

58  
71



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“ COMUNICACIONES. EL CANAL DE  
COMUNICACION (EJEMPLO DE UN  
ENLACE DE RADIO DIGITAL) ”**

**TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
DAVID ESQUIVEL CARDOSO**

**ASESOR:  
ING ALFONSO CONTRERAS MARQUEZ**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS

Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones. "El canal de comunicación (ejemplo de un enlace de radio digital)"

que presenta el pasante: David Esquivel Cardona

con número de cuenta: 9723943-4 para obtener el Título de:

Ingeniero Técnico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán local, Edo. de México, a 19 de Septiembre de 19 97

MODULO:

PROFESOR:

FIRMA:

I	Inc.	Alfonso Contreras Marquez	<i>[Firma]</i>
II	Inc.	Juan González León	<i>[Firma]</i>
III	Inc.	Vicente España González	<i>[Firma]</i>

DEP/VOBOSER

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por darme la vida y con ella las fuerzas para realizar las metas que me he fijado en la vida.

### **A MIS PADRES**

Celestino y María de Jesús por que siempre creyeron en mi y me alentaron para seguir adelante, además de sus sabios consejos que me han dado para ser un hombre responsable y a ese apoyo incondicional sin el cual no hubiera sido posible realizar éste trabajo.

### **A MI HERMANO**

Rodrigo porque supiste comprender mis problemas y me apoyaste para seguir adelante.

### **A MIS PROFESORES**

Que con paciencia me brindaron sus conocimientos, y muy en especial al ING: Alfonso Contreras Marquez que fue mi asesor y me apoyo a realizar éste trabajo

INDICE	PAGINA
INTRODUCCION.....	1
I.- OBJETIVOS DE LA PLANEACION.....	2
I.1.- Recomendación G.821.....	3
I.1.1.- Objetivos en materia de calidad de funcionamiento.....	7
I.1.2.- Asignación de los objetivos globales.....	9
I.1.3.- Método de distribución de los objetivos relativos a los minutos degradados y a los segundos con error.....	12
I.1.4.- Método de distribución de los objetivos relativos a los Segundos con muchos errores.....	14
II.- EL RADIO DIGITAL COMO CENTRAL DE COMUNICACIONES EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES.....	16
II.1.- La recomendación G.703.....	24
II.1.1.- Especificaciones en el acceso de entrada.....	25
II.2.- Características eléctricas del interfaz de reloj centralizado A 64Kbit/s.....	29
II.2.1.- Reglas de conversión de código.....	29
II.3.- Interfaz a 2048 Kbit/s.....	30
II.3.1.- Especificaciones en los accesos de entrada.....	32
III.- REDUNDANCIA.....	33
III.1.- Principio de redundancia.....	33
III.2.- Redundancia de equipos.....	34
III.3.- Redundancia de propagación.....	37
IV.- PLANIFICACIÓN DE RUTA PARA UN RADIO DIGITAL.....	38
IV.1.- Selección de la altura de la antena.....	38
IV.2.- Diseño de enlaces ordinarios.....	41
IV.3.- Reflexiones de la superficie.....	43
IV.4.- Parámetros relevantes en un enlace de microondas.....	47
V.- EQUIPAMIENTO.....	49
V.1.- Enlace ordinario.....	49
CONCLUSIONES.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	53

## **INTRODUCCION**

Con el cambio de la tecnología analógica a digital en los años 80's, las telecomunicaciones han tenido un crecimiento, sin precedentes. Los factores más importantes que han influido en este cambio han sido las ventajas técnicas de los equipos digitales así como el abaratamiento de los sistemas de transmisión por fibra óptica. Sin embargo aunque el costo de la fibra óptica se ha reducido, existen sin embargo las nacientes redes móviles, en las cuales las redes digitales son la solución optima.

Además de las redes móviles, en las aplicaciones tradicionales para larga distancia, seguirán existiendo rutas en las que la implementación de un radio digital será la mejor opción económica.

## **I OBJETIVOS DE LA PLANIFICACION**

El principal objetivo en la planificación de un enlace de microondas es lograr al mas bajo costo y con la mayor eficiencia la satisfacción de necesidades del usuario.

Las bases para la planificación de los enlaces esta definido por las recomendaciones internacionales de la CCIR así como por las normas y estándares nacionales y los requerimientos particulares de cada aplicación. existen varios factores que deberán ser considerados:

A través de cálculos de interferencias, asegurarse que las perturbaciones entre los radio enlaces permanezcan lo más pequeñas posibles aun bajo condiciones de desvanecimiento.

Reducción de los efectos del terreno en la calidad de la transmisión a través de una selección adecuada del tipo de altura de las antenas así como con mediciones de reflexiones si es necesario.

Diseño de márgenes de tolerancia al desvanecimiento de tal manera que basándose en las probabilidades de ocurrencia, no afecten la calidad de la señal en la instalación real, implementando la recepción con diversidad en caso requerido o ecualizadores adaptativos para sistemas de banda ancha si se requiere.

La eficiencia es una de las partes más importantes en la planificación de un enlace de radio y se puede clasificar en dos partes:

- Grado de calidad
- Márgenes de disponibilidad

El grado de calidad esta influenciado por las características de la tasa de error así como por los limites de jitter durante el tiempo de disponibilidad del enlace entre otros.

#### **I.1.- RECOMENDACIÓN G.821**

**Características de error de una conexión digital internacional que forme parte de una red digital de servicios integrados.**

EL CCITT

considerando

- (a) que cabe esperar que en el futuro los servicios se basen en el concepto de red digital de servicios integrados (RDSI);
- (b) que los errores constituyen una fuente esencial de degradación por afectar a los servicios de tipo telefónico en forma de distorsión de la voz, y a los servicios de tipo datos por la mutilación o inexactitud de la información, o en forma de reducción de la información;



(c) que si bien es probable que predominen los servicios de tipo telefónico, la RDSI tiene que transmitir una amplia variedad de tipos de servicios, razón por la cual es conveniente establecer una especificación unificada;

#### **Recomienda**

que dentro del siguiente campo de aplicación y definiciones, se cumplan los requisitos expuestos en el cuadro 1 /G.821 y en los puntos siguientes.

#### **Campo de aplicación y definiciones**

Los objetivos de calidad se aplican a cada sentido de una conexión con conmutación de circuitos a bit/s para tráfico de tipo telefónico o un "canal soporte" para servicios de tipo datos.

La conexión con conmutación de circuitos a 64 kbits/s aludida es una conexión ficticia de referencia digital y está representada en la figura 1/G.821. Abarca una longitud total de 5000 Km. y se deriva de una conexión ficticia de referencia normalizada representada en la figura 1/G.821.

El objetivo de calidad se especifica en términos de parámetros de características de error, cada uno de los cuales se define como sigue:

Porcentaje de cada uno de los periodos de promediación del intervalo de tiempo  $T_0$  durante los cuales la tasa de errores en los bits (TEB) sobrepasa un

valor umbral. El porcentaje se determina a lo largo de un intervalo de tiempo  $T_L$  mucho mayor. (véase el cuadro 1/G.821, observación 3).

Cabe señalar que el tiempo total ( $T_L$ ) se divide en dos partes, a saber, el tiempo durante el cual la conexión se considera disponible y el tiempo en el que está indisponible.

En el enunciado de los objetivos se utilizan los siguientes TEB e intervalos:

- a) TEB de menos de  $1 \times 10^{-6}$  para  $T_0 = 1$  minuto
- b) TEB de menos de  $1 \times 10^{-3}$  para  $T_0 = 1$  segundo
- c) cero errores para  $T_0 = 1$  segundo (equivalente al concepto de segundos sin errores, SSE):

Los objetivos de calidad de funcionamiento tienen dos finalidades principales:

- a) dar al usuario de las futuras redes digitales nacionales e internacionales una indicación en cuanto a la característica de error prevista con condiciones de explotación real, lo que facilitará la planificación del servicio y el diseño del equipo terminal.
- b) sentar una base para el establecimiento de normas de calidad de funcionamiento de los equipos y sistemas de transmisión que formen parte de una conexión en la RDSI.

Los objetivos de calidad de funcionamiento representan una solución de compromiso entre el deseo de satisfacer las necesidades de servicios y la necesidad de construir los sistemas de transmisión respetando las limitaciones técnicas y económicas. Aunque están expresados atendiendo a las necesidades de servicios distintos.

El objetivo de calidad establecido para minutos degradados (cuadro 1/G.821, observación a) se basa en un periodo de promediación de 1 minuto. Este periodo de promediación, junto con la exclusión de los errores que se produzcan en segundos de muchos errores de ese periodo de 1 minuto (véase el cuadro 1/G.821, observación 2) podría permitir que las conexiones con frecuentes errores en la ráfaga cumplan este aspecto particular del objetivo general, pero en cierta medida esto quedará limitado por el objetivo en materia de segundos con muchos errores (cuadro 1/G.821, b)). Hay algunas dudas sin embargo, en cuanto a la idoneidad de los objetivos a efectos del correcto funcionamiento de los servicios de vídeo en tiempo real, cuyos tiempos de duración son relativamente largos.

Como quiera que estos objetivos apuntan a la satisfacción de las necesidades de la red digital futura, es preciso reconocer que no pueden ser alcanzados fácilmente por todos los equipos y sistemas digitales de hoy en día. La intención, sin embargo, es establecer, para el diseño del equipo unos objetivos que sean compatibles con los especificados en la presente recomendación. Estos aspectos son actualmente objeto de debate en el seno de la CCITT y del CCIR.

También se recomienda vivamente que en el diseño de todas las tecnologías, cualquiera que sea la posición que ocupen en la red, se utilicen normas superiores a las indicadas en esta recomendación, a fin de reducir al mínimo la posibilidad de que estos objetivos de extremo a extremo sean excedidos, en una cantidad significativa de conexiones reales.

Los objetivos se refieren a una conexión muy larga y, visto que una gran proporción de las conexiones internacionales reales serán más cortas. Cabe esperar que una fracción importante de ellas ofrezcan una calidad de funcionamiento superior al valor límite. Por otro lado, un pequeño porcentaje de las conexiones serán más largas, y en tales casos se podrán exceder los márgenes especificados en esta recomendación.

#### **1.1.1.- Objetivos en materia de calidad de funcionamiento**

Los objetivos en materia de característica de error de una conexión internacional establecida por conducto de la RDSI aparecen en el cuadro 1/G.821. La intención es que las conexiones internacionales de la RDSI satisfagan simultáneamente todos los requisitos del cuadro 1/G.821. Una conexión que no cumpla con alguno de estos requisitos, no cumple el objetivo especificado.

**Cuadro 1/G.821**

Objetivos de característica de error para las  
conexiones internacionales de la RDSI.

<b>Clasificación de la característica</b>	<b>Objetivo</b>
(a) (minutos degradados) (observaciones 1,2)	Menos del 10% de los intervalos de un minuto tendrán una tasa de errores en los bits peor que $1 \times 10^{-6}$ (observación 4)
(b) (segundos con muchos errores) (observación 1)	Menos del 0.2% de los intervalos de 1 segundo tendrán una tasa de errores en los bits peor que $1 \times 10^{-3}$
(c) (segundos con errores) (observación 1)	Menos del 8% de los intervalos de 1 segundo tendrán por lo menos un error (equivalente a 92% de segundos sin errores)

**Observación 1.-** Se utilizan los términos "minutos degradados", "segundos con muchos errores" y "segundos con errores" a título de "identificador" práctico y conciso de este objetivo de calidad. El empleo de ellos no prejuzga en uno u otro sentido la aceptabilidad de tal nivel de calidad.

**Observación 2.-** Los intervalos de 1 minuto mencionados en el cuadro 1/G.821 y en sus observaciones se deduce restando el tiempo indisponible y los segundos

con muchos errores del tiempo total y agrupando entonces consecutivamente los segundos restantes en bloques de 60. Los intervalos básicos de 1 segundo se deducen de un esquema temporal fijo.

**Observación 3.-** No se ha especificado el intervalo de tiempo  $T_L$  que servirá para la determinación de los porcentajes, dado de que este puede depender de la aplicación de la que se trate. Se sugiere, como referencia, que sea del orden de un mes cualquiera.

**Observación 4.-** Por razones prácticas, a 64 kbit/s, un minuto que contenga 4 errores (lo que equivale a una tasa de errores de  $1.04 \times 10^{-6}$ ) no se considera degradado. Pero esto no implica una mitigación del objetivo de tasa de errores de  $1 \times 10^{-6}$ .

#### **I.1.2.- Asignación de los objetivos globales.**

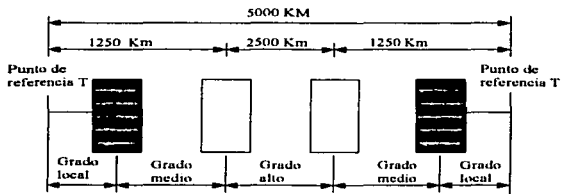
Como quiera que los objetivos indicados se aplican a una conexión completa, es necesario subdividirlos en las partes constitutivas de esta última. En este punto se exponen los principios básicos y el sistema utilizados para la distribución de los objetivos de calidad de funcionamiento.

El sistema de distribución general entraña el empleo de dos métodos ligeramente diferentes, aplicables uno a los requisitos relativos a los minutos degradados y a los segundos con error.

## Principios básicos de distribución

La distribución está basada en la hipótesis de que se utilizan sistemas de transmisión cuyas propiedades correspondan a una de un número limitado de categorías diferentes.

Se han establecido tres clasificaciones distintas de la calidad representativas de los circuitos prácticos de transmisión digital, que son independientes de los sistemas de transmisión utilizados. Estas categorías se denominan "grado Local", "grado medio" y "grado alto" y su empleo tiende a depender en general de la ubicación en la red (figura 1/G.821).



**Observación** - No es posible ofrecer una definición de la ubicación de la frontera entre las partes de grado medio y alto de la conexión ficticia de referencia.

**Figura 1/G.821 Delimitación de la calidad del circuito en la conexión ficticia de referencia de longitud máxima**

Para el sistema de distribución descrito a continuación son válidas las siguientes hipótesis generales:

Al distribuir los objetivos entre los elementos constitutivos de una conexión, lo que se subdivide es el "porcentaje del tiempo";

Los objetivos se distribuyen por igual entre los requisitos relativos a los minutos degradados y a los segundos con error (categorías a) y c));

No se subdivide el umbral de la tasa de errores. Esto se basa en la hipótesis de que la calidad de los circuitos reales, que constituyen las partes de la conexión ficticia de referencia (figura 1/G.821), será de ordinario bastante mejor que el umbral para un minuto degradado;

No se tiene en cuenta la contribución de errores ya sea de los elementos de conmutación digital o de los equipos múltiplex digitales, por ser despreciable en comparación con la distribución de los sistemas de transmisión.

Se considera que estas categorías de calidad aplicables a las diferentes partes de la conexión representan la situación de una gran proporción de las conexiones internacionales reales. Las administraciones son libres de utilizar los sistemas de transmisión que deseen dentro de sus propias redes, y estas otras disposiciones se consideran totalmente aceptables siempre y cuando la calidad de funcionamiento global de la parte nacional no sea inferior a la que existiría si se hubiese utilizado las disposiciones normales de la CCITT.



Cabe advertir que un pequeño porcentaje de las conexiones serán más largas que la conexión ficticia de referencia de 2500 km. Por definición, la parte en exceso de la conexión se establecerá por circuitos de alto grado, de forma que la magnitud en que dichas conexiones superen el margen total previsto en esta recomendación será proporcional a la magnitud que se sobrepase la sección de 2500 km. Las administraciones deben tener en cuenta que si en las realizaciones prácticas fuese posible mejorar los límites de calidad de funcionamiento expresados por las distintas categorías, dichas situaciones serían mucho menos frecuentes.

**Observación** - En el caso de los sistemas terrenales, la distribución de las categorías de calidad de "minuto degradado" a entidades más pequeñas puede exigir la subdivisión del objetivo de tasa de errores así como la subdivisión de "porcentaje de tiempo", con la distancia.

**1.1.3.- Método de distribución de los objetivos relativos a los minutos degradados y a los segundos con error.**

La distribución de la degradación permitida, es decir el 10% de minutos degradados y 8% de segundos con errores, se especifica en el cuadro 2/G.821.

### CUADRO 2/G.821

Distribución de los objetivos relativos a los minutos degradados y a los segundos con error, para las tres categorías de circuitos.

Clasificación del circuito	Distribución de los objetivos señalados en el cuadro 1/G.8221 para los minutos degradados y los segundos con error.
Grado local (dos extremos)	15% del margen unitario a cada extremo (observaciones 1, 4 y 5)
Grado medio (dos extremos)	15% del margen unitario a cada extremo (observaciones 2, 4 y 5)
Grado alto	40% (equivalente a una cantidad conceptual de 0.0016% por km para 2500 Km.

**Observación 1** - Se considera que la asignación de grado local constituye un margen unitario, esto es, un margen para esa parte de la conexión independiente de la longitud.

**Observación 2** - Se considera que la asignación de grado medio constituye un margen unitario, esto es, un margen para esa parte de la conexión, independientemente de la longitud. La longitud real de la parte de grado medio de la conexión variará considerablemente de un país a otro. Los sistemas de transmisión de esta categoría presentarán una variación de la calidad comprendida entre las otras categorías.

**Observación 3** - La asignación de grado alto se divide en función de la longitud, obteniéndose una asignación conceptual por km que puede utilizarse para determinar un margen unitario para un modelo definido de red.

**Observación 4** - Las partes de grado local y de grado medio podrán cubrir los primeros 1250 km del circuito, desde el punto de referencia T hacia la red.

**Observación 5** - Las administraciones podrán asignar los márgenes unitarios de las partes de grado medio y de grado local de la conexión conforme sea necesario dentro del margen total de 30% para cualquier extremo de la conexión

#### **1.1.4.- Método de distribución de los objetivos relativos a los segundos con muchos errores**

La atribución total de 0.2% para los segundos con muchos errores se subdivide en las categorías de circuitos de la siguiente manera:

- a) El 0.1% se divide entre las tres categorías de circuitos de la misma manera que para los otros dos objetivos. Esto se traduce en la asignación indicada en el cuadro 3/G.821.

### CUADRO 3/G.821

Distribución de los objetivos relativos a los segundos con muchos errores

Clasificación del circuito	Distribución de los objetivos relativos a los segundos con muchos errores
Grado local	0.015% del margen unitario a cada extremo (observación 5 al cuadro 2/G.821)
Grado medio	0.015% del margen unitario a cada extremo ( observación 5 al cuadro 2/G.821)
Grado alto	0.04% (observación 1)

**Observación 1** - En el caso de los sistemas de transmisión correspondientes a la categoría de grado alto, cada parte de 2500 km no podrá contribuir más del 0.04%.

El 0.1% restante constituye un margen unitario para las categorías de grado medio y alto que tiene en cuenta las condiciones adversas experimentadas ocasionalmente en la red (entiéndase el mes más desfavorable del año) en los sistemas de transmisión. De resultados de la naturaleza estadística de la aparición de efectos correspondientes al mes más desfavorable en una conexión mundial, se considera que los siguientes márgenes son compatibles con el valor total de 0.1%:

## II.- EL RADIO DIGITAL COMO CENTRAL DE COMUNICACIONES EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES

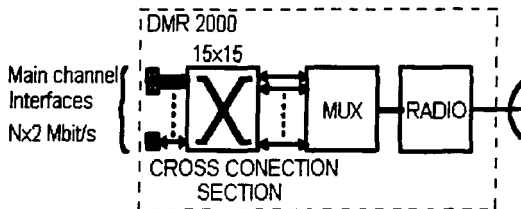
En las redes de telecomunicaciones actuales, es muy común encontrar la aplicación de los radios digitales para la transmisión de información, comúnmente son radios que tienen interfaces de entrada de señal según la Rec. G703 de la CCITT.

Las capacidades de transmisión pueden abarcar desde un par de canales hasta 1920 canales ya sea para voz o datos.



figura II.1 - Configuración general de un radio digital

Los radios más modernos integran funciones de multiplexaje y demultiplexaje así como las capacidades de cross conexión, características que permiten al usuario una flexibilidad hasta hoy desconocida en las comunicaciones digitales.

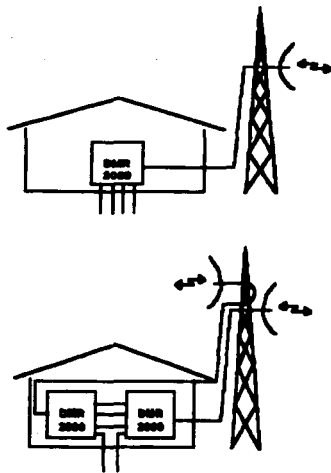


**Figura II.2- Diagrama a bloques de un radio con mux y xconnect.**

Existen dos tipos básicos de los radios digitales:

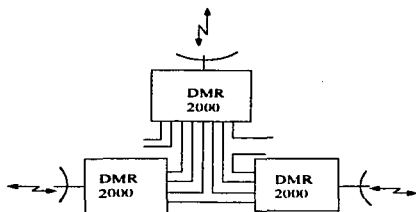
a) Como estación terminal para aplicaciones en un ancho de banda flexible que pueden ser  $N \times 2$  Mbps o una tributaria de mayor capacidad, esta aplicación se presenta en enlaces aislados o en los extremos de una ruta de multienlaces, tal como lo muestra la figura II.3.

b) La estación repetidora está compuesta de dos radios que están conectados entre sí y que pueden retransmitir las señales recibidas en su totalidad o en algunos casos en los radios más modernos existe la posibilidad de realizar inserciones y extracciones del tren principal de información.



**Figura II.3 aplicaciones de radios en terminal y en repetidor**

Además de las aplicaciones descritas, existen muchas variantes hoy en día con los modernos radios digitales que son capaces de realizar un sinnúmero de funciones que integran de manera perfecta los procedimientos más modernos de programación en Software, como es el caso de una estación en configuración de estrella.



**Figura II.4 Configuración en estrella**

Un ejemplo clásico para la aplicación de los radios digitales como canal de comunicación es una red pública que integra centrales de comunicación analógicas y digitales así como sistemas de transmisión por fibra óptica.

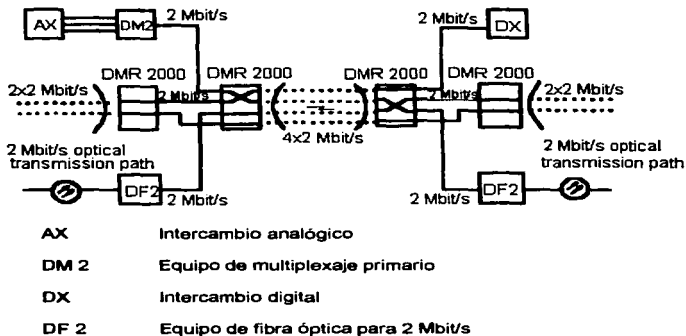
En el ejemplo de la figura II.5, se muestra una ruta principal de radios digitales para una capacidad de  $N \times 2 \text{ Mbps}$ , los cuales están equipados con funciones de cross conexión para las tributarias que transportan.

En éste ejemplo, los canales de voz provenientes de una central de conmutación analógica (AX) son multiplexados por un multiplexor digital e integrados en un tren binario de 2 Mbps que puede transportar un total de 30 canales PCM de 64 kbps cada uno; éstos 2 Mbps son insertados en una de las terminales de radio provistas con interfaces G.703 para 2.048 Mbps y de ésta



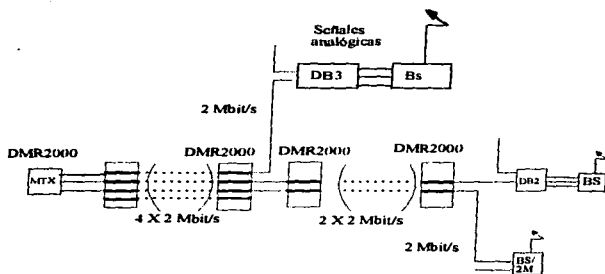
manera transmitidos hacia alguna dirección en el tramo principal de la ruta de microondas.

En otro extremo de la ruta, los 30 canales provenientes de la central analógica pueden ser extraídos y transmitidos ahora por una ruta óptica hacia otra dirección, o bien terminados en una central digital para ser enrutados hacia su destino. lo mismo se puede realizar en la dirección contraria, donde los canales son extraídos de una central digital y pueden ser llevados hacia una central de comunicación analógica para ser enrutados hacia su destino final.



**Figura II.5 Radio en una red pública**

Otra de las aplicaciones más comunes de los radios digitales como canales de comunicación hoy en día son las redes para telefonía móvil. En la figura se muestran las radio bases (BS) que tienen una capacidad limitada de canales de radio para conectarse con las unidades móviles; Los canales analógicos que son recibidos por las radiobases (BS) son digitalizados y multiplexados en un dispositivo multiplexor (Ejem.) FlexMux con capacidades de inserción extracción y transmitidos en una trama de 2.048 Mbps hacia un radio que multiplexará  $N \times 2.048$  Mbps en una trama de orden superior para transmitirla en forma de microondas a lo largo de una ruta definida hacia una central de conmutación móvil (MTX). En las redes móviles modernas, algunas estaciones bases (BS) ya tienen integradas funciones de multiplexaje para los canales de usuario de tal suerte que entregan directamente una trama múltiplex de 30 canales.



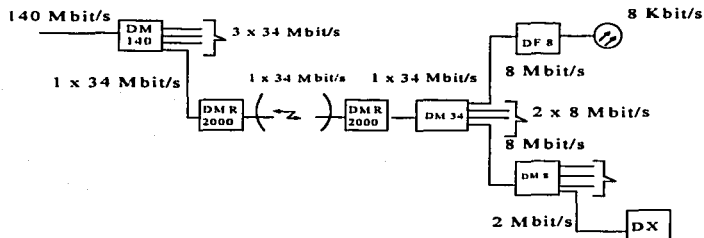
<b>MTX</b>	<b>Intercambio móvil</b>
<b>DB2</b>	<b>Equipo distribuidor de 2 Mbit/s</b>
<b>BS</b>	<b>Estación base (interfaz analógica)</b>
<b>BS/2M</b>	<b>Estación base (interfaz digital de 2 Mbit/s)</b>

**Figura 11.6 El radio digital en redes celulares**

Además de la flexibilidad que presentan los radios digitales hoy en día, el uso tradicional de los radios para transportar grandes cantidades de información en forma directa, sigue siendo uno de los métodos más usados en ambientes donde se requiere rapidez de instalación y confiabilidad del medio de comunicación como es el caso que muestra la figura.

Las señales que transmite el radio digital pueden provenir de un sistema múltiplex de 34 Mbps, y que a su vez está formada por tributarias de 8 Mbps que pueden provenir ya sea de sistemas de fibra óptica o multiplexores de segundo orden que multiplexan las señales provenientes de centrales de conmutación de 2 Mbps.

La salida de los radios digitales en caso de ser de 34 Mbps pueden alimentar a sistemas múltiples de mayores capacidades como es el caso de la figura II.7 donde la salida del radio digital de 34 Mbps es alimentada a un sistema de 140 Mbps.



**Figura II.7 Aplicación típica de 34 Mbps.**

El método tradicional de hacer la derivación y extracción de banda base en una ruta de radios digitales, ha sido el de multiplexar/demultiplexar una señal a través de varias etapas, lo cual incrementa el riesgo de inconfiabilidad.

Los radios modernos de las nuevas generaciones, son capaces de realizar la inserción/extracción en forma directa sin requerir equipo adicional tal y como lo muestra la figura II.7.

## **II.1 LA RECOMENACION G 703**

### **Regla de conversión de código:**

**paso 1** - Un periodo de un bit a 64 kbit/s se divide en cuatro intervalos unitarios.

**Paso 2** - Un 1 binario se codifica como un bloque constituido por los cuatro bits siguientes:

1 1 0 0

**paso 3** - Un 0 binario se codifica como un bloque constituido por los cuatro bits siguientes:

1 0 1 0

**Paso 4** - La señal binaria se convierte en una señal de tres niveles alternando la polaridad de los bloques consecutivos.

**Paso 5** - La alternancia de la polaridad de los bloques se viola cada octavo bloque. El bloque con violación indica el último bit en un octeto.

### **II.1.1 Especificaciones en los accesos de entrada**

La señal digital presentada en los accesos de entrada deberá corresponder a la definición precedente, con las modificaciones que introduzcan con las características de los pares de interconexión. La atenuación de estos pares está comprendida entre 0 y 3 dB a la frecuencia de 128 kHz. Esta atenuación tendrá en cuenta posibles pérdidas debidas a la presencia de un repartidor digital entre los equipos.

Observación - Si el par simétrico está blindado, el blindaje se conectará a tierra en el acceso de salida, y se preverá, en caso necesario, su conexión a tierra en el acceso de entrada.

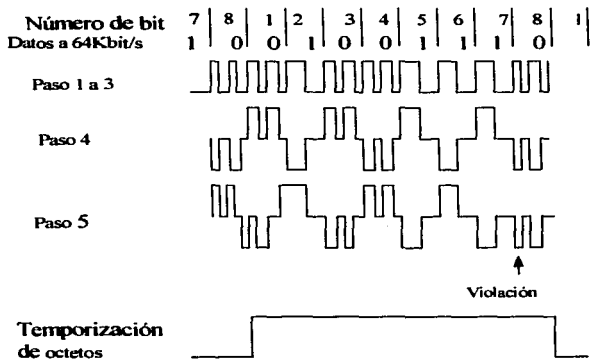
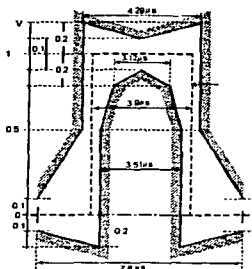
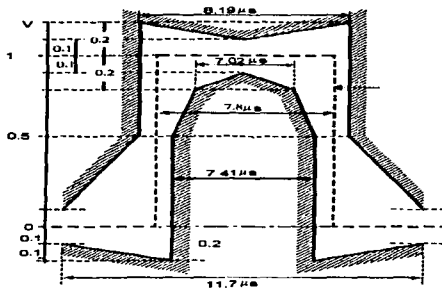


Figura II.8



a) plantilla para un impulso simple



b) plantilla para un impulso doble

**Figura 11.9** Plantillas para los impulsos en el caso de un interfaz codireccional  
a 64 kbits/s



**CUADRO 1/G703**

<b>VELOCIDAD DE SIMBOLO</b>	<b>256 Kbaudios</b>
Forma de impulso, forma nominal, rectangular	Todos los impulsos de una señal valida deben ajustarse a la plantilla de la figura II.9 sea cual fuere la polaridad
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par simétrico
Impedancia de carga de prueba	120 ohmios resistiva
Tensión de cresta nominal de una "marca" (impulso)	1.0 V
Tensión de cresta de un "espacio" (ausencia de impulso)	0 V más menos 0.10 V
Anchura nominal del impulso	3.9 $\mu$ s
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el centro del intervalo unitario	De 0.95 a 1.05
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto de semiampplitud nominal	De 0.95 a 1.05

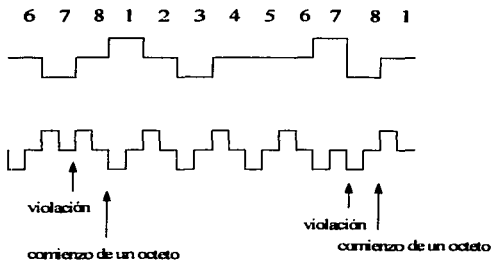
## **II.2 Características eléctricas del interfaz de reloj centralizado a 64 Kbit/s.**

velocidad binaria nominal: 64 Kbit/s. La tolerancia viene determinada por la estabilidad del reloj de la red.

Para cada sentido de transmisión deberá haber un par simétrico de hilos para la señal de datos. Además, deberá haber pares simétricos de hilos para transportar la señal de temporización compuesta (64 KHz y 8 KHz) de la fuente de reloj central al equipo terminal de central. Se recomienda la utilización de transformadores.

### **II.2.1- Reglas de conversión de código**

Las señales de datos se codifican en código AMI y los impulsos tienen una relación de trabajo de 100%. Las señales compuestas de temporización transportan la información de temporización de bits a 64 KHz en código AMI con una relación de trabajo de 50 a 70 % y la información sobre la fase del octeto a 8KHz mediante violaciones a la regla de codificación. La estructura de las señales y sus relaciones de fase nominales se muestran en la figura II.10.



**Figura II.10**

### **II.3- INTERFAZ A 2048 Kbit/s**

Velocidad binaria 2048: Kbit/s más menos ppm

Código: HDB3 (bipolar de alta densidad de orden 3)

**CUADRO 2/G.703**

<p align="center"><b>Forma del impulso</b> <b>(forma nominal: rectangular)</b></p>	<p><b>Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (figura II.11) independientemente del signo. El valor V corresponde al valor nominal de cresta</b></p>	
<p><b>Par(es) en cada sentido de transmisión</b></p>	<p>Un par coaxial</p>	<p>Un par simétrico</p>
<p><b>Impedancia de carga de prueba</b></p>	<p>75 ohms resistiva</p>	<p>120 ohms resistiva</p>
<p><b>Tensión nominal de cresta de una marca</b> <b>(impulso)</b></p>	<p>0 a 0.237 V</p>	<p>1V</p>
<p><b>Tensión de cresta de un espacio</b> <b>(ausencia de impulso)</b></p>	<p>0 a 0.237 V</p>	<p>0 a 0.3 V</p>
<p><b>Anchura nominal del impulso</b></p>	<p>244 ns</p>	
<p><b>Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y negativos en el punto medio</b></p>	<p>De 0.95 a 1.05</p>	
<p><b>Relación entre la anchura de los impulsos positivos y negativos en los puntos de semi amplitud nominal</b></p>	<p>de 0.95 a 1.05</p>	
<p><b>Fluctuación de fase máxima cresta a cresta en un acceso de salida</b></p>	<p>Recomendación G.823</p>	



### **III- REDUNDANCIA**

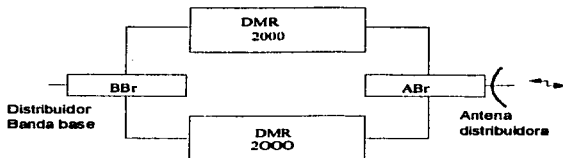
#### **III.1- Principio de redundancia.**

En las aplicaciones de los radios digitales, existen desde luego muchos factores que influyen sobre la confiabilidad y disponibilidad del enlace. Con tal de disminuir riesgos en el canal de comunicación, se han desarrollado en la práctica varias técnicas para minimizar dicho riesgo, la redundancia es una forma de incrementar la confiabilidad, mientras que la disponibilidad del radio enlace va ligada directamente con los factores básicos de la planificación de dicho enlace.

Un radio enlace está compuesto de dos partes integrales: los equipos y el medio de transmisión.

La redundancia por lo tanto se puede clasificar también en dos: redundancia de equipos y redundancia de propagación. La redundancia de equipos es usada para asegurar una comunicación ininterrumpida sin importar las fallas en los equipos, mientras que la redundancia de propagación es usada para minimizar las interrupciones de tráfico causadas por interferencias en el tramo de transmisión.

La figura muestra el concepto básico de redundancia constituido por dos equipos.



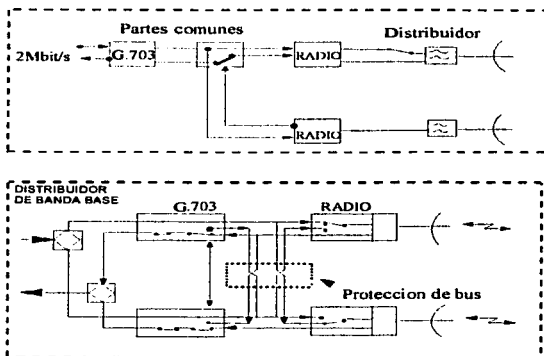
**Figura III.1 forma genérica de redundancia.**

### **III.2 Redundancia de equipos.**

La redundancia de equipos puede ser implementada en un número muy variado de posibilidades, dentro de las más comúnmente usadas en la práctica se pueden mencionar las siguientes:

- HSB (Hot Standby).
- WSB (Warm Standby)
- HSB + diversidad de espacio.
- Diversidad de frecuencia.
- Diversidad de polarización.
- Diversidad de espacio con 2 transmisores.

La figura muestra una de las configuraciones más comúnmente usadas como es la HSB con diversidad de espacio.

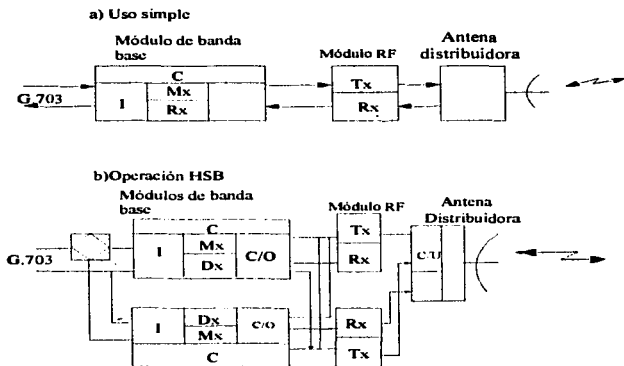


**Figura III.2 Ejemplo de redundancia.**

En casos donde el grado de confiabilidad no sea lo más importante ni el tiempo de disponibilidad sea un factor decisivo, se pueden utilizar enlaces sencillos (como el mostrado en la figura III.3a) en configuración single use.

Otros de los métodos muy comúnmente utilizados que es un equilibrio entre el costo y el grado de confiabilidad es el utilizados en la figura III.3b), HSB sin diversidad de espacio.





I = Línea de interfaz

C = Bloque de control

Mx = Multiplexor

Dx = Demultiplexor

C/O = Dispositivo de último cambio

**Figura III.3 Diagrama a bloques para sencillo y protegido.**

### **III.3 Redundancia de propagación.**

Los métodos de redundancia de propagación más comunes pueden ser enumerados de la manera siguiente:

HSB + diversidad de espacio.

Diversidad de frecuencia.

Diversidad de polarización.

Diversidad de espacio con dos transmisores.

La redundancia de propagación normalmente opera basada en la calidad de la transmisión, normalmente se utilizan métodos de análisis de la calidad de la señal cuyos resultados operan un conmutador (switch) que conmuta a otros elementos o funciones.

Este tipo de conmutación se le denomina "hit less" ya que gracias a una compensación de la fase de la señal no permite pérdida de la información debida a brincos de fase.

## **IV PLANIFICACION DE RUTA PARA UN RADIO DIGITAL**

### **IV.1 Selección de la altura de la antena**

La selección de la altura correcta para colocar una antena en un enlace de radio es crucial para la optimización de los recursos deberá ser colocada ni muy alto ni muy bajo. Si la antena se coloca demasiado baja, los efectos de atenuación debido a obstáculos en la ruta del enlace provocarán un enlace poco confiable, por otro lado si se coloca demasiado alta, los costos se elevan y además provocarán interferencias.

Las reglas siguientes son las que comúnmente se aplican a los radio enlaces con longitudes variables entre 20 y 70 Km.

Las alturas de las antenas están determinadas por la distancia libre entre los puntos del enlace, por ejemplo entre la línea principal de propagación y la superficie de la tierra. El diseño del enlace depende mucho de la frecuencia utilizada así como de las condiciones que eviten la degradación de la calidad o disponibilidad de la transmisión debido a atenuaciones adicionales provocadas por el tipo de superficie.

La propagación de las microondas está caracterizada por un valor  $k$  que está dado por la tasa de la curvatura virtual de la tierra por la curvatura actual, debe mencionarse que el valor estadístico de  $k$  varía de acuerdo con el clima, por lo tanto la determinación exacta de la altura de las antenas requiere de un conocimiento exacto de las condiciones locales. En caso de que se disponga de dichas estadísticas para  $k$ , éstas se pueden utilizar para lograr el cálculo de la solución más económica. Para la mayoría de los casos prácticos, algunas de las reglas prácticas siguientes pueden ser suficientes.

Haciendo referencia a la figura IV.1, lo primero que se debe determinar es la localización de los puntos del enlace así como su perfil de acuerdo con las cartas topográficas con un valor típico para  $k$  de  $4/3$ . Bajo éstas condiciones, la propagación de las ondas forma una línea recta en el enlace.

La distancia libre "e", será pues la distancia entre un punto determinado del terreno y la línea que une las antenas transmisora y receptora. Para ello se utiliza el perfil del enlace, tomando en cuenta las alturas promedio de árboles (de 10 a 20 metros en los climas templados y de 20 a 40 metros en climas tropicales) o en su defecto los edificios existentes. Debe mencionarse además que la altura efectiva de los árboles es lo que cuenta y que un par de ellos no son de mucha importancia, de la misma manera que algunos edificios pequeños aislados pueden ser despreciados.

Referido a la figura IV.1, a la distancia  $r_F$  se le denomina radio de la primera zona de Fresnel que es el haz de radio principal en un enlace y que tiene forma elipsoidal. De acuerdo con las condiciones del enlace, se deberá calcular dicho radio para el punto más alto entre los puntos del enlace:

$$r_F = 17.3 \times \sqrt{d_1 \times d_2 / (d \cdot f)} \dots\dots\dots (\text{ec. 1})$$

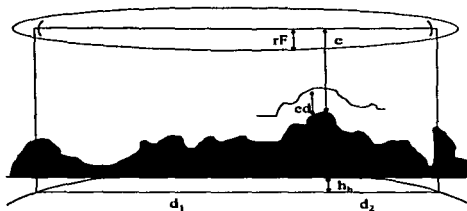
Donde:

$r_F$  es el radio de la primera zona de Fresnel (m).

$f$  es la frecuencia del radio (en GHz).

$d$  es la distancia del enlace (Km).

$d_1$  y  $d_2$  son las distancias desde el punto de consideración hasta uno de los puntos finales (Km)  $d = d_1$  y  $d_2$ .



**Figura IV.1 Ejemplo de un perfil de enlace.**

#### **IV.2 Diseño de enlaces ordinarios**

Para frecuencias arriba de 1 GHz, el terreno no introduce ninguna atenuación en el enlace si por lo menos el 50% del radio de la primera zona de Fresnel está libre de obstáculos.

Para diseño de la altura de las antenas en frecuencia UHF (abajo de los 3 GHz) la condición arriba mencionada es suficiente.

## **Regla de diseño**

### **1) Para frecuencias abajo de 3 GHz**

- a) el 50% del radio de la primera zona de Fresnel está libre para un  $k=4/3$ .
- b) Para enlaces largos y en casos especiales se aconseja revisar la atenuación adicional causada por el terreno cuando el valor  $k$  es pequeño.

### **2) Para frecuencias mayores que 3 GHz.**

El 50% del radio de la primera zona de Fresnel está libre para un  $k = 4/3$

En enlaces largos, las variaciones en los valores de  $k$ , son más pequeñas que en enlaces pequeños. En climas calientes o templados-humedos, el valor de  $k$  es normalmente mayor que en los climas fríos o secos.

En la práctica es suficiente con lo siguiente:

Enlaces cortos, esto es menor que 30 Km.,  $k = 0.7$  en climas templados y  $k=0.5$  en trópicos o desiertos.

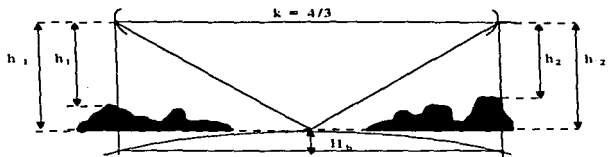
Enlaces largos, donde las distancias son entre 40 y 70 Km., el valor de  $k=0.8$  a  $0.9$  para climas templados y entre  $0.6$  y  $0.7$  para trópicos y desiertos.

Los valores estadísticos para el valor de  $k$  pueden ser muy útiles en áreas desconocidas.

#### **IV.3 Reflexiones de la superficie**

La superficie de la tierra puede influenciar de tal manera la calidad de la transmisión que el precio para un enlace en condiciones de superficie inadecuadas puede doblar el costo del enlace. Si la diferencia de la fase entre la onda reflejada y la señal principal es cerca de  $180$  grados, la señal de recepción podría sufrir un desvanecimiento muy profundo. Los enlaces más difíciles en términos de reflexiones son las áreas planas con agua, así como campos muy abiertos.





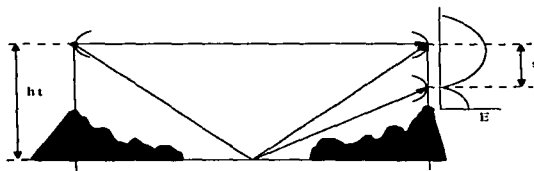
**figura IV.2 Definición de las alturas de las antenas**

Para evitar posibles problemas en enlaces con condiciones como las arriba mencionadas, se deberá observar los siguientes puntos:

- 1) Utilizar una sola antena solamente en enlaces cortos 20 Km.
- 2) Evitar que exista una transmisión donde la primera zona de Fresnel quede demasiado libre.

3) La altura de las antenas deberá ser seleccionada de tal manera que el campo de recepción sea el máximo para condiciones de propagación normales, esto es para un valor  $k$  de  $4/3$ . En ocasiones es deseable tener unos obstáculos.

4) En enlaces largos, 30 km. con superficies grandes que pueden provocar reflexiones, la única solución para un buen enlace es la diversidad de espacio.



**Figura IV.3 Altura de las antenas**

Para el cálculo de la altura de la antena con diversidad de espacio, se utiliza la fórmula siguiente:

$$s = 75 \times d / (f \times ht) \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

**s** es la distancia óptima entre las dos antenas (m)

**d** es la distancia del enlace (Km.).

**f** es la frecuencia utilizada (GHz).

**ht** es la altura de la antena transmisora del lado opuesto.

En algunos casos, el valor óptimo de **s** es muy pequeño (menor que 5 m) para compensar las atenuaciones de multitrayecto, por lo que para casos prácticos se recomienda utilizar en ocasiones valores múltiplos impares de **s** (3,5,7,...) sin embargo, se deberá tomar extremos cuidados para no utilizar valores cercanos a los valores múltiplos pares de **s** ( 2,4,6,...).

La antena de diversidad es instalada en la parte inferior de la antena principal, normalmente se permite cierta atenuación por difracción en el orden de 3 a 6 dB, ya que esto reduce las componentes de reflexión.

#### **IV.4 Parámetros relevantes en un enlace de microondas**

Existen varios parámetros que deberán ser considerados en el cálculo de un enlace de microondas. Dentro de los parámetros más importantes se pueden mencionar los siguientes:

Calculo del margen de desvanecimiento del enlace.

El calculo del desvanecimiento plano de que puede ser objeto un enlace de microondas está dado por la siguiente fórmula:

$$M = P_{tx} - L_{h_0} - P_{rxth} \dots \text{Ec. 3}$$

**M** es el margen de desvanecimiento (dB).

**P<sub>tx</sub>** es la potencia de salida del transmisor (dBm).

**L<sub>h<sub>0</sub></sub>** es la pérdida o atenuación del enlace sin desvanecimiento (dB).

**P<sub>rxth</sub>** es el umbral de potencia del receptor (dBm).

### Cálculo de la pérdida del enlace

La pérdida del enlace sin desvanecimiento está dada por la fórmula siguiente:

$$L_{h_0} = L_0 + L_{ad} + L_{br} + L_{c1} + L_{c2} - G_{a1} - G_{a2}$$

$L_{h_0}$  es la pérdida del enlace.

$L_0$  es la pérdida en el espacio en que está dada por la fórmula  $L_0 = 92.5 + 20\log(d) + 20\log(f)$ , donde  $d$  es la distancia del enlace en Km. y  $f$  es la frecuencia en GHz.

$L_{ad}$  es la pérdida adicional del terreno.

$L_{br}$  es la pérdida del separador de antena.

$L_{c1}$  y  $L_{c2}$  es la pérdida del cable a las antenas.

$G_{a1}$  y  $G_{a2}$  es la ganancia de las antenas.

todo expresado en dB.

## V EQUIPAMIENTO

### Ejemplo del cálculo de un enlace.

En éste ejemplo, se trata de un enlace normal sin interferencias. Esta situación es común en la práctica, ya que para un cálculo adecuado del enlace, las interferencias serán muy pequeñas, por ejemplo, al seleccionar antenas de una ganancia alta en puntos de estrella y de esta manera, las interferencias pequeñas solo tendrán un efecto menor en el sistema, usando una modulación con pocos estados de la señal como por ejemplo 2PSK, 4PSK, MSK, etc.

#### V.1 Enlace ordinario

Las fases normales del cálculo de un enlace son:

- 1.- Selección de las alturas de las antenas
- 2.- Cálculo del margen de desvanecimiento
- 3.- Cálculo del tiempo fuera de servicio (Outage Time)

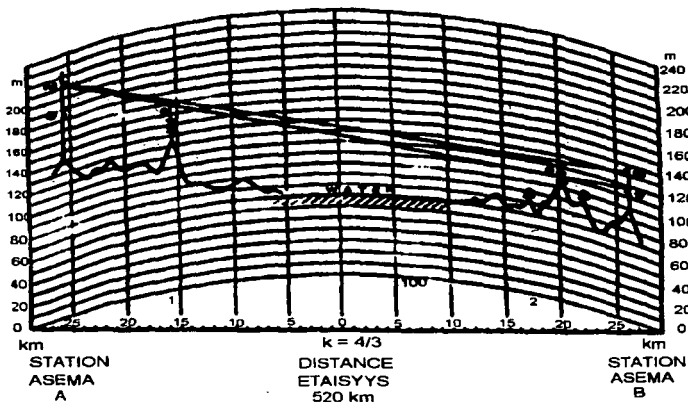
ESTA TERCERA  
SALIR DE LA  
REDE  
BIBLIOTECA

**4.- Repetición de los pasos 2 y 3 variando las combinaciones de antenas y cables y posiblemente utilizando diversidad hasta que se logre una solución económica con un desempeño máximo.**

Suponiendo que el enlace será de una capacidad de 2 + 2 Mbits/s ya que el sistema utilizará una frecuencia de 1.5 GHz entre los puntos A y B. La ruta cruza un largo ( $Q = 2$ ) como lo muestra la figura y con un clima templado ( $C = 1$ ). El sistema pertenece a una red local y los objetivos de desempeño han sido definidos en un 0.005% de Outage Time ( $BER 10^{-3}$ ). El equipo usa una configuración de HSB como protección.

El diseño inicia con la selección de las alturas de las antenas. Los requerimientos son del 50% del radio de la primera zona de Fresnel libre de obstáculos. Para el cálculo de la zona de Fresnel se utiliza la ecuación 1 en dos puntos críticos marcados en 1 y 2 en la figura. En el punto 1, el radio de la primera zona de Fresnel es de 40.1 metros y en el punto 2 es de 32.5 metros. Los árboles en la colina son de unos 10 a 15 m y las antenas principales son instaladas a una altura tal que por lo menos el 50% del espacio, libre exista en todo el enlace, especialmente en los puntos críticos 1 y 2. Las torres adecuada son de 72 m y 38m.

Debido a que el enlace cruza una superficie con agua, se requiere de diversidad de espacio para contrarrestar los desvanecimientos así como las reflexiones debido a la superficie del agua. Los espacios óptimos entre la antena principal y la de diversidad se pueden calcular utilizando la ecuación 2. La altura de la antena transmisora  $h_t$  en la estación A por arriba de la superficie del agua es de 132 m.





## **CONCLUSIONES**

De lo expuesto en la presente tesina se puede concluir que la transmisión de una señal digital a través de un medio de comunicación (en este caso un "radio de microondas"), es en nuestros tiempos una de las formas más viables para transmitir una señal de un punto a otro.

Se observa que para la implementación de un canal de comunicación de radio digital son considerados factores tales como: distancia, información a transmitir, equipo a emplear, instalación con que se cuenta y recursos económicos.

Se emplea un radio digital debido a las ventajas que ofrece éste sistema en comparación con otro tipo de técnicas de transmisión como son por vía satélite, a través de fibra óptica, etc. Este sistema ofrece una buena transmisión además de un bajo costo y una fácil instalación.

Los radios digitales presentan gran flexibilidad, transportan grandes cantidades de información en forma directa, debido a lo anterior, el radio digital sigue siendo uno de los métodos más usados en ambientes donde se requiere rapidez de instalación y confiabilidad del medio de comunicación.

## **BIBLIOGRAFIA:**

### **1.- Libro de curso "Redes Digitales Modernas: LANs, WANs y su interconexión"**

**Autor:**           **TELEDATA**

### **2.- Digital communications**

**Autor:**           **Bernard Sklar**

**Editorial:**   **SAMS**

**ISBN:**           **0-672-27270-9**

### **3.- Fundamentos de Comunicaciones de Datos**

**Autor:**           **Jerry FitzGerald**

**Editorial:**    **Limusa**

### **4.- Sistemas de Comunicación**

**Autor:**           **Stremler**

**Editorial**      **Alfaomega**