagen y pulsos de supresión en el intervalo en el haz vuelve al comienzo de la siguiente línea de

<sup>11</sup> ALCATEL : Comunicaciones E<sup>l</sup>éctricas, 3er Trimestre de 1963 p 215

explotación. Todas estas señales se combinan, siendo la señal transmitida la señal compuesta de video como se muestra en la siguiente figura 24.

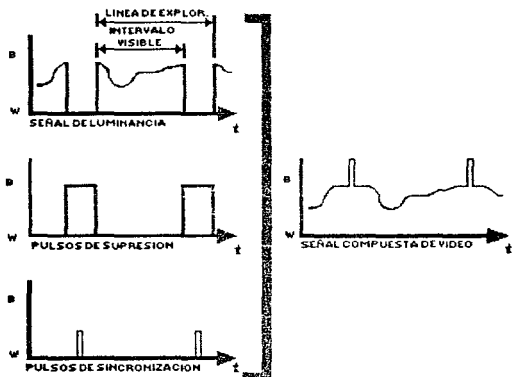


Figura 24. Combinación de la señal de luminancia con los pulsos de sincronismo y de supresión una señal compuesta de video<sup>12</sup>.

Para transmitir una imagen de color, solo se necesita un poco más de información: cada color se puede representar por una combinación lineal de los tres colores primarios de la luz (rojo, verde y azul). La figura 25 siguiente muestra ésta información en dos dimensiones:

<sup>12</sup> ALCATEL : Comunicaciones Eléctricas, 3er trimestre de 1993 p 216

## RUEDA DE COLORES<sup>13</sup>

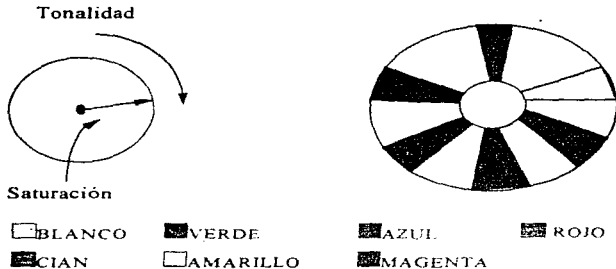


Figura 25

sobre la rueda de colores, el borde representa el tono, mientras que la saturación se determina por la distancia al centro, que es el blanco. De ésta forma, son suficientes dos datos para definir el color de cada punto sobre la pantalla. La transmisión de ésta información tiene lugar usando, en la banda de señal de video, una portadora de color modulada simultáneamente en frecuencia y amplitud, añadida a la señal de luminancia, la información sobre el color se llama crominancia, figura 26.

Para poder reconstruir exactamente la frecuencia de la información de color, se añade una referencia sinusoidal (ráfaga de sincronización cromática) en la zona de supresión. La señal de video final se representa a continuación<sup>14</sup>.



Figura 26.

<sup>13</sup> *Ibidem*

<sup>14</sup> ALCATEL : Comunicaciones Eléctricas, 3er Trimestre 1993 p 217

Además del intervalo de supresión horizontal, cuando el haz luminoso vuelve al comienzo de la siguiente línea, hay también un intervalo de supresión vertical (VBI), donde el haz se suprime mientras se mueve desde el final de una trama hasta el comienzo.

Habría que recordar que hay también una señal de audio asociada a la señal de video, normalmente modulada sobre otra onda portadora.

A partir de las señales básicas descritas se está desarrollando una con señales, analógicas, de mayor calidad, en las cuales la información sobre luminancia se transmite por separado (señal de componentes); pronto la televisión digital será normal en el hogar.

## VIDEO COMPRIMIDO Y NO COMPRIMIDO

La banda requerida para la transmisión de una señal de video compuesta es de unos 6MHz (con una ligera variación de acuerdo con la norma).

La velocidad binaria necesaria para la transmisión de ésta información en modo digital depende de la tasa de muestreo y del número de bits de cuantificación usados; se usa normalmente una velocidad de 140 Mbit/s<sup>15</sup> porque permite una facilidad de conexión con las redes de telecomunicaciones ordinarias. Los dispositivos que transmiten estas señales de video se llaman codecs sin compresión. Codec es la abreviatura de codificador/decodificador, el transmisor y receptor respectivamente. Este método de transmisión es conocido como "no-comprimido" porque no hay ningún proceso especial en la señal de video para reducir la velocidad requerida.

En el caso de transmisión sobre una red especializada, la transmisión puede realizarse digitalmente con tecnología y velocidades exclusivas, usando sistemas de transmisión ópticos.

Una característica importante de las señales de video es la presencia de información redundante. La característica de un punto de luz (pixel-elemento de la pantalla) es que existe una alta probabilidad de correlación entre puntos vecinos; por ejemplo, si un pixel es negro es muy probable que los pixels vecinos sean negros o gris oscuro, no es probable que sean blancos o azul cielo.

Esta correlación puede ser o espacial, como se ha explicado, o temporal, ya que las modificaciones entre dos tramas sucesivas son relativamente lentas.

<sup>15</sup> ALCATEL : Comunicaciones Eléctricas, 3er Trimestre de 1993 p 218

Debido a estas características de las señales de video, es posible reducir la cantidad de información a transmitir (video comprimido), por lo que se puede usar una banda más estrecha. Los codecs más comunes transmiten señales de video comprimidas a una velocidad de 34 Mbit/s.

Esto es útil cuando la anchura de banda está limitada por la transmisión, por ejemplo, transmisión por radio o satélite. Pero, es también normalmente aconsejable utilizar bandas más estrechas cuando se dispone de medios de transmisión de un proveedor distinto al original, donde los precios se determinan según la anchura de banda de transmisión.

Este es el caso de antes de televisión, que utilizan la red telecomunicaciones para transmitir señales de televisión, y que pagan menos dinero cuando transmiten video comprimido.

Son similares los problemas encontrados en videotelefonía, donde se usan líneas telefónicas ordinarias para transmitir imágenes. En éste caso, la compresión de la señal de video se hace más sencilla debido a dos factores: primero por la pantalla que es pequeña, lo que permite una buena calidad incluso con menor resolución, y segundo por las imágenes a transmitir que son casi estáticas. Por tanto, los servicios telefónicos pueden funcionar a velocidades de transmisión muy lentas.

Hasta hoy la compresión de las señales de video para aplicaciones de televisión se ha usado principalmente en redes de contribución o de distribución primaria: se necesitan dispositivos muy sofisticados para la compresión de video de 34 a 45 Mbit/s, que conserva una imagen de alta calidad; 6.6 Mbps, en CLi (FULL MOTION).

Para la tendencia seguida por las nuevas redes de transmisión de señales de video, terrestre o vía satélite, es el transporte de señales de video directamente al usuario, digitalmente y a bajas velocidades, para reducir la anchura de banda necesaria y por tanto transmitir un mayor número de canales de video, favoreciendo el desarrollo de servicios de video interactivos. Además de los problemas de compresión, el sistema tiene un importante impacto en la red de distribución de señales de televisión y en las terminales de los usuarios.

385 Kbs.....Velocidad Comp.  
43,000 dw  
128,256,384 Kbps

3.9.....Medium Motion  
2.6.....Low Motion  
87,000 ....full motion

## ANCHO DE BANDA

Las señales de interés, y de mayor utilización, en lo que concierne para la comunicación entre dos edificios, trátense estos de hospitales, escuelas, oficinas, etc. son: voz, audio e imágenes, estas señales son analógicas y son digitalizadas actualmente para hacer uso de los nuevos equipos digitales por lo tanto su transmisión es en forma digital también porque facilitan la transmisión por división de tiempo TDM

A continuación se presenta el ancho de banda correspondiente a los principales tipos de señales.

SEÑAL	ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL
VOZ	4 KHz
AUDIO	20 KHz
VIDEO	5 KHz

Algunos ejemplos de las bandas necesarias son

- a) Para la voz humana, las frecuencias que se encuentran entre 200 y 3400 Hz. son lo más importantes.
- b) Para la música de buena calidad en radio difusión, se necesita una banda de 50 a 15000 Hz.
- c) Para la televisión, el ancho de banda necesario es de 6 MHz.

Transmisión de TV por redes de telecomunicaciones

Los cables de fibra óptica son en la práctica el medio de transmisión ideal para la transmisión de señales de televisión, ya que tienen una anchura de banda útil muy grande y una atenuación muy baja

-Las transmisión de televisión es generalmente unidireccional.

-Las velocidades necesarias en la transmisión de televisión son mucho mayores que en otros servicios de telecomunicaciones

## TRANSMISIÓN DE T.V. POR REDES DEDICADAS

La transmisión de señales de televisión sobre cables de fibra óptica puede ser muy simple y barata por redes dedicadas en áreas locales y regionales que cubran distancias de hasta 100 Km. Un cable de fibra óptica monomodo puede transmitir varios canales TV transparentemente y en calidad de estudios. Los dispositivos terminales, tanto en versión digital como analógica, son considerablemente más baratos que los codificadores junto con el equipo de línea normalizado. No es necesario procesar los datos para la transmisión en formatos de datos normalizados, ni tampoco es necesario ningún tipo de relleno para garantizar el sincronismo donde se utiliza el equipo de transmisión.

Un inconveniente de las redes de fibra óptica dedicadas es el limitado margen de transmisión por razones asociadas a la tecnología y métodos de operación.



## MULTICANALIZACIÓN

Las señales se transmiten de un punto a otro por un canal que puede tener la forma de línea de transmisión, (como un canal telefónico) o simplemente por el espacio abierto, en el cual se reciben las señales portadoras de información deseada (como la difusión de radio y televisión, la comunicación por satélite, etc.). En general, cada una de las señales transmitidas, tienen un ancho de banda finito y pequeño comparado con el ancho de banda del canal mismo. Por lo tanto, si solo se transmite una señal por canal, éste no se aprovecha adecuadamente, pues se le hace funcionar muy por debajo de su capacidad de transmitir información, sin embargo no podemos transmitir directamente más de una señal a la vez porque esto causará interferencia entre las señales y éstas no las podemos recuperar, individualmente en el extremo receptor. Esto significa que no es posible mediante un método directo, transmitir más de una conversación en una línea telefónica ni explotar simultáneamente, más de una estación de radio o televisión. Se ve que, empleando las técnicas de multicanalización por división de frecuencia o de tiempo se pueden transmitir varias señales simultáneamente en un mismo canal.

La transmisión de una señal por un canal es una situación de mal aprovechamiento. Sin embargo esto mejorará si logramos trasladar los espectros de las diferentes señales, para que ocupen rangos de frecuencia sin traslapares, si modulamos una señal (al multiplicar una onda sinusoidal), se transada su espectro de frecuencia. En consecuencia, emplearemos las técnicas de la modulación, se puede transmitir simultáneamente por un canal un gran número de señales.

En el caso de varias señales se transada el espectro de cada una, en una cantidad adecuada, para evitar el traslamiento de los diferentes espectros. En el extremo receptor se separan las diferentes señales mediante filtros apropiados; sin embargo, los espectros individuales así separados, no representan la señal original ya que ha sufrido una translación. Así para obtener la señal original debemos trasladar cada espectro en la cantidad adecuada, de modo que recupere su forma original.

El método de translación de frecuencia no es la única forma de transmitir simultáneamente varias señales en un canal. De acuerdo con el teorema del muestreo, una señal limitada en banda (que no contenga componentes espectrales superiores a una frecuencia  $f_m$  Hz) queda especificada en forma única por sus valores a intervalos de  $(1/2f_m)$  segundos y que ésta puede reconstruir la señal completa y partir solamente del conocimiento de sus valores en estos instantes, por consiguiente solo se tiene que transmitir las muestras de la señal en este número finito de instantes. Así el canal no queda ocupado más que en esos instantes y no se envían señales durante el resto del tiempo. Entonces, se pueden intercalar las muestras de varias señales en el

canal. En el extremo receptor las muestras, se separan mediante un detector síncrono adecuado figura 27.

## ESQUEMA DE MULTICANALIZACIÓN

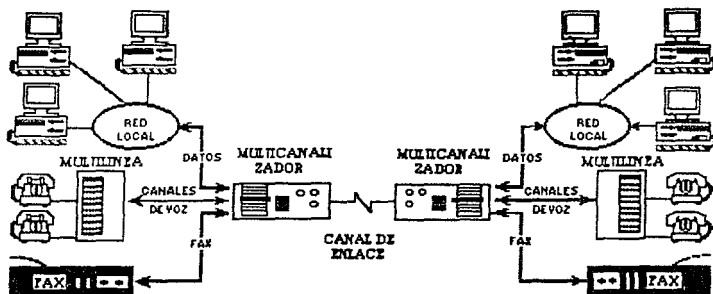


Figura 27

## **ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN.**

**Radio-Enlace.**  
**Satélite.**  
**Sistemas de Microondas.**  
**Rayo Láser Infrarojo.**  
**Fibras Ópticas.**  
**Par Trenzado.**  
**Cable Coaxial.**  
**Medios de Transmisión.**  
**RDSI en México.**  
**Análisis de Alternativas.**

## **IV.-ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN**

A continuación se presentan las alternativas que en un momento dado deben considerarse para hacer real la comunicación entre los edificios, dependiendo de las características propias de cada uno de los sistemas, de las necesidades de flujo de información, y de las características geográficas entre los edificios.

### **Radio-Enlaces.**

Son sistemas que manejan únicamente velocidades de hasta 9600 bps. es decir, si se requiere transmitir 1Mb de información, se requiere de 107 segundos de forma sin interrupciones: cuando se trata de bases de datos o de más de una estación tratando de consultar al mismo tiempo al servidor, éste es un "cuello de botella" que afecta a la eficiencia del sistema y el rendimiento de la red.

### **Satélite.**

El uso de un sistema satelital es una consideración muy costosa tanto por la compra del equipo como por la renta por uso del satélite, además que casi en su totalidad la capacidad de los satélites mexicanos se encuentra comprometida y/o en uso por parte de otras instituciones y/o compañías privadas, lo cual implicaría la búsqueda de alguna institución que permita el uso de su frecuencia asignada con la subsecuente renta de la misma, además de que serán raros los casos que para comunicar dos edificios, la única solución sea el satélite, lo anterior, solo para distancias relativamente cortas, porque si se quiere comunicar 2 edificios en ciudades diferentes, o en dos países diferentes, el satélite puede ser la mejor opción.

### **Sistemas de microondas.**

Otra opción es el uso de equipo para microondas, existe equipo que permite manejar 2 y 8 MBps dependiendo de la cantidad de canales que se requieran, con este tipo de equipo se puede transmitir datos e imagen a través de la red, así como también voz, se tiene el inconveniente en la ciudad de México que el espectro electromagnético se encuentra en proceso de licitación por lo que la instalación del equipo requiere de la autorización por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), así como el trámite ante la misma para la asignación de frecuencias.

## **Rayo Láser Infrarrojo.**

Dicho sistema tiene la ventaja de no requerir permiso por parte de la SCT, además cuenta con interfaces directas para red Ethernet o Token Ring, según se requiera manejar anchos de banda de 2, 8 y 10 Mb, se necesita tener línea de vista

## **Fibras Ópticas.**

Los sistemas de comunicación por fibras ópticas han encontrado en los últimos años una gran aceptación en diversos sectores, debido principalmente a la gran versatilidad para el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades

Las propiedades intrínsecas de la fibra óptica como son inmunidad a la interferencia electromagnética, su aislamiento dieléctrico, su gran ancho de banda, su sección transversal y su peso reducido le han permitido su aplicación en zonas expuestas a grandes interferencias como son las plantas nucleares, las plantas generadoras de electricidad y las ciudades en crecimiento en la cual existe saturación en el espectro de frecuencias.

## **Par Trenzado**

El cable de par trenzado es el más barato de los medios de comunicación existentes en el mercado. El par trenzado generalmente es referido como cable telefónico, y tiene las siguientes ventajas: se puede usar para comunicación de voz o datos, es el más económico de los medios de comunicación. Se tiene capacidad por parte de ETHERNET, ARCNET, TOKEN RING, Apples Local Talk y otras redes para realizar conexiones con él. En topologías tipo estrella es sencillo de realizar de hecho cableado, comparado con una topología línea!

Token Ring soporta una alta velocidad de transmisión y generalmente cubre mayores distancias. De sus desventajas tiene aún influencia el medio externo ya que es susceptible al ruido eléctrico, de mayor costo, y más caro para instalar.

## **Cable Coaxial**

El cable coaxial, recientemente es el más común usado en redes, es poco susceptible a interferencias, a diferencia que el par trenzado y puede soportar una alta velocidad de transmisión de datos. En algunos casos, el cable coaxial (RG-58, RG-59, RG-62), es más barato que el par trenzado apantallado. Dentro de sus

desventajas se encuentran una mayor dificultad de manejo, se puede dañar fácilmente, más caro que el par trenzado y requiere de un tipo específico para diferentes clases de redes.

## MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Existen en el mercado actual varios medios de transmisión, con características diferentes para cada una de ellos, alguno de estos medios son más caros que otros, algunos tienen una capacidad de transmisión mayor. Por consiguiente es necesario hacer una selección, adecuada del medio, tomando en cuenta las necesidades de transmisión; la geografía del medio y el presupuesto con el que se cuenta. La utilización de una u otra depende de una serie de factores que es necesario evaluar.

A continuación se presentan las características de cada uno de los medios, para posteriormente seleccionar al más adecuado.

### **Cable de par trenzado**

Un cable de éste tipo está formado por un par de hilos conductores aislados entre sí y del medio exterior, los hilos trenzados son para prevenir la inductancia mutua producidas por las señales de otro hilo en el mismo cable. El trenzado mantiene estables las propiedades eléctricas y reduce las interferencias del mismo cable.

Los pares trenzados pueden ser utilizados en transmisión de datos en banda base a velocidades de varios microbits/seg. a distancias de 1km o más, pero a medida que la velocidad de transmisión aumenta, la distancia máxima admisible disminuye.

#### **Ventajas del cable de par trenzado**

- Bajo costo
- Fácil de instalar
- Puede soportar diferentes tipos de redes así como sistemas de comunicaciones de voz y datos.

#### **Desventajas**

- Mayor sensibilidad al ruido que el cable coaxial
- No soporta grandes velocidades de transmisión de datos.
- Distancias limitadas
- El ancho de banda es limitado comparado con otros medios.
- No es ideal cuando se maneja imágenes
- Debe protegerse contra rayos solares y agua.

### **Cable coaxial**

Este tipo de cable constituido por un conductor central en vuelto por un segundo conductor que puede ser una malla trenzada. Esta forma de construcción protege al conductor contra los campos magnéticos o interferencias que se pudieran infiltrar en el cable.

El cable coaxial proporciona un medio flexible y no muy caro, que es utilizado en numerosas aplicaciones. Se puede utilizar para transmisión de datos a gran velocidad y distancias de varios kilómetros

Existen dos tipos de cables coaxial: el de banda base y el de banda ancha.

En banda base se tiene un sólo canal en el cual los datos fluyen rápidamente, a velocidades de hasta 10 microbits/seg y distancias hasta de 1Km.

En banda ancha se tienen varios canales, cada uno con su propia frecuencia, las señales se modulan sobre una onda portadora sinusoidal, cada portadora ésta lo suficientemente separada de las otras para evitar efectos de intermodulación.

Los cables coaxiales de Banda base y Banda ancha tiene importantes diferencias, los sistemas de banda ancha se utilizan principalmente en aplicaciones punto a punto, una ventaja de transmitir en banda ancha es, la de poder ser utilizado en lugares muy ruidosos electromagnéticamente mientras que en una transmisión en banda base éstos ruidos son significativos, el estándar de transmisión en banda amplia estipula transmitir entre los 35 y 54 Mhz.

La transmisión en banda amplia es más cara que la de banda base, pero ofrecen a cambio, grandes distancias, seguridad fiabilidad y velocidad de transmisión de más de 300 Mb/s.



## **Fibra óptica**

El cable de fibra es un medio de transmisión en el que las señales luminosas se transmiten a través de un filamento, el cable ésta compuesto por varias fibras de vidrio. Cada una de éstas fibras tiene un núcleo central con un alto índice de refracción rodeando con una capa de material similar pero con un índice de refracción ligeramente menor el revestimiento aísla las fibras y evita que se produzca interferencias entre filamentos adyacentes, además ésta protegido por otras capas de acuerdo al medio en que se instalaria el cable de fibra.

El núcleo de una fibra óptica puede ser de vidrio o de plástico, la que tiene núcleo de plástico es mas flexible, que una de vidrio, y los conectores se adaptan mejor sin necesidad de pulir los extremos

La fibra optica con núcleo de vidrio es la más recomendada para enlaces de datos de alta velocidad a larga distancia

Las ventajas que ofrecen los cables de fibra óptica frente a los cables eléctricos para transmitir datos son

- Una mayor velocidad de transmisión.
- Una mayor capacidad
- Baja atenuación

Gracias a la baja atenuación de las fibras ópticas, se puede acrecentar la distancia entre los repetidores, aumentando la confiabilidad del sistema.

-Aislamiento eléctrico

No hay inducción, ni interferencia de otros circuitos y sistemas, pueden utilizarse en fabricas de explosivos

Los costos de instalación y mantenimiento son menores en grandes y medianas distancias que los que se tienen con instalaciones de cables eléctricos.

-Gran Ancho de Banda

Poseen un ancho de banda amplio, permite reemplazar varios canales de transmisión clásicos, se pueden transmitir simultáneamente, señales de voz y video, lo que puede ser considerado en los costos.

#### -Disponibilidad

No ocupan un lugar en el espectro de frecuencias el cual ésta saturado.

#### -Economía

Las mejoras tecnológicas están constantemente reduciendo los costos del cable y de los equipos y se producen sistemas y dispositivos más eficientes.

#### -Alta confiabilidad

Estos cables ofrecen muchas seguridad ya que es muy difícil intervenir un cable de fibra óptica

#### -Desventajas en fibra óptica.

Permite sólo 2 nodos por enlace.

Su capacidad multipunto es muy baja.

Requiere instalación de personal capacitado.

#### -Campos de Aplicación

Los campos de aplicación de las fibras ópticas son numerosos. A continuación se listan los principales.

##### a) Telefonía

Enlaces sin repetidores entre centrales telefónicas.

Enlaces interurbanos con repetidoras.

Enlaces transoceánicos por cable óptico submarino.

Transmisión de datos.

**Distribución de gran capacidad entre los abonados de servicios telefónicos, videofónicos y de transmisión de datos.**

**b) Televisión**

Distribución por cable.

Enlaces cámara-estudio.

Teleconferencias.

Sistemas de seguridad.

**c) Informática.**

Enlaces entre computadoras.

Enlaces entre computadoras y periféricos.

Conexión de material de oficina.

Enlaces internos de material informático.

**d) Control de procedimientos e instrumentación**

Trabajo en un medio flagrante.

Controles nucleares.

Instrumentación de medida y control.

**e) Área militar**

Comunicaciones tácticas.

Aviación (helicópteros, interceptores).

Marina (submarino, barcos).

## **RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI EN MÉXICO)**

La Red Digital de Servicios Integrados suministra un medio de transporte de señales digitales conmutadas y de punto a punto, en velocidades que van desde los 64 Kbits/s, así como 2,8,34,140,565, y 622 Mbits/s<sup>16</sup>, como todas las modalidades de transmisión de información como voz, datos, textos e imágenes en un solo sistema para construir Redes corporativas. Instituciones a niveles local y de larga distancia nacional e internacional de la más alta calidad

Así mismo incorpora una red multiusuario de satélite para la interconexión de localidades remotas o aislamientos que requieren ser integradas a los servicios de la red digital terrestre, así como una red para transmisión de datos en paquetes para bajos volúmenes de información en tiempos cortos.

La Red Digital, ésta conformada por la red terrestre, la satelital y la de paquetes, constituye la primera etapa de la implantación de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) que teléfonos de México tiene en proceso para mantenerse a la vanguardia de la tecnología de Telecomunicaciones que marca la tendencia a nivel mundial en los 90's.

En México hay más de 500 redes corporativas de telecomunicaciones, y la interconexión en forma universal de todas las redes entre sí, es factible por medio de la RDSI la cual fue impulsada y puesta en operación por TELMEX a partir de su privatización.

Con ésta solución se están conjuntando todas las ventajas de una red privada de alta calidad, contando a la vez con la intercomunicación entre las diferentes redes corporativas, ya sean nacionales e internacionales.

Por el empuje y desarrollo que están demostrando prácticamente todas las entidades del país, la RDSI se ha ampliado para dar servicio en las 30 principales ciudades y ésta interconectada con las redes de los operadores de servicio de larga distancia más destacadas de Estados Unidos.

Para implantar este complejo sistema, se han instalado más de 2 mil Km. de fibra óptica y se han puesto en servicio 10 avanzadas centrales de tránsito para comunicaciones digitales, y 120 sistemas de enrutamiento, equipos que sustituyen constantemente las rutas que llegan a tener problemas por otras que estén operando correctamente. Gracias a ello, es posible mantener la continuidad en el servicio más allá de; 99.5% del tiempo.

<sup>16</sup> Folleto RDSI, TELMEX, S.P.A.

## **CIUDADES CON INFRAESTRUCTURA DE RED DIGITAL INTEGRADA**

D.F.  
MONTERREY  
GUADALAJARA  
CD. JUÁREZ  
CHIHUAHUA  
HERMOSILLO  
TOLUCA  
QUERÉTARO  
PUEBLA  
REYNOSA  
NUEVO LAREDO  
SALTILLO  
TAMPICO  
MAZATLAN

ACAPULCO  
NOGALES  
SAN LUIS POTOSÍ  
AGUASCALIENTES  
LEON  
VERACRUZ  
CELAYA  
VILLA HERMOSA  
MATAMOROS  
COATZACOALCOS  
CUERNAVACA  
MÉRIDA  
CULIACÁN  
TORREÓN

A través de 295 estaciones satelitales se proporcionan 640 circuitos para comunicaciones de voz y datos en aquellos puntos del país donde no existe infraestructura terrestre digital<sup>17</sup>

Actualmente se tienen en servicio más de 30 mil circuitos privados, analógicos, digitales y satelitales, de los cuales 15% son internacionales.

En la actualidad, se pueden proporcionar éstos servicios de RDSI, en un corto lapso, desde el domicilio de cualquier usuario, mediante un enlace de fibra óptica para interconectarse con la red. De éste modo, se puede incorporar cualquier empresa o institución con un alto nivel de calidad y confiabilidad en telecomunicaciones, a la altura de lo más avanzado que exista en cualquier otro país desarrollado.

La Red Satelital multiusuarios de TELMEX (RSM) completa la cobertura de la RDSI, lo que permite enlaces a cualquier localidad, por más aislada que se encuentre, dando a ésta tecnología de servicio una cobertura nacional.

Características de la Red.

<sup>17</sup> Revista Voces TELMEX Núm. 1202

La RDSI es una red totalmente digital capaz de transportar todo tipo de **señales de información**, cuyo objetivo es ofrecer a los usuarios una **solución adecuada** a sus requerimientos de comunicación.

#### Disponibilidad

- Infraestructura existente para su contratación inmediata.
- Respaldo de la instalación y supervisión por **compañías de prestigio mundial**.
- Tiempo mínimos de respuesta en el servicio

#### Confiabilidad

- Medio de transmisión de alta calidad inmune al ruido e interferencia a través de fibra óptica.
- Precisión para completar llamadas con el uso de **centrales de conmutación digital**.
- Respaldo asegurado mediante la instalación de **fibras ópticas de soporte y de radios digitales**.

#### Calidad

- Alta calidad en la conversación.
- Mínimo promedio de errores en el envío y recepción de datos.
- Absolutamiento libre de ruidos e interferencias.

## ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El par trenzado y el cable coaxial en éste caso, quedan fuera de los planes debido a las características de los cables como es la de no soportar grandes velocidades en transmisión de datos por otro lado no son mejor opción para la transmisión de la señal de video por que esta señal requiere un ancho de banda amplio de transmisión digital ,actualmente los equipos para transmisión digital de video transmiten a 90 Mbits/seg.

Lo que se ésta tratando de implementar en éstos dos edificios es un canal de comunicación capaz de soportar datos, voz e imagen y servicios como videoconferencias que en un momento dado llegara a necesitar la Facultad y no estar limitados únicamente al ancho de banda que brinda el par trenzado o un cable coaxial.

El uso de un sistema satelital es una consideración costosa tanto por la compra de equipo como por la renta de uso del satélite. Por otro lado las necesidades que se tienen en éste momento se pueden solucionar con un medio de comunicación más barato, teniendo como alternativas un sistema de fibras ópticas o un sistema por microondas.

Un sistema de microondas permite manejar 2 y 8 Mb/s dependiendo de los canales que se requieran, con éste tipo de equipos se pueden transmitir datos, voz e imagen.

Las fibras ópticas pueden instalarse en longitudes de varios kilómetros sin necesidad de repetidores tienen la característica de poseer un gran ancho de banda, permitiendo la transmisión de señales analógicas y digitales.

Dentro de las fibras ópticas y las microondas tenemos cubiertas nuestras necesidades de comunicación , en el capítulo siguiente se estudian ambas alternativas para definir cual es la más adecuada para la aplicación propuesta.

**COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN**

ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MICROONDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ALTA CAPACIDAD</li> <li>-FÁCIL DE INSTALAR Y OPERAR</li> <li>-ALTA CONFIABILIDAD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-SUJETO A LÍNEA DE VISTA</li> <li>-SUSCEPTIBLE A LA LLUVIA</li> <li>-POCA FLEXIBILIDAD (PERMISO SCT)</li> </ul>
SATÉLITE	<ul style="list-style-type: none"> <li>-BAJA, MEDIANA Y ALTA CAPACIDAD</li> <li>-ALTA FLEXIBILIDAD</li> <li>-ALTA COBERTURA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-RECOMENDABLE PARA LARGAS DISTANCIAS</li> <li>-ALTO COSTO DE INVERSIÓN</li> <li>-ESPECTRO LIMITADO</li> </ul>
FIBRA ÓPTICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ALTA CAPACIDAD</li> <li>-ALTA CONFIABILIDAD</li> <li>-INMUNE A INTERFERENCIAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-PROBLEMAS CON DERECHOS DE VÍA</li> <li>-NO SE ENCUENTRA ACCESIBLE EN TODOS LOS PUNTOS</li> <li>-ALTO COSTO</li> </ul>
RADIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-FÁCIL ACCESO A CUALQUIER PUNTO</li> <li>-VOZ, DATOS Y OTROS</li> <li>-DIVERSIDAD DE SERVICIOS Y APLICACIONES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ESPECTRO SATURADO Y LIMITADO</li> <li>-SUSCEPTIBLE A INTERFERENCIAS</li> <li>-BAJA CAPACIDAD</li> </ul>
RDSI	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ALTA CAPACIDAD</li> <li>-DIVERSIDAD DE SERVICIOS</li> <li>-ALTA CONFIABILIDAD</li> <li>-VOZ, DATOS, VIDEO, FAX, TELECONFERENCIA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-PAGOS DE RENTAS MENSUALES O ANUALES POR CADA SERVICIO</li> <li>-DEPENDENCIA CON TELMEX</li> <li>-ULTIMO KILOMETRO POR CABLE</li> </ul>



## **CÁLCULO DE ENLACE.**

**Sistemas en Línea de Vista.**

**Pasos para el Diseño del Enlace.**

**Ubicación de los Puntos.**

**Cálculo de las Alturas de las Torres.**

**Guía para el Factor K.**

**Punto de Reflexión.**

**Enlace Punto a Punto.**

**Desvanecimiento.**

**Ganancia de la Antena de Transmisión.**

**Pérdidas en la Trayectoria.**

**Diseño y Componentes del Sistema.**

**Pérdidas y Limitaciones.**

**Pérdidas de la Potencia de Transmisión.**

**Pérdidas por Acoplamiento.**

**Selección de Componentes.**

**Fuentes Emisoras.**

**Detectores.**

**Pérdidas de la Fibra Óptica.**

**Selección de la Fibra.**

**Pérdidas en Conectores.**

**Pérdidas en Empalmes.**

**Ancho de BANDA.**

**DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA.**  
**INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**DIAGRAMA DE LA RED PROPUESTA.**

**TRAYECTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA.**

**COSTO DEL PROYECTO.**

**Costo de Mantenimiento.**

**Equipos Asignados para el Enlace.**

**Ventajas.**

## **V.-CÁLCULO DEL ENLACE**

### **SISTEMAS EN LÍNEA DE VISTA**

Los sistemas de radio enlace son aquellos que cumplen con las siguientes características

- 1) La señal sigue una trayectoria casi recta ó también denominadas rutas de línea de vista.
- 2) La propagación de la señal es afectada por atenuación en el espacio libre y por fenómenos meteorológicos.
- 3) Se utilizan por lo general, frecuencias mayores a 200 MHz, con el propósito de transmitir mayor información en cada portadora de RF.
- 4) Uso o utilización de modulación (FM o PM) para sistemas analógicos y modulación en fase (BPSK, QPSK) para sistemas digitales

### **PASOS PARA EL DISEÑO DEL ENLACE**

El diseño de radio enlace involucra los siguientes pasos

- a) Selección de los sitios que se encuentren en línea de vista entre sí.
- b) Selección de la banda de frecuencias en la que se pretende operar considerando interferencias de RF y restricciones prácticas y legales.
- c) Desarrollo de los perfiles de ruta para determinar, la altura de las torres, si ésta excede un cierto límite económico entonces el paso a) debe ser repetido, considerando, repetidores o reconfigurando la ruta.

En este paso se debe tener en cuenta que la energía de microondas se:

- 1) Atenua o se absorbe por objetos sólidos.
- 2) Refleja por superficies conductoras planas tales como el agua, lagos y las paredes metálicas de los edificios.
- 3) Difracta alrededor de objetos sólidos
- 4) Refracta por la atmósfera, frecuentemente la refracción es tal que el haz electromagnético puede extenderse más allá del horizonte óptico, como la refractividad cambia durante el día se ponen dos antenas sobre todo en zonas costeras
- 5) Cálculo de rutas, después de elegir una cierta confiabilidad para el enlace se debe hacer los cálculos respectivos, para asegurar que el nivel de señal recibida sea mayor a un cierto nivel de Umbral.
- 6) Inspección de los sitios y de la ruta para asegurar que lo asentado en los pasos a, b y c es correcto, este paso también proporciona información útil para la instalación.
- 7) Instalación, alimentación del haz y pruebas de aceptación.

Los enlaces de microondas no exceden los 300 Km por efectos de la curvatura de la tierra, y la altura de las torres no exceden los 100 m de longitud por economía.

## UBICACIÓN DE LOS PUNTOS.

Los puntos del enlace deben elegirse cuidadosamente, tratando de evitar grandes obstáculos si es posible, para tener un enlace más accesible.

## CÁLCULO DE LA ALTURA DE LAS TORRES.

La razón de esto es para tener una comunicación y una altura de torres mínima que sobre pase todos los obstáculos, y no se tenga problemas futuros sobre todo en zonas donde hay árboles. Dentro de los obstáculos posibles tenemos: accidentes del terreno, como montañas, serranías, colinas y la curvatura de la tierra, también están los edificios, torres, etc.

Para empezar con el cálculo de las alturas de las torres, se deben dibujar a escala todos los obstáculos a lo largo de la trayectoria, sobre papel para graficar, para esto es necesario obtener los mapas topográficos, con escalas de 1:2400, que se pueden conseguir en el INEGI, o hacerlos, con la escala mencionada. A continuación se traza una línea para graficar uniendo los puntos a enlazar y se lleva a papel lineal para graficar en escala horizontal de 1 cm o por 1 ó 2 Km; la escala vertical depende de la razón de cambio de la elevación a lo largo de la trayectoria una escala ideal es 1 cm por 20m, cada obstáculo se debe marcar con una letra sobre la escala horizontal. La parte inferior de la carta no necesita estar al nivel del mar, sino que puede estar algunos metros sobre el nivel del mar. Una vez que se establece la referencia de altitud, se deben dar varios márgenes de libramiento adicionales, cuando se trata de terrenos con árboles se debe dar un margen adicional para el crecimiento para lo cual son suficientes por lo general 10 ft. a la altura de cada obstáculo se debe añadir la irregularidad de la tierra es decir la cantidad en metros que aumenta la altura de un obstáculo, como resultado de la curvatura de la tierra, ésta irregularidad se calcula, en cualquier punto de la tierra mediante la siguiente formula<sup>16</sup>:

$$h = d_1 \frac{d_2}{12.75K}$$

$d_1$  = distancia desde el extremo más cercano del enlace al punto (Km)

$d_2$  = distancia desde el extremo más lejano del enlace al punto (Km)

$h$  = altura adicional del obstáculo debido a curvatura de la tierra (m)

donde :

<sup>16</sup> Roger L. Freeman Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones p 299

K factor equivalente de radio terrestre, factor que involucra al gradiente de los índices de refracción de capas atmosféricas.

La refracción atmosférica puede causar que los haces se doblen hacia la tierra o hacia arriba, si el doblaje es hacia la tierra es como si el factor de curvatura de la tierra disminuyera [ $K > 1$ ]; si el doblaje es hacia arriba entonces el factor se incrementa [ $K < 1$ ].

## GUÍA PARA EL FACTOR K<sup>19</sup>

### CONDICIONES DE PROPAGACIÓN

FACTOR K	PERFECTA	IDEAL	PROMEDIO	DIFÍCIL	MALA
	1.33	1-1.33	0.66-1	0.5-0.66	0.4-0.5
	Temp. cte. No niebla No ductos entre el día y la noche	Clima seco Montañoso sin niebla	Zona plana con algo de niebla	Zona costera	Zona costera tropical con alta humedad

Éstos valores nos dan confiabilidad en la ruta de 99.9 al 99.99%.

Otro factor que debe ser agregado a la altura de los obstáculos, para obtener la altura efectiva de los mismos es la altura correspondiente a las zonas de Fresnel. Éste requisito se infiere de la teoría electromagnética, en el cual un Frente de onda se expande conforme viaja a través del espacio; ésta expansión resulta en reflexiones y transmisiones de fase conforme la onda pasa sobre los obstáculos teniendo como resultado un incremento o decremento en la señal recibida.

La cantidad de margen adicional que se debe dejar sobre obstáculos para evitar los problemas del fenómeno de Fresnel (difracción), se

<sup>19</sup> Ing. Humberto Flores apuntes, "Radiación y Propagación".

expresa mediante las zonas de Fresnel. El radio de la primera zona de Fresnel se calcula con la siguiente formula:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{FD}}$$

donde :

$F_1$  : Primera zona de Fresnel (m).

$d_1$  : Distancia desde el Tx al obstáculo (Km).

$d_2$  : Distancia desde el Rx al obstáculo (Km).

$D$  : Longitud total de la ruta  $d_1 + d_2$ .

$F$  : Frecuencia en GHz.

Hay que librar los obstáculos a lo menos por un factor de 6F.

Después de haber hecho los cálculos para todos los obstáculos se traza una línea recta puede ser horizontal o inclinada entre el transmisor y el receptor de tal manera que se libren todos los obstáculos.

#### PUNTO DE REFLEXIÓN

Los posibles puntos de reflexión se puede detectar sobre el perfil con el objeto de ajustar la altura de las torres de manera que el punto de reflexión quede en un terreno donde la energía que se refleja se divida y se disperse.

Para tener una dispersión de la onda reflejada se recomienda poner el punto reflejado sobre parques, zonas rocosas, rugosas, excepto en lagos, o zonas planas, el objeto de todo esto es estar seguro que el punto de reflexión no cae sobre un área de terreno liso o en el agua sino más bien sobre un área de tierra donde la energía reflectada sea completamente dispersada, por ejemplo : áreas arboladas o rocosas.

Con la figura 28 se facilitan los cálculos para determinar los puntos de reflexión.

## CÁLCULO DE LOS PUNTOS DE REFLEXIÓN

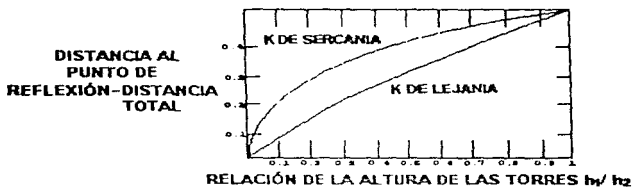


Figura 28

donde:

$h1 / h2$  relación de altura de las torres.

$h1$  : Corresponde siempre a la torre de menor altura.

$h2$  : Torre con altura más grande.

Para cambiar el punto de reflexión se tiene que "jugar" con las alturas de la torre siempre y cuando libremos la altura de los obstáculos.<sup>20</sup>

Si el enlace cae en un lugar de mucha reflexión, se puede elevar la altura de las torres, o aumentar la potencia de la señal.

<sup>20</sup> Ibidem

## ENLACE PUNTO A PUNTO

Un enlace típico punto a punto de microondas se regirá por la siguiente ecuación.

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_s + G_{RX} - L_{RX} - L - M^{21}$$

$$P_{TX} = P_{RX} + L_{TX} - G_{TX} + L_s - G_{RX} + L_{RX} + L + M^{22}$$

donde :

$P_{RX}$  : Potencia recibida en dBW.

$P_{TX}$  : Potencia transmitida en dBW

$L_{TX}$  : Pérdidas en el transmisor  
(guías de onda, cable coaxial, conectores etc.).

$G_{TX}$  : Ganancias en dB de la antena de recepción.

$L_{RX}$  : Pérdidas en el receptor.

$L_s$  : Pérdidas por absorción atmosférica, y por lluvia.

$M$  : Margen del enlace. Éste es dado por el ingeniero para contrarrestar cualquier efecto que no toma en cuenta.

$P_{RX}$  de umbral (threshold,  $P_{th}$ ), es la potencia mínima que requiere el receptor para operar.

Para un sistema analógico con modulación FM

$$P_{th}(\text{dBW}) = 10\log(KTB_{FI}) + F_{R_{dB}} + 10$$

$$K = \text{Cte. de Boltzman } 1.38 \times 10^{-22}$$

$T$  = Temperatura de ruido en K.

$B_{FI}$  = Ancho de banda en frec. intermedia (a la salida del modulador).

<sup>21</sup> Ing. Humberto Flores, apuntes "Radiación y Propagación"

<sup>22</sup> ibidem.



$F_R$  = Figura de ruido del receptor típico 15dB.

A una temperatura ambiente la ecuación se puede reducir a:

$$P_{th}(dBW) = -204 + F_R + 10\log B_{F1} + 10$$

$$B_{F1} = 2(f_{max} + AF)$$

donde:

AF desviación de frecuencia.

## DESVANECIMIENTO

Para la absorción por gases atmosféricos se puede tomar de uno a dos decibeles aproximadamente.

Para la absorción o atenuación por lluvia, ésta se debe tomar en cuenta a partir de los 10 GHz y se tiene un valor desde los 4 a los 10 dB dependiendo del tipo de zona.

## GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISIÓN

$$G_{TX} = 20.4 + 10\log(f_1) + 20\log(F\text{GHz}) + 20\log(Dm)^{2,3}$$

Para las antenas parabólicas se utiliza una eficiencia de 60% porque no rebasan el 65%, tienen valores de 55-60%, se recomienda utilizar un valor medio.

## PÉRDIDAS EN LA TRAYECTORIA

$$L_s = 32.44 + 20\log(Dkm) + 20\log(fMHz)^{2,4}$$

<sup>23</sup> Roger L. Freeman Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones p 307

<sup>24</sup> Ibídem

## DISEÑO Y COMPONENTES DEL SISTEMA

El diagrama esquemático mostrado en la siguiente figura 29, consta de un transmisor, y un receptor óptico, por un tramo de cable óptico en un enlace punto a punto, el transmisor óptico convierte la señal de voltaje en potencia óptica, la cual se emite a través de la fibra mediante un emisor de luz (LED), diodo láser (LD) o láser.

### DIAGRAMA ESQUEMATICO ENLACE POR FIBRA OPTICA



Figura 29

En la parte del fotodetector éste captura los pulsos luminosos para convertirlos de nuevo en corriente eléctrica.

El diseño preliminar consiste en determinar los costos y las trayectorias de la señal, conociendo también las limitaciones de los diferentes componentes que existen en el mercado.

El primero de éstos puntos, la calidad de la señal, encierra factores tales como la relación señal a ruido (N/S) en sistemas analógicos, y el rango de bit error en sistemas digitales. El paso siguiente es el de la determinación de la potencia óptica mínima necesaria en el receptor, ésta se puede obtener de los datos del fabricante.

## PÉRDIDAS Y LIMITACIONES

El diseño de un enlace consiste básicamente de dos funciones:

- 1) Medición de la pérdida de potencia óptica ocurrida entre la fuente luminosa y el fotodetector.
- 2) Determinación de las limitaciones del ancho de banda en el cual se transporta la información, impuesta por el transmisor, la fibra y el receptor.

Conforme los pulsos de luz viajan a través de la fibra, se presenta una pérdida de potencia óptica, o atenuación, la cual es expresada en dB/Km (decibeles por Kilómetro).

El decibel es una expresión logarítmica de la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada, expresada por:

$$\text{dB} = 10 \text{Log}(P_s/P_E)^{25}$$

una pérdida de 3 dB significa que la mitad de la potencia se ha perdido.

Por ejemplo, si se inicia con una potencia de 500 MW, ésta llegará solo de 250mW. Una pérdida de 10 dB significa que solo 1/10 de la potencia llegara al receptor, lo cual da una pérdida del 90%.

Los enlaces por fibra óptica tienen la facilidad de trabajar con 1/1000 de la potencia total transmitida, es decir pueden trabajar con una pérdida de 30 dB.

Si la fuente emite suficiente potencia, y el receptor tiene la sensibilidad adecuada el sistema podrá operar con altas pérdidas, siendo los requerimientos mínimos del receptor los que determinen la cantidad de pérdidas que se puede tolerar.

## PÉRDIDA DE LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN

son: Las principales causas de la atenuación óptica en un sistema por fibra<sup>26</sup>

- Pérdidas por acoplamiento
- Pérdidas intrínseca de la fibra
- Pérdidas por conectores
- Pérdidas por empalmes

La suma de las pérdidas de cada uno de los componentes, entre el transmisor y el receptor, comprende el cálculo de la potencia óptica para el enlace como se muestra en la siguiente figura 30

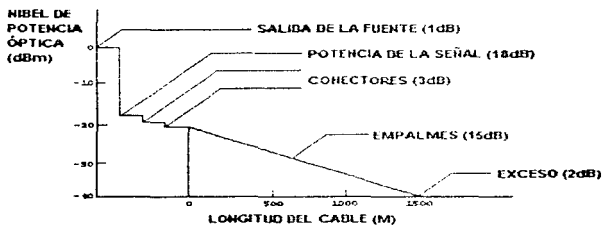


Figura 30

<sup>26</sup> Ibidem

Potencia óptica mínima requerida por el receptor	-40dBm
Potencia óptica entregada por la fuente	0dBm
Cálculo total	40dBm
S/N requerida por el receptor (36 dB)	18dBm
Potencia óptica Remanente por el enlace	22dBm

#### Pérdidas de potencia

cables	15dB	
conectores	3dB	
empalmes	2dB	
Total	20dB	sobrante = 2dB

Estas pérdidas deben ser consideradas por quien haga el diseño, además, debe seleccionar la combinación idónea de transmisor que le permitan emitir suficiente potencia para una reproducción fiel de la señal.

Sin embargo, las pérdidas no son exactas, y los fabricantes comúnmente establecen los rangos para el peor y mejor caso, con la finalidad de que se consideren variaciones en la producción.

Así también se debe tomar un margen de seguridad para futuras reparaciones o empalmes en el sistema, y el envejecimiento de la fuente emisora, por ejemplo para reparaciones por envejecimiento del emisor, se emplea comúnmente un margen de 3 a 6 dB.

#### PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO

La cantidad de potencia óptica acoplada en la fibra, depende de la naturaleza física de la misma y de la fuente emisora, obviamente, mientras más grande sea el diámetro del núcleo de la fibra, esta aceptará mas potencia, sin embargo, con un núcleo de mayor diámetro, la fibra sufre de limitaciones en el ancho de banda, lo cual podría ser más importante que la misma eficiencia del acoplamiento.

Un cambio en el diámetro del núcleo por ejemplo, de 50µm a 10µm, representa un incremento de 4 veces más la cantidad de luz acopiada en la fibra

Además del diámetro del núcleo, la apertura numérica (NA), es también una de las mediciones importantes de la capacidad de la fibra para acoplar potencia óptica; ésta es una medición matemática de la capacidad del núcleo para aceptar ondas luminosas desde varios ángulos, y transmitir las a través de él mismo

Una gran diferencia entre los índices de refracción del núcleo y del recubrimiento da como resultado una gran apertura numérica. Una fibra con gran apertura numérica acoplará más ondas luminosas para diámetros iguales de núcleo. Mientras fue con una variación de la apertura numérica de por ejemplo 0.20 a 0.29 se logra aumentar la potencia al doble.

Se han combinado los efectos del diámetro del núcleo y de la NA dentro de un factor de aceptación óptica, el cual puede ser considerado como una medición de la eficiencia de la fibra para la emisión óptica. Como se indica en la siguiente tabla.

DIÁMETRO DEL NÚCLEO (µm)	APERTURA NUMÉRICA	FACTOR DE COLECCIÓN RELATIVO
200	0.27	6.2
100	0.29	1.0
85	0.28	0.62
62	0.275	0.4
50	0.20	0.13

\* Valores normalizados a longitudes cortas de fibra con núcleo de 100 micras

## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### FUENTES EMISORAS

Entre las diferentes fuentes ópticas existentes, los diodos láser (LD) y los diodos emisores de luz, son los únicos que satisfacen todos los requerimientos exigidos por los sistemas de fibra óptica

Los emisores ópticos acoplan la luz dentro de la fibra de acuerdo con la NA y el diámetro del núcleo, los LED'S son relativamente más baratos fiables y fáciles de usar debido a que su electrónica asociada es menos compleja que la que se requiere para el Láser. Las características típicas del Láser y del Led se muestran en la siguiente tabla

LED

20 $\mu$ 

LD

5 $\mu$ 

Los semiconductores Láser y LED, son transductores directos de energía eléctrica a óptica. Los LED acoplan menos potencia en la fibra debido a que su emisión de la radiación óptica la hacen sobre un área de ángulo muy abierto. El Láser es más complicado, debido a que su salida es dependiente de la temperatura, y tiene menos vida útil en comparación con el LED.

Tanto el LED como el LD<sup>27</sup> pueden ser encapsulados, por lo que el cable de fibras pueden ser conectado directamente en la cápsula del dispositivo.

Existen en el mercado comercial una gran cantidad de unidades receptoras y transmisoras, además de una amplia variedad de fibras ópticas y componentes comprendidos desde elementos discretos como LED'S, LD'S y detectores, hasta "TRANSEVERS" totalmente ensamblados, todos ellos realmente fáciles de conseguir.

## DETECTORES

Los receptores de ondas luminosas usan foto detectores, donde los fotones de luz generan fotoelectrones, aquí es necesario hacer amplificación de la señal para un fotodiodo de avalancha (APD). La amplificación inicial es interna, para los detectores PIN la amplificación se lleva a cabo mediante amplificadores electrónicos externos.

## PÉRDIDAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Siempre se ha considerado al diámetro del núcleo y a la NA como mediciones de la facilidad de la fibra para aceptar potencia óptica, anchura, ahora consideremos que pasa con la señal una vez que ésta es transmitida.

En el cable coaxial la intensidad de la señal de alta frecuencia decrece, con la distancia, y esto es referido como su atenuación. La fibra no tiene la misma frecuencia dependiente de la atenuación, la frecuencia es constante hasta que alcanza el límite de ancho de banda, por lo tanto la pérdida óptica es proporcional a la distancia.

Esta atenuación dentro de la fibra es causada por la absorción de las ondas luminosas, debido a las impurezas químicas y estructuras moleculares de la

<sup>27</sup> Manual de Entrenamiento INTELMEEX.

fibra. Las propiedades de la fibra absorben o dispersan la radiación óptica por lo que ésta escapa del núcleo y se pierde.

La atenuación de la fibra se especifica el fabricante, y la da a determinadas longitudes de onda, por ejemplo 5dB/Km a una longitud de onda de 820 nm. Esto se hace debido a que las pérdidas en la fibra óptica varían con la longitud de onda.

Las longitudes de onda están medidas en nanómetros (nm), lo cual representa la distancia entre dos lados de la misma onda, la longitud de onda es una unidad descriptiva de la radiación electromagnética. La luz y la radiación infrarroja son una porción del espectro total electromagnético

Dentro del espacio formado entre el espectro ultravioleta y el de microondas se encuentra la longitud de onda de la fibra óptica, la cual a su vez esta en el espectro infrarrojo.

## SELECCIÓN DE LA FIBRA

Algunas fibras son ideales para su uso en determinadas longitudes de onda, por ejemplo, las pérdidas de menos de 1 dB/Km son alcanzables con fibra multimodo de 50/125 um operando a 1,300 nm, mientras que las de menos de 3 dB/Km (50% de pérdida), son alcanzables para la misma fibra, pero operando a 850 nm. La nomenclatura 50/125 indica el diámetro extremo del núcleo (50 um) y del recubrimiento (125 um)

Las regiones favorables para la transmisión dentro del espectro de la fibra son denominados "ventanas"<sup>28</sup>. La región comprendida de los 850 um a los 900 um es la primer ventana, de 1,100, a 1300 nm es la segunda ventana, y la tercer ventana trabaja cerca de los 1,550 nm. En estas ventanas las pérdidas son realmente bajas. Las perdidas más bajas aparecen en la región infrarroja cerca de los 1,300 nm y de nuevo de los 1550 nm.

Gran número de mejoras se han hecho a todos los tipos de fibra, por lo que las fibras mejoradas muestran pérdidas menores a 0.5 dB empleando longitudes de onda de 1300 y 1,550 nm.

Dentro del cable coaxial y otros cables metálicos las señales de muy alta frecuencia (VHF) tienden a ser atenuadas rápidamente con la distancia, como resultado se requiere de repetidores a intervalos periódicos para reconstruir la señal a niveles adecuados, sin embargo cada que se introduce un amplificador analógico, se introduce ruido al sistema, y se empieza la relación a ruido.

En la siguiente figura 31 se observa una comparación de las diferentes atenuaciones entre el cable coaxial y el cable de fibra óptica

<sup>28</sup> Manual de Telecomunicaciones p IX, 108



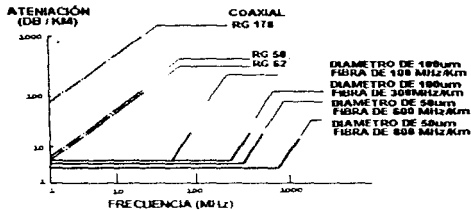


Figura 31

## PÉRDIDAS EN CONECTORES

Las pérdidas en los conectores es una función del empalme físico de dos núcleos diferentes, las ralladuras y la suciedad también pueden contaminar la superficie del conector, reduciendo drásticamente la capacidad del sistema pero las pérdidas más comunes del conector son debidas al desalineamiento de ejes, o puntas separadas.

Dependiendo del tipo de conector, se utilizan diferentes técnicas de terminación, entre ellas, cabe mencionar el:

- Pulido y pegado (epóxico). La fibra es alineada y pegada
- Óptico y mecánico. En esta técnica tanto los tubos como los lentes son alineados.

La pérdida de potencia óptica de una interface conector a conector típicamente está entre los 0.5 y 2 dB dependiendo del tipo de conectores y la calidad de la preparación

## PÉRDIDAS EN EMPALMES

La unión permanente entre dos secciones de fibra óptica, o "empalme", se puede realizar por medio de diferentes técnicas: química (fusión o soldadura) y

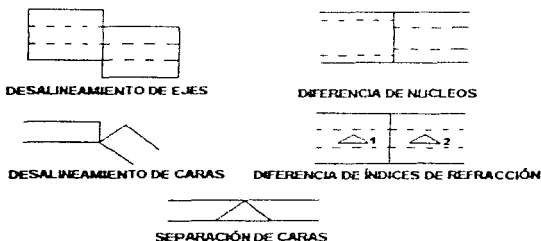
mecánica, la pérdida que introduce un empalme de sistema puede variar desde 0.001 dB hasta 0.5 dB.

Cuando se tiene enlaces de corta distancia donde se puede tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras son unidas a través de medios mecánicos. Mediante el método de fusión se logran atenuaciones por empalme de entre 0.2 y 0.1 dB, llegándose a obtener inclusive menos de 0.01 dB para fibras idénticas.

Así pues al realizar empalmes y conexiones se introducen atenuaciones causadas por diferentes factores. Tales como: desalineamientos de ejes, inclinación de ejes, inclinación de las caras, separación de las caras, diferencias de diámetro de los núcleos y diferencia entre los índices de refracción de los núcleos.

En un empalme pueden estar presentes uno o varios factores que introducen atenuación. Ver figura 32.

Figura 32



## ANCHO DE BANDA

Otro punto importante en el funcionamiento de la señal de fibra óptica es el Ancho de Banda. Debido a su mayor ancho de banda, las fibras pueden manejar grandes volúmenes de información. Una simple fibra de índice gradual puede manejar fácilmente 500 millones de bits por segundo (Mb/s) de información. Sin embargo, existe un límite de capacidad para todos los tipos de fibras, y este depende del tipo de fibra y emisor utilizados.

Para la reproducción precisa de datos, los pulsos luminosos se deben mantener separados y bien identificados con formas y espacios durante la transmisión, no obstante que los rayos que componen cada pulso viajen en diferentes trayectorias dentro de la fibra multimodo.

Para las fibras de índice escalonado, por ejemplo, los modos de propagación viajan a diferentes ángulos. La variación da como resultado la distorsión y superposición de los pulsos en el receptor como se muestra en la figura 33, esta dispersión del pulso luminoso limita la frecuencia que puede ser transmitida, debido a que el detector no puede diferenciar dónde termina un pulso y dónde termina el otro.

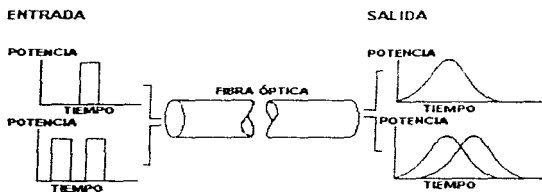


Figura 33

La diferencia en tiempo entre el modo más rápido y el más lento en su misma fibra viajando 1Km puede ser solo de uno a 3 ns., y sin embargo esta dispersión modal causa mayores limitaciones en la velocidad de operación del sistema mientras más grande sea la distancia. Esto es debido a que al doblar la distancia, se doblan los efectos de dispersión.

Así como las pérdidas en potencia ópticas reducen el funcionamiento de la señal el sistema puede ser limitado en ancho de banda cuando la forma del pulso luminoso es distorsionada más allá de los tramos especificados

La dispersión modal es expresada frecuentemente en ns/Km, por ejemplo 30 ns/Km el mismo efecto puede ser expresado como una frecuencia tal como 200 MHz/Km. Esto indica que la fibra, o el sistema, opera eficientemente hasta los 200<sup>29</sup> MHz, antes de que la dispersión afecte adversamente el funcionamiento de la señal a una distancia de 1Km. El mismo sistema podría transmitir una señal de 100 MHz tan lejos como 2 Kilómetros.

<sup>29</sup> Manual de Entrenamiento INTELMEX.

La dispersión hace a la fibra multimodo de índice escalonado, la menos eficiente en ancho de banda de los tres tipos ésta es por lo tanto, utilizada por tramos cortos y frecuencias de operación bajas, por ejemplo 20 MHz/Km

La fibra monomodo tiene un núcleo de menor diámetro de 5 a 10 micras, lo cual permite la propagación de un solo rayo luminoso a través de la fibra, debido a que la dispersión modal es totalmente eliminada, esta fibra tiene un mayor ancho de banda el cual puede exceder de algunos cientos de GHz/Km.

La fibra monomodo debido a su gran pureza espectral, es típicamente usada con emisiones laser, para este caso son utilizados empalmes y conectores de precisión

Debido a sus bajas pérdidas y cualidades de alta capacidad, las fibras monomodo son la selección para la construcción de largos enlaces con un alto grado de manejo de información tales como los enlaces de telecomunicaciones entre países.

Entre las fibras monomodo y las de índice escalonado, están las fibras de índice gradual, las trayectorias en estas fibras son gradualmente redireccionadas hacia el eje del núcleo durante la propagación, con la finalidad de reducir los efectos de la dispersión modal, las fibras de índice gradual tienen una capacidad mucho mayor de ancho de banda que las fibras de índice escalonado.

Una fibra de índice gradual de 600 MHz/Km, puede transmitir una señal modulada a 20MHz tan lejos como 30 Km, el costo de estas fibras de vidrio es comúnmente uno de las más bajos, sus bajas pérdidas, además de su alto ancho de banda las hacen las más adecuadas, por ejemplo, para aplicaciones de área local

De esta manera se ve como la dispersión limita el máximo ancho de banda que puede ser utilizado con las fibras y las diferentes trayectorias de propagación causan retrasos o dispersión modal de la fibra

El mecanismo básico de pérdidas o atenuación, dentro de las fibras, es causado por la dispersión de la luz, la cual varía con la longitud de onda, la longitud de onda de 1300 nm es importante debido no sólo a la baja atenuación en este punto sino también a que su dispersión espectral generalmente es mínima a esta longitud de onda.

## DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

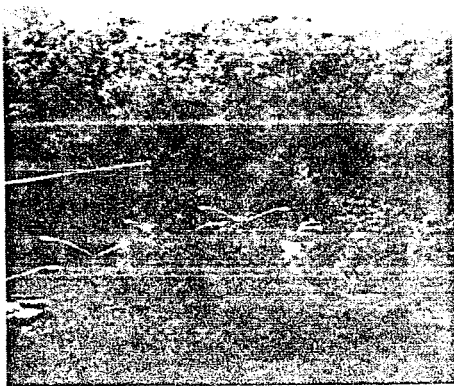
En la Facultad de Ingeniería no tenemos planos topográficos que nos ayuden en un momento dado a la planeación del proyecto, pero se pidieron al departamento de topografía de la Facultad de Ingeniería y así contar con esta información.

El suelo sobre el cual están asentados los dos edificios, es un suelo de desechos volcánicos, en general se puede decir que se trata de un terreno plano por lo que no existen subidas o pendientes muy pronunciadas, que pudieran afectar la instalación de cualquier sistema de comunicaciones.

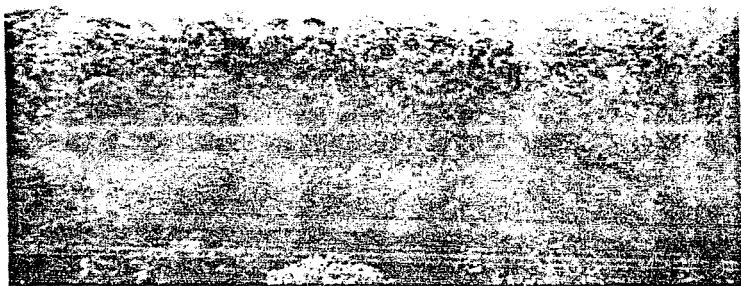
Existe línea de vista entre los dos edificios apta para un sistema de radio, por otro lado se debe tener presente que a lo largo de la línea de vista hay árboles con gran altura que rebasan la altura de los edificios y pueden llegar a afectar el enlace, porque estos árboles siguen creciendo.

En una observación que se realizó desde la azotea del Edificio Principal hacia el edificio de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería, con el propósito de checar la línea de vista, se pudo observar que a lo largo de la línea de vista existen árboles y no se tienen a la vista ninguno de los dos edificios, por lo tanto la línea de vista deseada sería a una altura mayor, lo cual influye para la colocación de las antenas, puesto que estas requerirían unas torres muy altas, por lo tanto un costo alto.

ESTA TESIS NO PUEDE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Esta fotografía fue tomada desde la azotea del edificio de la Dirección de la Facultad de Ingeniería (Edificio Principal), en la cual se nota que no existe una línea directa entre los edificios.



Fotografía tomada en la azotea, donde se ubica el observatorio de la Facultad de Ingeniería (Edificio Principal) en la que también no se observa los edificios de la División de Ciencias Básicas

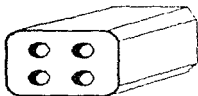


Por último tenemos la fotografía correspondiente a la vista desde la azotea del Edificio de Ciencias Básicas (Anexo), donde se ubica el Departamento de Comunicación, la cual demuestra que no hay una línea de vista a los edificios de la Facultad de Ingeniería (Edificio Principal), por lo que si se quiere hacer una comunicación via Microondas entre estos dos edificios se requiere de la instalación de una torre bastante alta, lo cual implica, un alto costo solo en la instalación de esta torre.



## INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Aquí detallaremos la infraestructura con que cuenta el edificio principal y el edificio anexo de la Facultad de Ingeniería, como primer punto sabemos, que existe una red de tubería subterránea que enlaza el edificio principal con el edificio anexo, esta red consta de un tubo para cable telefónico, con capacidad para 4 cables (ver figura 34). Esta red fue construida hace ya varios años, para la comunicación directa desde el edificio principal hasta el edificio anexo de la Facultad de Ingeniería, y bajo la dirección de profesores de la misma facultad, actualmente esta red esta libre, debido a que no se concluyó el proyecto inicial.



**ESTRUCTURA PARA CABLES DE TELEFONO**

Figura 34

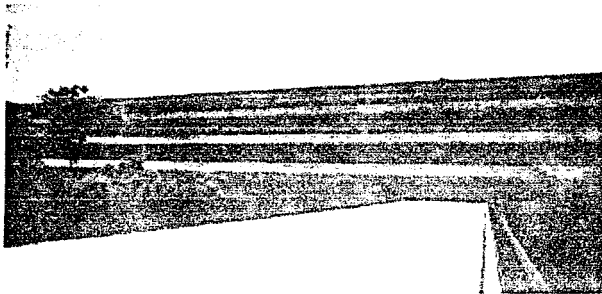
Esta red esta construida y diseñada precisamente para conductores de fibra óptica, aunque también se puede utilizar para cualquier otro tipo de conductor, la existencia de esta red es muy importante encuanto a costos se refiere, porque representa un gran ahorro en obra civil, únicamente será necesario hacer una revisión de la misma para limpiarla conocer en que estado se encuentra actualmente, y saber si haya que realizar algunas reparaciones.

En las azoteas de los edificios, no existen antenas de radio comunicaciones, ni se tienen torres para antena, que pudieran llegar a servir si el sistema a emplear fueran las microondas.

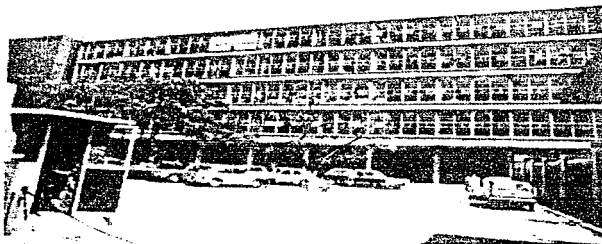
Por otro lado y de acuerdo a la información recabada se sabe que el edificio anexo de la Facultad de Ingeniería cuenta con conductores dentro del edificio, para instalación de cables de fibra óptica, que llegan hasta algunos de los salones de este edificio.

El enlace que existe actualmente entre estos edificios, según información de los profesores de la facultad, es la conexión de los edificios mediante un cable de par trenzado

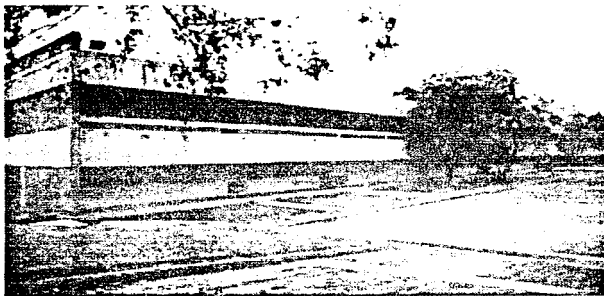
Dentro de la infraestructura está red UNAM esta red tiene conexión, con varias Facultades y algunos Institutos de la Universidad. Red UNAM tiene un enlace hasta Houston a través del cual se tiene intercambio de información, los administradores de la red UNAM pueden conectar el edificio anexo de la Facultad de Ingeniería con red UNAM debido a la cercanía de este con su centro de operaciones. Actualmente no se pueden comunicar con el edificio principal de la Facultad de Ingeniería por que sus canales están saturados



Edificio de la Dirección de la Facultad de Ingeniería



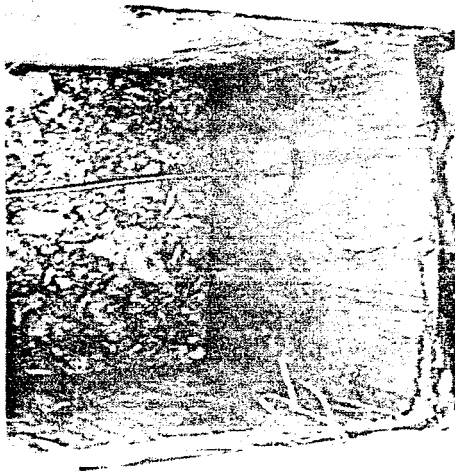
Edificio B, vista de frente de la Facultad de Ingeniería.



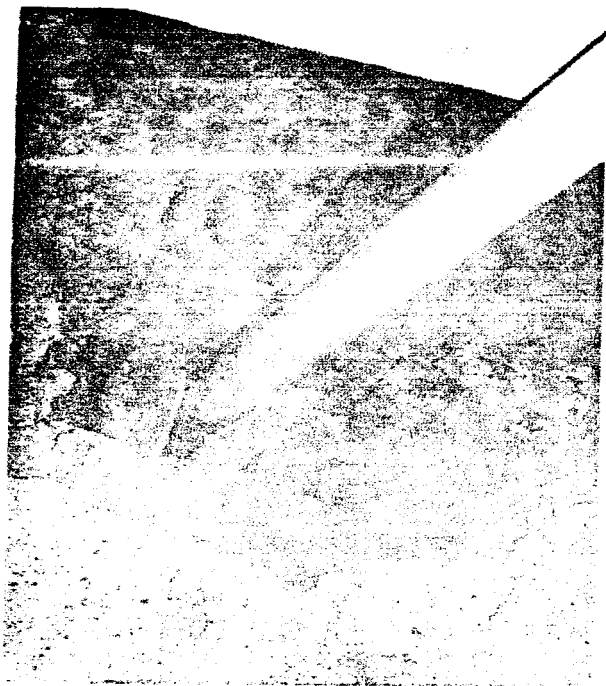
Edificio donde se ubica el Departamento de Comunicación (División de Ciencias Básicas).



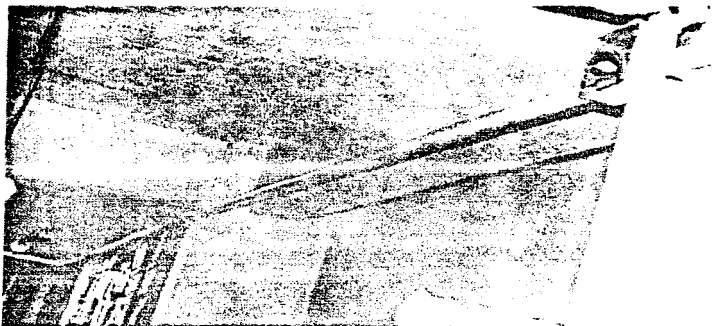
**Se muestra el registro por donde llegan los ductos al edificio de Ciencias Básicas.**



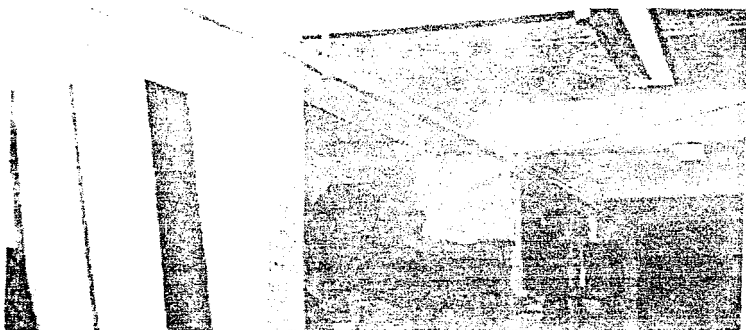
Actualmente esta tubería contiene un cable telefónico.



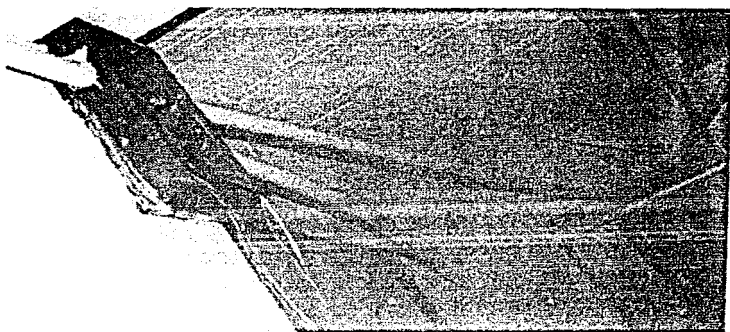
Entrada de la tubería al sótano donde se ubica el departamento de comunicaciones



Se muestran los conductos disponibles para la introducción de los cables de fibra óptica

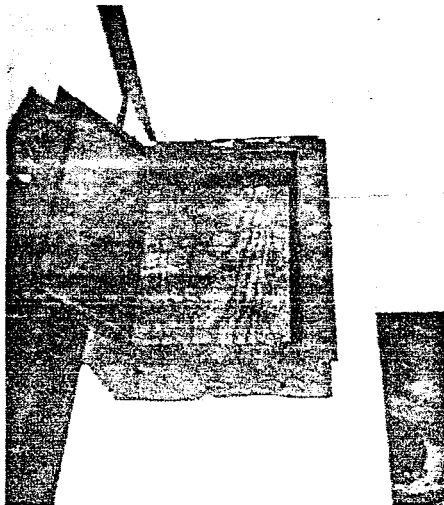


En esta fotografía se muestra como corte la tubería por el sótano del edificio de Ciencias Básicas



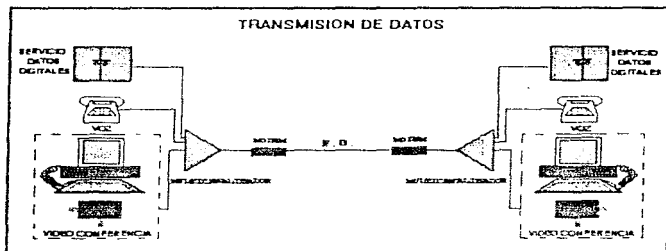
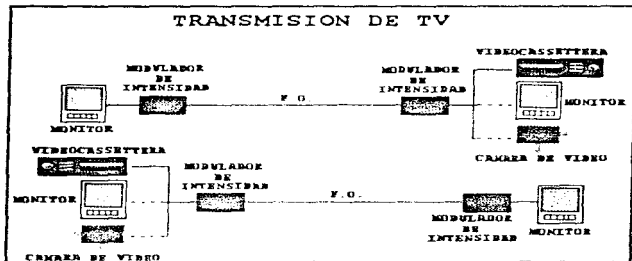
**Aqui se demuestra que hay una conexión hacia el edificio de la secretaria de la División de Ciencias Basicas buscando así la conexión hacia la nueva biblioteca.**



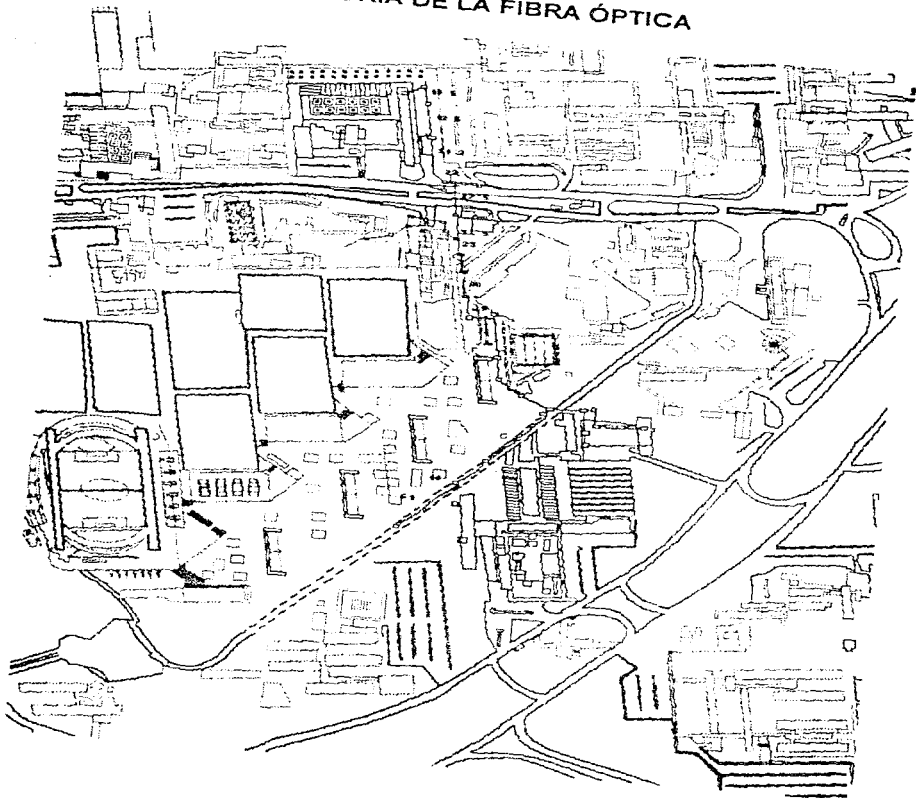


**En esta fotografía se muestra un registro el cual no contiene ningún tipo de cable, por lo que se puede utilizar para la distribución del cable.**

## DIAGRAMA DE LA RED PROPUESTA



# TRAYECTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA



## COSTOS DEL PROYECTO

Para este sistema, los costos serán los mínimos requeridos, puesto que la infraestructura civil existe, por lo tanto, el costo aquí mencionado será por compra del equipo, así como el costo por instalación subterránea, lo cual por razones de seguridad en la continuidad del servicio se ven menos afectados por daños ocasionados por terceros.

Un factor importante para este tipo de sistemas es su tiempo de vida útil, el cual el fabricante proporciona tomando en cuenta la calidad de los elementos activos y pasivos que componen al equipo y varía con cada fabricante en un rango que va de los 15 a los 20 años.

DESCRIPCIÓN	COSTO
Metro de F. O. 12 hilos EXTERIOR	\$6.65 USD por metro
Tendido de F. O. por metro	\$1.30 USD por metro
2 Liu de 12 fibras AT&T	\$127.15 USD
24 conectores ST ya instalados	\$407.9 USD
Preparación de puntas F. O.	\$143.8 USD ambos extremos
Ranurado con tubo de 51mm instalado	\$6.67 USD por metro
Encofrado de tubo de 51mm instalada	\$9.00 USD
2 Registros metálicos para inst. Liu	\$143.8 USD
Descanalizador fcd-24,4 Canales de alta velocidad v.35	\$4,487.9 USD
Concentrador de 24 pyos. UTP	\$1450.00 USD
Rack de 19" para equipo terminal	\$326.8 USD
Instalación de peliducto	\$0.7 USD por metro

**COSTO TOTAL : 3,7736.35 USD**

**COSTO TOTAL : 288,305.71 \$M/N**

**COSTO MENSUAL A 36 MESES = 8008.49.19\$M/N**

**DOLLAR = 7.64**

## **COSTOS DE MANTENIMIENTO.**

Por lo que respecta a sistemas por fibras ópticas con aplicación en el ramo de las comunicaciones el propio equipo minimiza el costo de mantenimiento, porque cuenta con alarma indicadora de fallas, no requiere de mantenimiento preventivo ni rutinas.

Un sistema de fibra óptica necesitará de una inversión considerable, pero con la seguridad de que esta será redituable.

## **EQUIPO ASIGNADO PARA EL ENLACE**

Después de haber estudiado un sistema de transmisión digital y uno analógico para F.O. para señales de televisión y datos decidimos proponer lo siguiente:

- a) Para la transmisión de T.V. se propone la utilización de un equipo analógico.
- b) Para la transmisión de datos se usa equipo digital.

Lo anterior se decidió después de estudiar los equipos que existen en el mercado para transmisión de señales de T.V., por fibra óptica, entre los que tenemos equipos digitales y analógicos.

Para una transmisión digital de T.V. encontramos las siguientes desventajas.

- Alto costo del equipo digitalizador-compactador.
- Requieren de 90 MBPS para la transmisión de la señal.
- Fibra de tipo monomodo lo cual encarece la instalación.

## VENTAJAS

- Transmisión de varios canales con una calidad aceptable.

Por otro lado encontramos que un sistema analógico, tiene un costo menor en cuanto a equipo se refiere, son equipos pequeños que ocupan un ancho de banda de 5 Mhz, se les puede conectar directamente una video cassette, una video-cámara o un televisor, son equipos que no requieren mantenimiento y cubren perfectamente la necesidades para enlazar el edificio de Ciencias Básicas y el edificio Principal de la Facultad de Ingeniería.

## **COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## COMENTARIOS

En este trabajo se plantean aspectos fundamentales para decidir el medio más adecuado y solucionar las necesidades de comunicación, que son diferentes dependiendo de cada usuario, se mencionan las características de cada uno de los medios.

Sabemos que las necesidades de comunicación de cada usuario difiere entre si y van desde un sistema sencillo, hasta uno más elaborado, y por esto contamos con diferentes alternativas, que son utilizadas en conjuntos con algunos sistemas

Todo esto se tiene que realizar con una mentalidad a futuro, porque no se tiene que olvidar que las necesidades de una empresa crecen conforme esta se desarrolla

## CONCLUSIONES

Observamos en este trabajo que existen un sin número de opciones en el mercado actual, para lo que es transmisión de señales de Televisión y Datos, que van desde sistemas sencillos, como el uso de un cable coaxial y amplificadores intermedios, hasta sistemas muy complejos, como la utilización de sistemas satelitales, con capacidades de transmisión variables, y en este sentido hay que escoger, un sistema que cubra las necesidades, que se tengan de comunicación, teniendo siempre en cuenta el costo de este sistema y posibles ampliaciones a futuro, para que si surge una necesidad adicional, no se tengan que cambiar totalmente los equipos, otro punto importante que no debe quedar fuera de un análisis, es la obra civil que se requiere para operar una cierta tecnica de transmisión. Por ejemplo, las ventajas de las microondas es que la construcción de 2 torres resultan por lo general más economicas, que abrir una zanja de 100 Km de longitud sobre el cual se pueda depositar un cable o una fibra y posteriormente volverla a cubrir. Las dificultades que se generan en el proceso de excavación siempre hay que tenerlas presente, otros problemas a considerar es que si se instalan repetidores a lo largo de la trayectoria, se les tiene que dar mantenimiento en forma periodica y puede ocurrir que los cables se rompan

El equipo para transmisión de televisión esta separado del equipo de datos es decir no vienen en conjunto, esto es una ventaja porque si hay alguna falla en el quipo de datos no se afectara el equipo de de televisión y viceversa.



Con esto se tiene a la Facultad de Ingeniería integrada como una sola, y con posibilidades de acceder a las nuevas tecnologías de comunicación como lo es actualmente es la videoconferencia, con otras partes del mundo, claro que para esto se necesita tener conexión con una red más grande como puede ser en este caso red UNAM. Actualmente red UNAM utiliza ya el equipo de video conferencia, que esperamos que la Facultad de Ingeniería también cuente con ello en un futuro no muy lejano.

## RECOMENDACIONES

Para el manejo del equipo se recomienda tener personal capacitado que labore dentro de la empresa y pueda en un momento dado sacar adelante las fallas que pudieran ocurrir, sin necesidad de llamar a los técnicos del proveedor, por que en algunos casos hay fallas muy sencillas y el proveedor da el servicio a un costo alto.

Con respecto a los cables de fibra óptica también se recomienda tener 2 cables con 4 fibras cada uno en lugar de tener un solo cable con 8 fibras, por decir un ejemplo, esto es porque si surge un daño al cable es más barato cambiar un cable con 4 fibras a un cable con 8 fibras.



Alcatel. "Comunicaciones Electricas". 1993. 3er Trimestre, pp 215,216,217,218, Alcatel

Alcate. "Comunicaciones Eléctricas". 1993. 4to Trimestre. Comunicación de empresas pp 105 107. Alcatel

Alcatel. "Comunicaciones Eléctricas". 1993 Volumen 65 No 3 Defensa y Telecomunicaciones pp 34 Alcatel

Cardenas F. Bernardo "Análisis de Sistemas y Señales" 1993. Señales. Apuntes de clase

Duniop J. D G. Smith "Ingeniería de las Telecomunicaciones" 1988 Español. pp 59 75 94 G Gili Barcelona

Ericsson. "Ericsson Conexion" 1993. Autopistas Hacia el Futuro. No. 3 Diciembre pp 78 Ericsson

Flores H. "Radiación y Propagación" 1994. Propagación. Apuntes de clase

Instituto de Telefonos de México. "Manual de entrenamiento".1993. Curso de Instalacion y Mantenimiento de Fibra Optica. INTELMEX

Nerou. P. Jean. "Introducción a las Telecomunicaciones por Fibra Optica". 1991. Trillas México D F

Roger L. Freeman. "Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones". 1989. Español. pp 299 303 307. Limusa Mexico D F

SIMENS. "Telecomunicación Digital" 1990 pp 37 44,45. Marcombo C A

Telefonos de México. "Red Digital de Sistemas Integrados". 1995. S/P. TELMEX.

Telefonos de México. "Revista Voces".1995 No. 1202, S/P, TELMEX

Telefonos de México. "Manual de Telecomunicaciones".1992. pp IX 108. TELMEX.