



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

***“ENLACE PUNTO A PUNTO VÍA
MICROONDAS”***

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

(ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA)

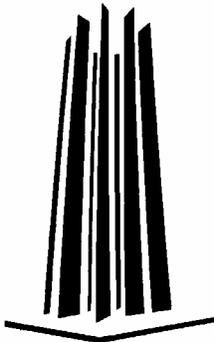
P R E S E N T A:

VINICIO MONCADA NEGRETE

ASESOR:

ING. FRANCISCO RAÚL ORTÍZ GONZÁLEZ

SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO, 2006.





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.

CONTENIDO GENERAL.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	I
GLOSARIO.....	V
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
CAPÍTULO II LA NORMA UIT G - 826.....	29
CAPÍTULO III ENLACE MINIPOP PALMAS-MINIPOP SANTA FE	62
CONCLUSIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
MESOGRAFÍA.....	100
APÉNDICE.....	101

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN	I
GLOSARIO	V
CAPÍTULO I GENERALIDADES	1
I.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
I.1.1. Ancho de banda.....	1
I.1.2. Atenuación.....	2
I.1.3. Interferencias.....	3
I.2. MEDIOS GUIADOS.....	3
I.2.1. Par trenzado.....	3
I.2.2. Cable coaxial.....	4
I.2.3. Fibra óptica.....	5
I.3. MEDIOS NO GUIADOS.....	6
I.3.1. Microondas terrestres.....	7
I.3.2. Satélites.....	8
I.4. MICROONDAS Y PROPAGACIÓN.....	9
I.4.1. Generación de microondas.....	9
I.4.2. Usos y aplicaciones.....	11
I.4.3. Transmisión sin cables.....	14
I.4.4. Comunicación vía microondas.....	15
I.4.5. Comunicación por satélite.....	16
I.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON LOS SISTEMAS DE LÍNEA METÁLICA.....	18
I.5.1. Estructura general de un radioenlace por microondas.....	19
I.6. FACTORES A CONSIDERAR EN LA INSTALACIÓN DE UN ENLACE DE MICROONDAS.....	24
I.6.1. Desvanecimiento.....	27
I.6.2. Confiabilidad de sistemas de radiotransmisión por microondas.....	27
CAPÍTULO II LA NORMA UIT G - 826	29
II.1. ORÍGENES.....	30
II.2. ALCANCE.....	30
II.3. CONEXIONES EN MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO.....	32
II.4. ASIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE EXTREMO A EXTREMO.....	33
II.5. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	34
II.6. SUPERVISIÓN EN SERVICIO DE LOS BLOQUES.....	35
II.6.1. Mediciones fuera de servicio de los bloques.....	38
II.6.2. Evaluación de la característica de error.....	38
II.7. SUPERVISIÓN DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN EL EXTREMO CERCANO Y EN EL EXTREMO DISTANTE DE UN TRAYECTO.....	38
II.7.1. Objetivos de la característica de error.....	38
II.7.2. Distribución de los objetivos de extremo a extremo.....	40
II.7.2.a. Asignación al tramo nacional de un trayecto de extremo a extremo.....	42

II.7.2.b. Asignación al tramo internacional de un trayecto de extremo a extremo.....	43
II.8. ANEXOS.....	44
II.8.1. Anexo A.....	44
II.8.1.a. Consecuencias sobre las mediciones de la característica de error.....	45
II.8.2. Anexo B.....	46
II.8.2.a. Relación entre la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos de la jerarquía digital plesiócrona y los parámetros basados en bloques.....	46
II.8.2.b. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.....	50
II.8.2.c. Capacidades de supervisión en servicio y criterios para la declaración de parámetros de calidad de funcionamiento.....	51
II.8.3. Anexo C.....	52
II.8.3.a. Relación entre la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos de la jerarquía digital síncrona y los parámetros basados en bloques.....	52
II.8.3.b. Mediciones de eventos de calidad de funcionamientos mediante cómputos globales de errores de paridad.....	55
II.8.3.c. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.....	56
II.8.3.d. Estimación de eventos de calidad de funcionamiento en el extremo distante de un trayecto.....	57
II.8.4. Anexo D.....	57
II.8.4.a. Relación entre supervisión de la calidad de funcionamiento de redes basadas en células y los parámetros basados en bloques...	57
II.8.4.b. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.....	61
 CAPÍTULO III ENLACE MINIPOP PALMAS-MINIPOP SANTA FE	62
III.1. INTRODUCCIÓN.....	62
III.2. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	66
 CONCLUSIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
MESOGRAFÍA.....	100
APÉNDICE.....	101

GLOSARIO.

AAL: ATM adaptation layer (capa de adaptación ATM).

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica)

AIS: alarm indication signal (señal de indicación de alarma).

ATM: asynchronous transfer mode (modo de transferencia asíncrono).

AU: administrative unit (unidad administrativa).

BBE: background block error (error de bloque de fondo).

BBER: background block error ratio (tasa de errores de bloque de fondo).

BER: bit error ratio (tasa de error en bits).

BIP: bit interleaved parity (paridad entrelazada de bits).

BJT: bipolar junction transistor (transistor de union bipolar)

BW: band width (ancho de banda).

BWO: backward wave oscillator (oscilador de onda regresiva).

CBR: constant bit rate (velocidad binaria constante).

CCIR: Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.

CCITT: Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.

CEC: cell error control (control de errores de célula).

CEI: Comisión Electrotécnica Internacional.

CMNT: Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones.

CRC: cyclic redundancy check (verificación por redundancia cíclica).

dB: decibelio.

DOP: dilution of precision (dilución de precisión).

Downlink: Haz descendente que designa el enlace entre la estación de subida de las señales y el satélite.

EB: errored block (bloque con errores).

EDC: error detection code (código de detección de errores).

EHF: extremely high frequency (frecuencia extremadamente alta).

ES: errored second (segundo con errores).

ESR: errored second ratio (tasa de segundos con errores).

FAS: frame alignment signal (señal de alineación de trama).

FET: field effect transistor (transistor de efecto de campo).

Gbps: giga bits por segundo.

GHz: giga hertzios.

GNSS: global navigation satelital system (sistema global de navegación por satélite).

GPS: global position system (sistema de posición global).

HEC: header error check (verificación de error de encabezamiento).

HP: higher order path (trayecto de orden superior).

HRP: hypothetical reference path (trayecto ficticio de referencia).

Hz: hertzio.

IG: international gateway (cabecera internacional).

ILD: injection laser diode (diodo láser de inyección)

IMPATT: impact ionization avalanche transit-time (impacto de avalancha y tiempo de tránsito).

ISM: in-service monitoring (supervisión en servicio).

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)

Kbps: kilo bits por segundo.

KHz: kilo hertzios.

LAN: Local Area Network (Red de Área Local).

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación).

LED: light emitting diode (diodo emisor de luz).

LOF: loss of frame alignment (pérdida de alineación de trama).

LOM: loss of multiframe alignment (pérdida de alineación de multitrama).

LOP: loss of pointer (pérdida de puntero).

LOS: loss of signal (pérdida de señal).

LP: lower order path (trayecto de orden inferior).

MAN: Metropolitan Area Network (Red de Área Metropolitana).

MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificador de Microondas por Emisión Estimulada de Radiación).

Mbps: mega bits por segundo.

MHz: mega hertzios.

MIC: microwave integrated circuit (circuito integrado para microondas).

MS: multiplex section (sección múltiplex).

NTE: network terminal equipment (equipo terminal de red).

OAM: operation and maintenance (operaciones y mantenimiento).

OOS: out-of-service (fuera de servicio).

PDH: plesiochronous digital hierarchy (jerarquía digital plesiócrona).

PEP: path end point (punto extremo de trayecto).

PL: physical layer (capa física).

PRBS: pseudo random bit sequences (secuencias de bits pseudo aleatorios).

RDI: remote defect indication (indicación de defecto distante).

RDSI: Red digital de servicios integrados.

RDSI-BA: RDSI de banda ancha.

RDSI-BE: RDSI de banda estrecha.

SDH: synchronous digital hierarchy (jerarquía digital síncrona).

SESR: severely errored second ratio (tasa de errores severos en los segundos)

SHF: super high frequency (super alta frecuencia).

SWR: stationary wave rate (razón de onda estacionaria).

TE: terminal equipment (equipo terminal).

TWT: traveling wave tube (tubo de onda viajera).

UHF: ultra high frequency (frecuencia ultra alta ultra alta).

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UIT-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT.

Uplink: Haz ascendente que designa el enlace entre la estación de subida de las señales y el satélite. Utiliza frecuencias y polarizaciones diferentes de las de los enlaces descendentes que se captan con las parabólicas para evitar las interferencias.

VHF: very high frequency (frecuencia muy alta).

WAN: Wide Area Network (Red de Área Amplia).

INTRODUCCIÓN.

Todavía en los primeros veinte años del siglo XX, la "telegrafía" era entendida, de acuerdo con la enciclopedia Espasa Calpe, simplemente como "el arte de transmitir a distancia el pensamiento humano por medio de signos"; considerada así, tiene una antigüedad y universalidad no superada por ninguna ciencia o arte. En ese concepto pueden entrar todo género de mensajes desde el tom tom africano, el caracol de los isleños, el telégrafo de "reflejos" de los espejos y fogatas de los apaches, las teas griegas, los semáforos romanos, las diferentes señales de los marinos, las banderas de los boy scout, como el telégrafo óptico de Chape. En la época precolombina el huehuetel y el teponaztle, instrumentos musicales que se utilizaron para ceremonias y comunicaciones distantes.

El **primer telégrafo eléctrico de agujas magnéticas** se desarrolla al nivel de aplicación industrial en 1837, en Inglaterra, por **William F. Cooke y Charles Wheatstone**, que perfeccionan el aparato experimental originalmente presentado por el diplomático ruso **Barón Pavel L. Schilling** en 1832. Los ferrocarriles ingleses reconocen la eficiencia de éste telégrafo y empiezan a utilizarlo desde 1839, hasta finales del siglo XIX, para mejorar la operación ferroviaria.

En América, **Samuel Finley Breese Morse**, inventó el Telégrafo Morse; fue el sistema más sencillo y práctico que hizo posible que la transmisión de mensajes adquiriera una rapidez insospechada. Nació en 1791 en Charleston, Estado de Massachusetts de los Estados Unidos de América, estudió artes y ciencias en la Universidad de Yale, donde asistió a conferencias sobre electricidad. En un principio, se dedicó como profesión a la pintura. Sin embargo en 1832, a bordo del barco Sully, Morse platicando con el Dr. Jackson, ideó su concepto de telegrafía, que desarrolló hasta implantarlo el 27 de agosto de 1844, enviando el primer mensaje telegráfico entre el Capitolio de Washington y la Estación de Ferrocarril de Baltimore "What had God brought" que en español se lee: "Qué nos trajo Dios", misma frase que pronunciaría John F. Kennedy, al transmitir la primera llamada telefónica vía satélite en 1962.

Para 1850, aparece la compañía de noticias "Reuter", por lo que para 1856, el telégrafo ya se había introducido en la mayoría de los países europeos, inicialmente se empieza a usar por los ferrocarriles; luego, para uso oficial de los gobiernos y posteriormente para correspondencia pública.

Alexander Graham Bell, inventó el teléfono y lo patenta como "Mejoras a la Telegrafía", demostrándolo en Filadelfia en 1876, en la Feria del Centenario de la Independencia de los Estados Unidos de América.

El físico danés **Hans Christian Oersted** en 1820, demostró que una aguja magnética podía ser desviada por la corriente eléctrica de un alambre. El físico alemán **Hans Schweigger**, inventó el multiplicador que amplifica el efecto magnético de la corriente para desviar la aguja imantada, mediante varias bobinas de alambre. Entonces, **André Marie Ampère**, sugirió un sistema telegráfico, basado en la desviación de agujas magnéticas por la acción de la corriente eléctrica, en 26 hilos de alambre.

Michael Faraday en 1831, estudiaba ya la inducción electromagnética que es la base de la radiotelegrafía. James Maxwell en 1873, establecía la base teórica sobre la propagación de las ondas electromagnéticas a través del espacio a la velocidad de la luz. Tocó a **Heinrich Hertz**, demostrar experimentalmente en 1889, la producción y transmisión de las ondas electromagnéticas o hertzianas mediante la construcción de un aparato para producir ondas de radio.

La existencia de ondas electromagnéticas, de las cuales las microondas forman parte del espectro de alta frecuencia, fueron predichas por **James Clerk Maxwell** en 1864.

Finalmente fue el genio italiano **Guillermo Marconi**, quien inventó los primeros sistemas de radiotelegrafía, que al gobierno Italiano no interesó en primera instancia, por lo que se traslada a Inglaterra, en donde si logró interesar al gobierno inglés, que lo apoyó, por lo que en 1896, los patenta y empieza a dar servicio al público en 1897, principalmente para radiocomunicación marítima y ayudas a la navegación. El primer enlace radiotelegráfico trasatlántico entre Europa y América lo logra Marconi en 1901, al transmitir por aire a

través de ondas electromagnéticas o radioeléctricas, mensajes en clave Morse, desde Cornwall, Inglaterra a Saint John, Terranova.

El electromagnetismo fue el descubrimiento culminante para el desarrollo del telégrafo en el siglo XIX, hecho que influyó en el desarrollo del magnetismo en la literatura de los vampiros de Goethe a Bram Stoker (1797-1897), así como en el renacimiento de los distintos "animismos y espiritismos" de principios de siglo XX.

Sin embargo, en la actualidad, la telecomunicación, es definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), como **"toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos, u otros sistemas electromagnéticos"**. De ahí que el telégrafo eléctrico, divida la historia del concepto de la telegrafía, pasando por la radiotelegrafía de principios de siglo, las diferentes generaciones tecnológicas del teléfono, el telex de la guerra fría y las microondas; la televisión, el fax como la gran gama de telecomunicaciones vía satélite, incluyendo el Internet.

Las comunicaciones digitales internacionales, para garantizar su calidad y confiabilidad necesitan estar normalizadas por algún organismo. La Unión Internacional de Telecomunicaciones, antes el llamado CCITT cuenta con un sector de normalización de las telecomunicaciones y es la dependencia encargada de realizar, definir y publicar las normas que rigen las telecomunicaciones nacionales e internacionales.

Actualmente los enlaces de microondas punto a punto se encuentran bajo una normatividad, que en México está a cargo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) y a nivel mundial de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

El trabajo realizado por el que suscribe tiene la finalidad de ilustrar a aquellas personas interesadas en el tema de las telecomunicaciones; específicamente en la comunicación inalámbrica vía microondas, la forma en que se lleva a cabo la instalación de un enlace punto a punto entre dos estaciones terrenas, edificios o repetidores.

Abarcando desde las consideraciones teóricas, pasando por la normatividad y concluyendo con el desarrollo de un caso práctico real; se espera que dicho trabajo sirva como obra de consulta para estudiantes e interesados en la materia.

A continuación se describe el desarrollo del trabajo:

En el capítulo I, están expuestos temas particularmente importantes para el estudio de las microondas; se brinda un panorama general acerca de los usos y aplicaciones, de sus ventajas y desventajas y finalmente se exponen algunos factores que se deben tomar en cuenta en la planeación y diseño del enlace, con el fin de asegurar el éxito del mismo y su confiabilidad.

En el capítulo II, se expone la recomendación G - 826 de la UIT, la cual regula las características de la transmisión vía microondas.

Y finalmente en el capítulo III se desarrolla un caso práctico, en el que se presenta el enlace punto a punto vía microondas de dos edificios localizados en México, D.F., con el objetivo de presentar el desarrollo completo del proyecto que se realiza para tal fin.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.

La necesidad de comunicación que ha encontrado el hombre desde el comienzo de su historia lo ha llevado a dar pasos gigantes en su evolución. Pero estos pasos no están dados solo en lo biológico; que es algo que podemos observar diariamente, sino también en lo tecnológico, ya que una de las principales metas del hombre ha sido el romper con todo tipo de barreras que se le interpongan en su camino y por consiguiente en su capacidad de comunicarse con los demás. Al comienzo su preocupación fue el lenguaje, luego la comunicación entre ciudades, mas tarde países, después continentes y por último el espacio y submarina.

Pero él no ha superado esto solo con su cuerpo, se ha valido de equipos tecnológicos para lograr su cometido y esto ha llevado al desarrollo de más dispositivos que giran alrededor de ellos.

I.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. Los medios guiados conducen señales eléctricas; ejemplos de estos medios son el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que ondas electromagnéticas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío.

I.1.1. Ancho de banda.

Para señales analógicas, el ancho de banda es la anchura, medida en hercios, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango. El ancho de banda es el rango de frecuencias que se transmiten por un medio; se define como BW y aquí

encontramos como ejemplo que en BW telefónico se encuentra entre 300 Hz y 3,400 Hz o el BW de audio perceptible al oído humano se encuentra entre 20 Hz y 20,000 Hz. Por lo general al usar este término nos referimos a la velocidad en que se puede transmitir.

Es común denominar ancho de banda digital a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo. Por ejemplo, una línea ADSL de 256 kbps puede, teóricamente, enviar 25,6000 bits por segundo. Esto es en realidad la tasa de transferencia máxima permitida por el sistema, que depende del ancho de banda analógico, de la potencia de la señal, de la potencia de ruido y de la codificación de canal.

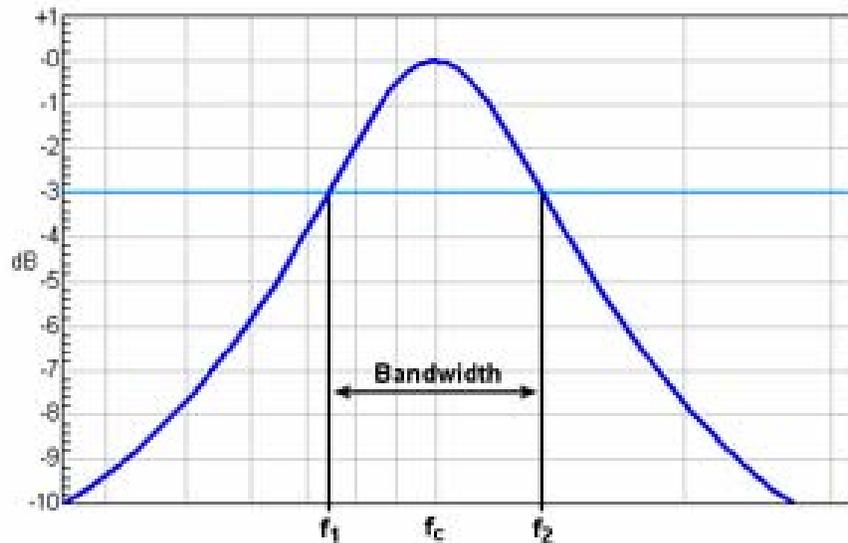


Figura I.1. Gráfica del ancho de banda.

I.1.2. Atenuación.

La atenuación depende del tipo de medio que se este usando, la distancia entre el transmisor y el receptor y la velocidad de transmisión. La atenuación se suele expresar en forma de logaritmo (decibelio), la cual es expresada por las siguientes fórmulas:

$$\text{Atenuación} = \frac{V_{out}}{V_{out}(mid)}$$

Donde:

V_{out} = tensión de salida a cualquier frecuencia.

$V_{out(mid)}$ = tensión de salida a frecuencias medias.

Expresada en forma de logaritmos:

$$\text{Atenuación} = -20 \log \text{atenuación}(dB)$$

Para ser mas específico la atenuación consiste en la disminución de la señal según las características antes dadas.

I.1.3. Interferencias.

La interferencia es causada por señales de otros sistemas de comunicación que son captadas conjuntamente a la señal propia. El ruido viene provocado normalmente por causas naturales como el ruido térmico o por interferencias de otros sistemas eléctricos el ruido impulsivo.

I.2. MEDIOS GUIADOS.

Se conoce como medios guiados a aquellos que utilizan componentes físicos y sólidos para la transmisión de datos. También conocidos como medios de transmisión por cable.

I.2.1. Par trenzado.

Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1milímetro de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal, como en una molécula de DNA. La forma

trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y de la distancia que recorre; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios millones de bits, en distancias de pocos kilómetros. Debido a su adecuado comportamiento y bajo costo, los pares trenzados se utilizan ampliamente y es probable que se presencia permanezca por muchos años.

I.2.2. Cable coaxial.

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, es decir, que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector.

La construcción del cable coaxial produce una buena combinación y un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable; para cables de 1 kilómetro, por ejemplo, es factible obtener velocidades de datos de hasta 10 Mbps, y en cables de longitudes menores, es posible obtener velocidades superiores. Se pueden utilizar cables con mayor longitud, pero se obtienen velocidades muy bajas. Los cables coaxiales se emplean ampliamente en redes de área local y para transmisiones de largas distancia del sistema telefónico.



Figura I.2. Cable coaxial “Heliax” y algunos conectores para su instalación.

I.2.3. Fibra óptica.

Es el medio de transmisión mas novedoso dentro de los guiados y su uso se esta masificando en todo el mundo reemplazando el par trenzado y el cable coaxial en casi todos los campos.

En este medio los datos se transmiten mediante una haz confinado de naturaleza óptica, de ahí su nombre, es mucho más caro y difícil de manejar pero sus ventajas sobre los otros medios lo convierten muchas veces en una muy buena elección al momento de observar rendimiento y calidad de transmisión.

Físicamente un cable de fibra óptica esta constituido por un núcleo formado por una o varias fibras o hebras muy finas de cristal o plástico; un revestimiento de cristal o plástico

con propiedades ópticas diferentes a las del núcleo; cada fibra viene rodeada de su propio revestimiento y una cubierta plástica para protegerla de humedades y el entorno.

Se suelen usar como transmisores el LED que es relativamente barato, su rango de funcionamiento con la temperatura es más amplio y su vida media es más alta. El ILD que es más eficiente y más caro, tiene una mayor velocidad de transferencia.

La tecnología de fibra óptica usa la multiplexación por división de frecuencia, la cual utiliza múltiples canales cada uno en diferentes longitudes de onda, con lo que una fibra en la actualidad opera hasta con 80 haces de 10 Gbps cada uno.

Usa dos modos de transmisión, el monomodo que cubre largas distancias, es mas caro, mas veloz debido a no tener distorsión multimodal y el multimodo, para cortas distancias, es más barata pero tiene menos velocidad, además se ve afectado por distorsión multimodal.



Figura I.3. Cables de fibra óptica.

I.3. MEDIOS NO GUIADOS.

Los medios no guiados o sin cable han tenido gran acogida al ser un buen medio de cubrir grandes distancias y hacia cualquier dirección, su mayor logro se dio desde la conquista espacial a través de los satélites y su tecnología no para de cambiar.

La transmisión y recepción se realiza por medio de antenas, las cuales deben estar alineadas cuando la transmisión es direccional, o si es omnidireccional la señal se propaga en todas las direcciones.

I.3.1. Microondas terrestres.

Los sistemas de microondas terrestres han abierto una puerta a los problemas de transmisión de datos sin importar cuales sean, aunque sus aplicaciones no estén restringidas a este campo solamente. Las microondas están definidas como un tipo de onda electromagnética situada en el intervalo del milímetro al metro y cuya propagación puede efectuarse por el interior de tubos metálicos. Es en si una onda de corta longitud.

Tiene como características que su ancho de banda varia entre 300 a 3,000 MHz, aunque con algunos canales de banda superior, entre 3.5 GHz y 26 GHz. Es usado como enlace entre una empresa y un centro que funcione como centro de conmutación del operador, o como un enlace entre redes LAN.

Para la comunicación de microondas terrestres se deben usar antenas parabólicas, las cuales deben estar alineadas o tener visión directa entre ellas, además entre mayor sea la altura mayor el alcance. Se presentan perdidas de datos por atenuación e interferencias, y es muy sensible a las malas condiciones atmosféricas.



Figura I.4. Antenas de microondas.



Figura I.5. Torre que soporta antenas de microondas terrestres.

I.3.2. Satélites.

Los satélites de comunicaciones, después de ser lanzados de la tierra y ubicarse en la órbita terrestre, realizan la transmisión y recepción de todo tipo de datos, imágenes, etc., según el fin con que se hayan creado. Las microondas satelitales manejan un ancho de banda entre los 3 GHz y los 30 GHz y son usados para sistemas de televisión, transmisión telefónica, enlaces entre redes locales, navegación satelital o GPS, etc.



Figura I.6. Satélite de comunicaciones.

El satélite en si no procesa información sino que actúa como un repetidor-amplificador, tarea que efectúan los transpondedores y puede cubrir un amplio espacio terrestre.

I.4. MICROONDAS Y PROPAGACIÓN.

Con el término microondas se identifica a las ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido entre 300 MHz y 300 GHz. El periodo de una señal de microondas esta en el rango de 3.33 nanosegundos a los 3.33 picosegundos, y la correspondiente longitud de onda en el rango de 1 metro a 1 milímetro.

A las señales con longitud de onda en el orden de los milímetros se les llama ondas milimétricas.

Las microondas tienen longitudes de onda en el rango de los 0.001 metros (frecuencia = 300 GHz) a 1 metro (frecuencia = 300 MHz). El rango de las microondas incluye las bandas de radiofrecuencia de UHF, de 0.3 a 3 GHz, SHF, de 3 a 30 GHz y EHF, de 30 a 300 GHz.

I.4.1. Generación de microondas.

Las microondas pueden ser generadas de varias maneras, generalmente divididas en dos categorías: dispositivos de estado sólido y dispositivos basados en tubos de vacío. Los dispositivos de estado sólido para microondas están basados en semiconductores de silicio o arseniuro de galio, e incluyen transistores de efecto campo FET, transistores de unión bipolar BJT, diodos Gunn y diodos IMPATT. Se han desarrollado versiones especializadas de transistores estándar para altas velocidades que se usan comúnmente en aplicaciones de microondas. Los dispositivos basados en tubos de vacío operan teniendo en cuenta el movimiento balístico de un electrón en el vacío bajo la influencia de campos eléctricos o magnéticos, entre los que se incluyen el magnetrón, el klystron, el TWT y el girotrón.

Quizás fue el *magnetron*, como generador de microondas de alta potencia, el dispositivo que dio pie al desarrollo a gran escala de las microondas, al abrir paso a la utilización de sistemas de radar durante la II Guerra Mundial; sin embargo, fueron los *klystrons*, los que dieron una mayor versatilidad de utilización de las microondas, sobre todo en el campo de las comunicaciones, permitiendo además una mayor comprensión de los fenómenos que tiene en lugar los tubos de microondas. El principio básico de funcionamiento de estos generadores es la modulación de velocidad de un haz electrónico que al atravesar una cavidad resonante, excita en ella oscilaciones electromagnéticas de la frecuencia deseada de microondas.

El estudio de los *klystrons* obligó a un amplio desarrollo desde los fenómenos de carga espacial, la interpretación de la operación de los tubos. Sin embargo fue el desarrollo de otro tipo de válvulas, las de *onda progresiva* TWT, las que dieron lugar a una mejor comprensión de los fenómenos que tienen lugar en los haces electrónicos, sobre todo en lo que respecta a las ondas electromecánicas, daban lugar a amplificación o generación de microondas. Para que este acoplamiento sea efectivo es preciso reducir la velocidad de fase de la onda electromagnética lo cual se hace mediante estructuras periódicas de entre las cuales la más utilizada es la hélice; de esta forma es posible mantener una interacción continuada entre la onda electromagnética y el haz electrónico, modulado en velocidad y consecuentemente en densidad, que va cediendo su energía, digamos cinética, a la onda electromagnética.

Posteriormente también se desarrolló el oscilador de onda regresiva BWO, en el cual la velocidad de fase de la onda va en dirección opuesta al flujo de energía en su circuito, que ofrece además, una mayor amplitud de sintonía en frecuencia mediante control electrónico.

Los dispositivos anteriores se basan en la conversión de energía de continuidad en la energía de microondas, mientras que los amplificadores paramétricos utilizan como fuente de energía una de alterna que convierten, por un procedimiento de mezcla en la de alta frecuencia deseada. En lugar de utilizar como elemento resistivo, utilizan un elemento reactivo, como puede ser un diodo de capacidad variable, y de aquí el bajo nivel de ruido

que se puede lograr. Un fundamento análogo tienen los amplificadores cuánticos MASER. Son estos amplificadores de bajo nivel de ruido los que han abierto un gran campo de operación en radioastronomía, así como las intercontinentales vía satélite.

Un problema concerniente al desarrollo de las microondas, lo ha constituido hasta ahora el precio elevado de los generadores; con el descubrimiento de los osciladores a semiconductores el que ha hecho posible que bajen los precios y está creciendo a un nivel tal que impide predecir las repercusiones futuras, que incluso pueden ser negativas.

I.4.2. Usos y aplicaciones.

Sin duda podemos decir que el campo más valioso de aplicación de las microondas es el ya mencionado de las comunicaciones, desde las que pudiéramos denominar privadas, pasando por las continentales e intercontinentales, hasta llegar a las espaciales.

En este terreno, las microondas actúan generalmente como portadoras de información, mediante una modulación o codificación apropiada. En los sistemas de radar, cabe citar desde los empleados en armamento y navegación, hasta los utilizados en sistemas de alarma; estos últimos sistemas suelen también basarse en efecto *doppler* o en cambios que sufre la razón de onda estacionaria SWR de una antena, pudiendo incluso reconocerse la naturaleza del elemento de alarma (sistema automático de puertas, medida de velocidad de vehículos, etc.).

Otro gran campo de aplicación es el que se pudiera denominar científico. En radioastronomía ocurre que las radiaciones extraterrestres con frecuencia comprendidas entre 10 MHz y 10 GHz pueden atravesar el filtro impuesto por la atmósfera y llegar hasta la superficie terrestre.

Entre estas radiaciones están principalmente algunas de tipo espectral y otras de tipo continuo debidas a radiación térmica, emisión giromagnética y sincrotrónica. La detección de estas radiaciones permite obtener información de la dinámica y constitución del

universo. En el estudio de los materiales las microondas se pueden utilizar bien para la determinación de parámetros macroscópicos, como son la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética, bien para el estudio directo de la estructura molecular de la materia mediante técnicas espectroscópicas y de resonancia.

En el campo médico y biológico se utilizan las microondas para la observación de cambios fisiológicos significativos de parámetros del sistema circulatorio y respiratorio.

Es imposible hacer una enumeración exhaustiva de aplicaciones que, aparte de las ya citadas, pueden ir desde la mera confección de juguetes hasta el controlar de procesos o funcionamiento de computadoras ultrarápidas. Quizá el progreso futuro de las microondas. Esta en el desarrollo cada día mayor, de los dispositivos a estado sólido, en los cuáles se consigue una disminución de precio y tamaño que puede llegar a niveles insospechados; estos sistemas son la combinación de los generadores a semiconductores con las técnicas de circuitos integrados, fácilmente adaptables a la producción en masa.

Sin embargo no todo son beneficios; un crecimiento incontrolado de la utilización de las microondas, puede dar lugar a problemas no solo de congestión del espectro, interferencias, etc., sino también de salud humana; este último aspecto no está lo suficientemente estudiado, como se deduce del hecho de que los índices de peligrosidad sean marcadamente diferentes de unos países a otros.

Un horno de microondas usa un magnetrón para producir microondas a una frecuencia de aproximadamente 2.45 GHz para la cocción de los alimentos. Las microondas hacen vibrar o rotar las moléculas de agua, esta vibración crea calor el cual calienta los alimentos. Debido a que la comida está compuesta esencialmente de agua, ésta es fácilmente cocinada de esta manera.

Las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas atraviesan fácilmente la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores. También hay más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio.

Típicamente, las microondas son usadas para transmisión en noticieros televisivos para transmitir una señal desde una locación remota a una estación de televisión desde una camioneta especialmente equipada .

El radar también incluye radiación de microondas para detectar el rango, la velocidad y otras características de objetos remotos.

Protocolos inalámbricos LAN, tales como bluetooth y las especificaciones IEEE 802.11 también usan microondas en la banda ISM, aunque la especificación 802.11 usa una banda ISM en el rango de los 5 GHz.

La televisión por cable y el acceso a internet vía cable coaxial usan algunas de las más bajas frecuencias de microondas. Algunas redes de telefonía celular también usan bajas frecuencias de microondas.

Un MASER es un dispositivo similar a un LASER pero que trabaja con frecuencias de microondas. Las microondas operan en diferentes bandas de frecuencia, las cuales se mencionan a continuación:

Bandas de frecuencia para enlaces satelitales:

Banda L: 1 a 2 GHz.

Banda S: 2 a 4 GHz.

Banda C: 4 a 8 GHz.

Banda X: 8 a 12 GHz.

Banda Ku: 12 a 18 GHz.

Banda K: 18 a 26 GHz.

Banda Ka: 26 a 40 GHz.

Banda Q: 30 a 50 GHz.

Banda U: 40 a 60 GHz.

Banda V: 50 a 75 GHz.

Banda E: 60 a 90 GHz.

Banda W: 75 a 110 GHz.

Banda F: 90 a 140 GHz.

Banda D: 110 a 170 GHz.

I.4.3. Transmisión sin cables.

Cuando se piensa en comunicación de datos generalmente se piensa en comunicación a través de cable, debido a que la mayoría de nosotros tratamos con este tipo de tecnología en nuestro cotidiano día. Haciendo a un lado las complicadas redes cableadas también tenemos la llamada *comunicación inalámbrica* muy comúnmente a nuestro alrededor.

La comunicación inalámbrica de datos en la forma de microondas y enlaces satelitales son usados para transferir voz y datos a larga distancia. Los canales inalámbricos son utilizados para la comunicación digital cuando no es económicamente conveniente la conexión de dos puntos vía cable; además son ampliamente utilizados para interconectar redes locales LAN's con sus homologas redes de área amplia WAN's sobre distancias moderadas y obstáculos como autopistas, lagos, edificios y ríos. Los enlaces vía satélite permiten no solo rebasar obstáculos físicos sino que son capaces de comunicar continentes enteros, barcos, rebasando distancias sumamente grandes.

La ingeniería de microondas o milimétricas tiene que ver con todos aquellos dispositivos, componentes y sistemas que trabajen en el rango frecuencial de 300 MHz a 300 GHz. Debido a tan amplio margen de frecuencias, tales componentes encuentran aplicación en diversos sistemas de comunicación. Ejemplo típico es un enlace de radiocomunicaciones terrestre a 6 GHz en el cual detrás de las antenas emisora y receptora, hay toda un sistema electrónico capaz de generar, distribuir, modular, amplificar, mezclar, filtrar y detectar la señal. Otros ejemplos lo constituyen los sistemas de comunicación por satélite, los sistemas radar y los sistemas de comunicación móviles, muy en boga en nuestros días.

I.4.4. Comunicación vía microondas.

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal céreo. Donde: el transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor; y, como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia debido a la distancia, reflexión y refracción, además de pérdidas atmosféricas.

Debido al uso de las frecuencias utilizadas en los enlaces de microondas se tienen las siguientes ventajas:

1. Antenas relativamente pequeñas.
2. A estas frecuencias las ondas de radio se comportan como ondas de luz, por ello la señal puede ser enfocada utilizando antenas parabólicas y antenas de embudo, además pueden ser reflejadas con reflectores pasivos.

A continuación se presentan las siguientes desventajas:

1. Las frecuencias son susceptibles a un fenómeno llamado disminución de multitrayectoria, lo que causa profundas disminuciones en el poder de las señales recibidas.
2. A estas frecuencias las pérdidas ambientales se transforman en un factor importante, la absorción de poder causada por la lluvia puede afectar dramáticamente el rendimiento del canal.

I.4.5. Comunicación por satélite.

Básicamente, los enlaces satelitales son iguales a los de microondas excepto que uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio, como se había mencionado un factor limitante para la comunicación microondas es que tiene que existir una línea recta entre los dos puntos, pero, como la tierra es esférica esta línea se ve limitada entonces; colocando ya sea el receptor o el transmisor en el espacio se cubre un área más grande de superficie.

Las comunicaciones vía satélite poseen numerosas ventajas sobre las comunicaciones terrestres, la siguiente es una lista de algunas de estas ventajas:

- El costo de un satélite es independiente a la distancia que vaya a cubrir.
- La comunicación entre dos estaciones terrestres no necesita de un gran número de repetidoras puesto que solo se utiliza un satélite.
- Las poblaciones pueden ser cubiertas con una sola señal de satélite, sin tener que preocuparse en gran medida del problema de los obstáculos.

- Grandes cantidades de ancho de bandas están disponibles en los circuitos satelitales generando mayores velocidades en la transmisión de voz, datos y vídeo sin hacer uso de un costoso enlace telefónico.

Estas ventajas poseen sus contrapartes, tales como:

- El retardo entre el uplink y el downlink que es de medio segundo total para una señal de eco.
- La absorción por la lluvia es proporcional a la frecuencia de la onda.
- Conexiones satelitales multiplexadas imponen un retardo que afectan las comunicaciones de voz, por lo cual son generalmente evitadas.

Los satélites de comunicación están frecuentemente ubicados en lo que llamamos “órbitas geoestacionarias”, lo que significa que el satélite acompañará a la tierra con la misma velocidad en que ésta rota, lo que lo hace parecer inmóvil desde la tierra. Una ventaja de esto es que el satélite siempre está a la disposición para su uso.

Un satélite no puede retransmitir una señal a la misma frecuencia a la que es recibida, si esto ocurriese el satélite interferiría con la señal de la estación terrestre, por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, para hacer esto se emplean los transpondedores.

Al igual que los enlaces de microondas las señales transmitidas vía satélite son también degradadas por la distancia y las condiciones atmosféricas. Otro punto que cabe destacar es que existen satélites que se encargan de regenerar la señal recibida antes de retransmitirla, pero estos solo pueden ser utilizados para señales digitales, mientras que los satélites que no lo hacen pueden trabajar con ambos tipos de señales (analógicas y digitales).

I.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON LOS SISTEMAS DE LÍNEA METÁLICA.

Los avances tecnológicos en lo referente a electrónica, tales como componentes cada vez más pequeños, poderosos y accesibles; líneas de transmisión de mayor calidad, menor peso y también menor costo; antenas de diámetro reducido, debido a la optimización del uso del espectro radioeléctrico, han contribuido a que los enlaces terrestres punto a punto vía microondas sean cada vez más comunes. A continuación se presentan algunos aspectos a tomar en cuenta si se requiere hacer una comparación:

a) Ventajas:

- Volumen de inversión generalmente más reducido.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.
- Pueden superarse las irregularidades del terreno.
- La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

b) Desventajas:

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces.

- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservación.
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable.
- Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerido, por lo que implica un importante problema en diseño.

I.5.1. Estructura general de un radioenlace por microondas.

Los radioenlaces por microondas son relativamente sencillos de instalar; sin embargo, requieren de algunos elementos indispensables para que éstos puedan ser implementados y puestos en funcionamiento. A continuación se describen tales elementos:

a) Equipos.

Un radioenlace está constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico. La distancia entre repetidores se llama vano y éstos pueden ser activos o pasivos; los últimos se limitan a redireccionar el haz de luz y no tienen ganancia.

b) Líneas de transmisión.

La guía de onda es en esencia una tubería metálica, a través de la cual se propaga el campo electromagnético sin prácticamente atenuación, dependiendo esta del material de que la misma esté fabricada; así, a una frecuencia determinada, y para una geometría concreta, la atenuación será tanto menor cuanto mejor conductor sea el material. A diferencia de lo que

ocurre en el medio libre, en una guía de onda el campo está confinado en su interior, evitándose la radiación hacia el exterior.



Figura I.7. Guía de onda utilizada en la tecnología de microondas.

c) Antenas.

Una antena es un dispositivo formado por un conjunto de conductores que, unido a un generador, permite la emisión de ondas de radio frecuencia, o que, conectado a una impedancia, sirve para captar las ondas emitidas por una fuente lejana. Para el uso y manejo de microondas la antena utilizada es una antena de tipo reflector o parabólica, la cual limita las radiaciones a un cierto espacio, concentrando la potencia de las ondas en un punto fijo llamado foco. Una antena parabólica usada para la comunicación vía microondas es mostrada a continuación:



Figura I.8. Antena de microondas.

d) Torres.

Estas estructuras pueden variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vaya a colocar, afectando principalmente la velocidad del viento que exista en el lugar en cuestión.

Así, existen desde torres arriostradas (torres con tirantes), torres auto soportadas, monopolos, mástiles, entre otras, las cuales suelen estar compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos, remaches o por medio de soldadura. Estas estructuras podrán ser de diversas alturas, dependiendo de la altura requerida para poder suministrar un correcto funcionamiento.

Existen actualmente muchas compañías que se dedican a fabricar éstas estructuras y muchas de ellas tienen sus modelos optimizados para que se tenga un correcto funcionamiento de la torre, en donde los perfiles y ángulos varían de tamaño y espesor dependiendo de la altura que se necesite, y del lugar en donde se va a construir.

A continuación se hace referencia a las más importantes:

a) Torres arriostradas o atirantadas:

Muchas veces se requieren instalar antenas de microondas o celulares en puntos o regiones específicos, por lo que se recurre a construir torres arriostradas sobre edificaciones existentes, cerros, terrenos baldíos, etc. Estas torres cuentan generalmente de tirantes o arriostres a diferentes distancias; el peso que genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, sin embargo se deben de colocar los apoyos de las torre y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes, ya que la base de la torre transmitirá un esfuerzo de compresión en donde este apoyada y los arriostres generalmente transmitirán esfuerzos de tensión.



Figura I.9. Torre arriostrada.

Los cables o arriostres generalmente se tensan al 10% de su resistencia, la cual es proporcionada por el fabricante. Así, por ejemplo, si el cable tiene una resistencia a la ruptura de 4.95 toneladas en tensión, entonces se acostumbra tensar los cables a 0.495 toneladas. También se pueden tensar los cables con diferentes fuerzas, calculando una tensión tal que el sistema este en equilibrio.

b) Torres autosoportadas:

Las torres autosoportadas se construyen sobre terrenos, áreas urbanas o cerros, y deberán contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas.

La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y el fabricante de la torre; ésta geometría deberá permitir que la rigidez estructural de la torre sea lo suficientemente grande, como para permitir que se sostenga ella misma y a los equipos que aloje.

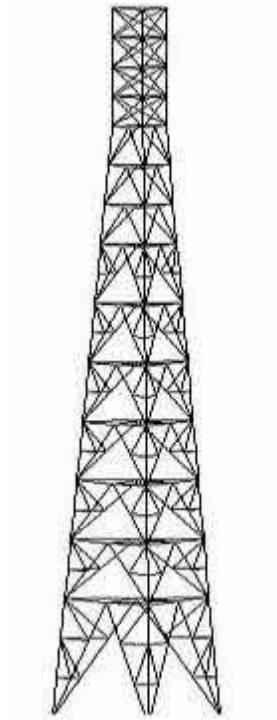


Figura I.10h. Torre autosoportada utilizada para montar antenas de microondas.

c) Torres tipo monopolo:

Son estructuras cilíndricas que en su parte inferior presentan un diámetro mayor que en la parte superior; esto debido a que debe ser capaz de sostenerse verticalmente y alojar una o varias antenas de microondas. Los monopolos son instalados en lugares donde se requiere conservar la estética, pues son las que ocupan menos espacio y se pintan de algún color o se adornan para permitir que la estructura quede integrada en la arquitectura del lugar.

Como estas estructuras son construidas sobre el terreno, se deberá construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de las fuerzas que actúan sobre la misma.

I.6. FACTORES A CONSIDERAR EN LA INSTALACIÓN DE UN ENLACE DE MICROONDAS.

El gradiente del índice de refracción o factor “K” que corresponde al radio eficaz de la tierra se define como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microondas durante su propagación, el cual queda representado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{R'}{Rt}$$

Donde:

Rt = Radio real terrestre

R' = Radio de la curvatura ficticia de la tierra.

Cualquier variación del índice de refracción provocada por la alteración de las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor “K”.

En condiciones atmosféricas normales, el valor de “K” varia desde 1.2 para regiones elevadas y secas, $\frac{4}{3}$ en onzas mediterráneas y hasta 2 o 3 para zonas costeras húmedas.

Cuando “K” se hace infinito, la tierra aparece ante el haz como perfectamente plana, ya que su curvatura tiene exactamente el mismo valor que la terrestre.

Si el valor de “K” disminuye a menos de 1, el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre. Este efecto puede obstruir parcialmente al trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción.

El valor de la curvatura terrestre para los distintos valores de “K” se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{d_1 d_2}{1.5K}$$

Donde:

h = Cambio de la distancia vertical desde una línea horizontal de referencia, dado en unidades lineales (kilómetro, milla, centímetro, metro, pie, etc.).

d_1 = Distancia desde un punto hasta uno de los extremos del trayecto, dado en unidades lineales (kilómetro, milla, centímetro, metro, pie, etc.).

d_2 = Distancia desde el mismo punto anterior hasta el otro extremo del trayecto, dado en unidades lineales (kilómetro, milla, centímetro, metro, pie, etc.).

K = Factor del radio eficaz de la tierra.

Con excepción del desvanecimiento por efecto de trayectos múltiples, en los que interviene el tipo de terreno por el que es trazada la trayectoria del enlace, por ejemplo: lagos, ríos y mares, éstos son fácilmente superables mediante:

- La movilidad de las torres con sus equipos y antenas (diversidad de espacio).
- La optimización del uso del espectro radioeléctrico para el aprovechamiento de mayor número de frecuencias (diversidad de frecuencia).
- La libertad de usar la polarización que más convenga en las antenas al momento de instalar el alimentador de las mismas (diversidad de polarización).

Las alteraciones del valor de “K” desde 1 hasta infinito (rango normal de “K”), tiene escasa influencia en el nivel de intensidad con que se reciben las señales, cuando el trayecto se ha proyectado en forma adecuada.

Las anomalías de propagación ocurren cuando “K” es inferior a 1, el trayecto podría quedar obstruido y por lo tanto sería vulnerable a los fuertes desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples. Cuando “K” forma un valor negativo; el trayecto podría resultar atrapado entre capas atmosféricas y en consecuencia sería susceptible a sufrir desvanecimiento total.

Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para su funcionamiento correcto es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región. Los enlaces de microondas se hacen básicamente entre puntos visibles es decir, puntos altos de los accidentes geográficos (montañas, edificios). Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto.

Antes de hacer mediciones en el terreno puede ser necesario estudiar los planos topográficos de la zona. Por lo general el estudio minucioso de los mapas y de los planos facilita las labores, sobre todo en sistema extensos con gran número de repetidoras y donde existe una gran variedad de rutas posibles.

Sobre un mapa de la región en escalas del orden de 1:10000, 1: 100000 o 1: 200000, se escogen estaciones separadas de 10 kilómetros a 50 kilómetros. Una vez seleccionados los sitios de ubicación propuestos para las torres de las antenas, y habiéndose determinado la elevación del terreno comprendido entre dichos sitios, se prepara un diagrama de perfiles. En la mayoría de los casos solo es necesario los perfiles de los obstáculos y de sus alrededores, donde pueda obstruirse la línea visual.

Las señales de radiotransmisión en las frecuencias de microondas generalmente se propagan en línea recta en la forma de un haz dirigido de un punto a otro. Sin embargo, el haz puede desviarse o curvarse hacia la tierra por efecto de la refracción de las ondas en la atmósfera. La magnitud de la curvatura se ha tenido en cuenta al calcular el factor “K”.

Puede emplearse un perfil de trayecto dibujado sin mostrar la curvatura de la tierra, y con el haz de microondas en línea recta entre las dos antenas. Dicho perfil representa el caso en el cual la curvatura del haz es igual a la del terreno y el radio de la tierra es infinito. Esta es una de las condiciones extremas que deben investigarse al estudiar el efecto de las condiciones atmosféricas anormales sobre la propagación de las microondas. Sobre el mismo gráfico se dibujan los recorridos del haz para otros posibles valores de “K” entre ellos el normal que es $\frac{4}{3}$. El trazado de las curvas con diversos valores de “K” se hace con plantillas normalizadas.

Hay momentos en que la distribución de la densidad de la atmósfera cambia y la trayectoria se hace mas restante y pasa a sufrir obstrucción, se debe incluir en los cálculos una pérdida adicional de 3 decibeles. Poniendo en funcionamiento tal enlace, la transmisión con atmósfera normal no tendrá la perdida de 3 decibeles, solo surge en momentos desfavorables y ya está incluida en el diseño.

I.6.1. Desvanecimiento.

El desvanecimiento se debe normalmente a los cambios atmosféricos y a las reflexiones del trayecto de propagación al encontrar superficies terrestres o acuáticas. La intensidad del desvanecimiento aumenta en general con la frecuencia y la longitud de trayecto. En el caso de transmisión sobre terreno accidentado, el desvanecimiento debido a propagación multitrayecto es relativamente independiente del citado margen sobre obstáculo.

I.6.2. Confiabilidad de sistemas de radiotransmisión por microondas.

Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, se utiliza un 99.98% de confiabilidad general en un sistema patrón de 6,000 kilómetros de longitud, lo que equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace.

Por enlace o radioenlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema de microondas. El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas. De acuerdo con las recomendaciones del CCIR, los enlaces, deben tener una longitud media de 50 kilómetros.

Las empresas industriales que emplean sistemas de telecomunicaciones también hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, que es un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, en los sistemas de microondas de largo alcance.

Capítulo II. NORMA UIT G – 826.

En la tecnología de transmisión digital, cualquier bit recibido con error (bit erróneo), puede deteriorar la calidad de transmisión. Es evidente que la calidad disminuirá al aumentar el número de bits erróneos. Por consiguiente, la relación entre el número de bits con errores y el número total de bits transmitido en un intervalo de tiempo dado es una magnitud que se denomina tasa de errores en los bits BER, la cual se puede utilizar para describir la calidad de funcionamiento de la transmisión digital.

La tasa de errores en los bits sólo se puede medir si se conoce la estructura de bit de la secuencia evaluada. Por este motivo, las mediciones de la tasa de errores en los bits se realizan principalmente utilizando las secuencias de bits pseudo aleatorios PRBS. En la práctica, la PRBS sustituye a la información enviada en servicio. Esto significa que la BER sólo se puede medir correctamente fuera de servicio porque normalmente se desconoce la estructura de bits de un mensaje arbitrario.

Uno de los objetivos principales de la norma UIT G - 826 es definir todos los parámetros de calidad de funcionamiento, de manera que sea posible efectuar estimaciones en servicio. En consecuencia, las definiciones de parámetros basadas en las tasas de errores en los bits no se escogieron a pesar de sus ventajas. Es posible detectar en servicio los errores de una transmisión digital, pero utilizando mecanismos de detección de errores especiales: código de detección de errores EDC que son inherentes a determinados sistemas de transmisión.

Como ejemplo de estos EDC inherentes cabe citar la verificación por redundancia cíclica CRC, el control de paridad y la observación de la paridad de entrelazado de bits BIP. Los EDC son capaces de detectar si se ha producido uno o más errores en una secuencia de bits dada, el bloque. Normalmente no es posible determinar el número exacto de bits con errores dentro del bloque.

Los errores en los bloques se procesan de manera similar que los errores en los bits, es decir, el término tasa de errores en los bloques se define como la relación entre el número de bloques con errores y el número total de bloques transmitidos en un intervalo de tiempo dado.

II.1. ORÍGENES.

La UIT es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT, el UIT-T es un órgano permanente de dicha organización. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y pública recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La conferencia mundial de normalización de las telecomunicaciones CMNT, que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las comisiones de estudio del UIT-T, que a su vez producen recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de recomendaciones por los miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la resolución N.º 1 de la CMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

II.2. ALCANCE.

La Recomendación UIT G - 826, ha sido revisada por la comisión de estudio 13 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la resolución N.º 1 de la CMNT el 15 de febrero de 1999.

Esta Recomendación especifica eventos, parámetros y objetivos de característica de error para trayectos digitales que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores. Estos trayectos se pueden basar en una jerarquía digital plesiócrona PDH, una jerarquía digital síncrona o alguna otra red de transporte como las basadas en células.

La Recomendación es genérica porque define los parámetros y objetivos para trayectos independientemente de la red de transporte física que proporciona los trayectos. La conformidad con la especificación de calidad de funcionamiento de esta Recomendación garantizará, en la mayoría de los casos, que una conexión a 64 kilobits por segundo cumplirá los requisitos establecidos en la Recomendación UIT G - 821. Esta Recomendación es requerida para diseñar la característica de error de trayectos digitales a la velocidad primaria o a velocidades superiores.

Los parámetros y definiciones de la calidad de funcionamiento aplicados a trayectos proporcionados utilizando la capa modo transferencia asíncrono ATM y la capa de adaptación del modo transferencia asíncrono AAL para servicios de velocidad binaria constante (clase A, Recomendación I.362) están en estudio. De acuerdo con la definición de un trayecto digital, los puntos extremos del trayecto pueden estar situados en las instalaciones del usuario.

Dado que los objetivos de calidad de funcionamiento tienen por objeto satisfacer las necesidades de la red digital, debe admitirse que no todos los equipos y sistemas digitales actuales pueden cumplirlos de inmediato. No obstante, la intención es alentar diseños de equipos tales que los trayectos digitales satisfagan los objetivos de la presente Recomendación.

Se utilizan trayectos que soportan servicios tales como los de conmutación de circuitos, conmutación de paquetes y circuitos arrendadas. La calidad de dichos servicios, así como la calidad de funcionamiento de los elementos de red pertenecientes a la capa de servicio, están fuera del alcance de la presente Recomendación.

Los objetivos de calidad de funcionamiento son aplicables a un solo sentido del trayecto. Estos valores se aplican de extremo a extremo a un trayecto ficticio de referencia HRP de 27,500 kilómetros (véase Figura II.1.) que puede incluir sistemas de transmisión por fibra óptica, de radioenlaces digitales, cables metálicos y satélite.

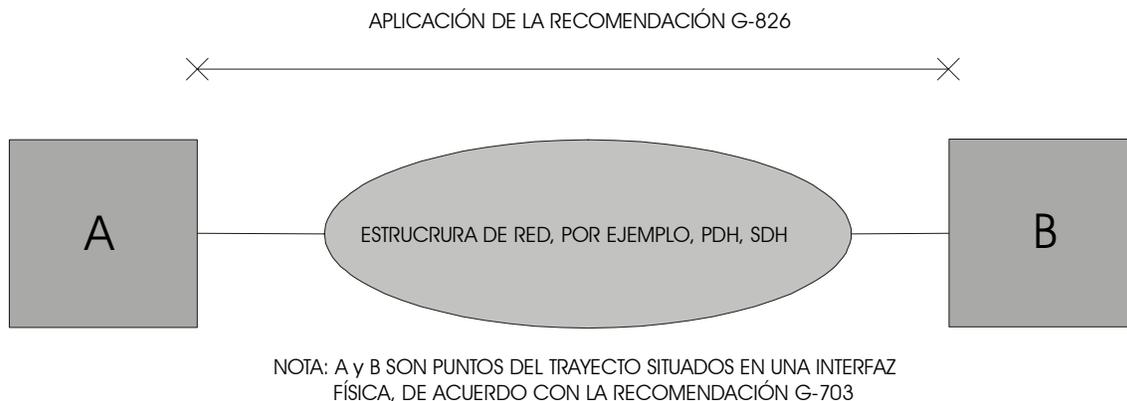


Figura II.1. Aplicación de la Recomendación G - 826 para un trayecto de transmisión de extremo a extremo que no funciona en modo transferencia asíncrono.

Las definiciones de parámetros se hacen por bloques, por lo cual convienen las mediciones en servicio. En algunos casos, la estructura de red no puede proporcionar los eventos básicos necesarios para obtener directamente los parámetros de calidad de funcionamiento. En estos casos, la conformidad con esta Recomendación puede determinarse utilizando mediciones fuera de servicio o estimarse por mediciones compatibles.

En la norma UIT G - 826 especifica la característica de error de trayectos en una determinada capa de red de transporte. Debe considerarse el siguiente caso:

II.3. CONEXIONES EN MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO.

Cuando el trayecto forma la parte física de una conexión en modo transferencia asíncrono ATM (véase la figura II.2), la calidad de funcionamiento global de extremo a extremo de la conexión ATM se define en la Recomendación I.356. En este caso, la norma UIT G - 826 se puede aplicar con una asignación apropiada a la calidad de funcionamiento entre los

puntos extremos del trayecto donde la capa física del modelo de referencia del protocolo ATM es terminada por transconectores o conmutadores ATM. Los trayectos de transmisión ATM en la capa física corresponden a un tren de células que se transforman en un formato basado en células o en estructuras de trama basadas en la jerarquía digital síncrona o en la jerarquía digital plesiócrona.

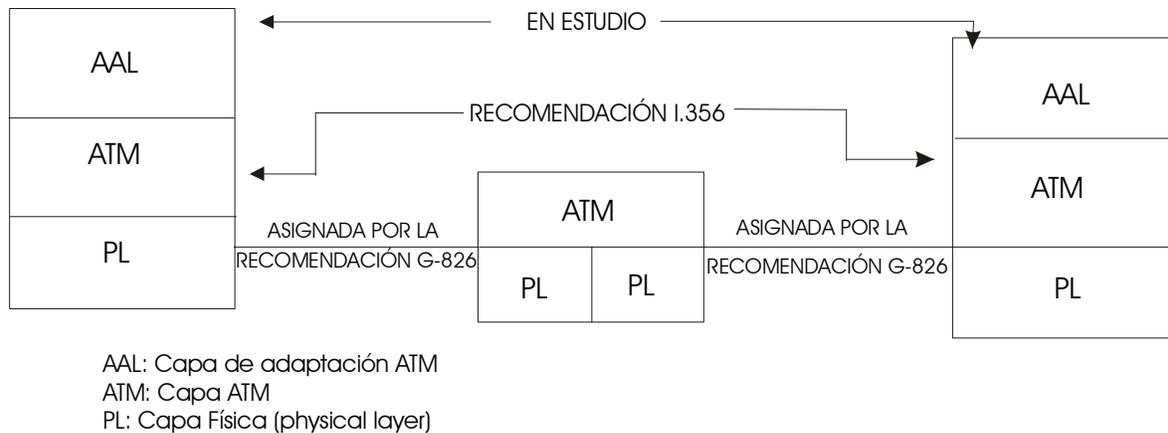


Figura II.2. Relación arquitectural entre las Recomendaciones G - 826 e I.356

II.4. ASIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE EXTREMO A EXTREMO.

Las asignaciones de calidad de funcionamiento de extremo a extremo de trayectos de velocidad binaria constante se obtienen aplicando las reglas expuestas en la distribución de los objetivos de extremo a extremo, que se basan en la longitud y la complejidad. Las asignaciones detalladas de la calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT G - 826 a los distintos componentes (líneas, secciones, multiplexores y transconectores, etc.) están fuera del ámbito de la presente Recomendación, pero cuando se efectúan estas atribuciones, se deben aplicar las asignaciones nacionales e internacionales indicadas en la distribución de los objetivos de extremo a extremo.

II.5. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.

En esta Recomendación se definen los términos siguientes:

Trayecto ficticio de referencia.- Se define como trayecto ficticio de referencia (HRP) todos los medios de transmisión digital de una señal digital con una determinada velocidad, incluida la tara del trayecto (si existe) entre el equipo en el cual se origina y termina la señal. Un trayecto ficticio de referencia extremo a extremo abarca una distancia de 27,500 km.

Trayectos digitales.- Un trayecto digital puede ser unidireccional o bidireccional y puede abarcar tanto el tramo de propiedad del cliente como el tramo de propiedad del operador de la red.

Trayectos digitales de la jerarquía digital síncrona.- Un trayecto digital SDH es un camino que transporta la cabida útil SDH y la tara asociada a través de la red de transporte estratificada entre el equipo de terminación.

Definición genérica del bloque.- La Recomendación UIT G - 826 se basa en la medición de la característica de error de los bloques. La definición genérica del término "bloque" es la siguiente: Un bloque es un conjunto de bits consecutivos asociados con el trayecto; cada bit pertenece a un solo bloque. Los bits consecutivos pueden no estar contiguos en el tiempo.

Bloque con errores (EB).- Bloque en el cual uno o más bits tienen errores.

Segundo con errores (ES).- Periodo de un segundo con uno o más bloques con errores o por lo menos con un defecto.

Segundo con muchos errores (SES).- Periodo de un segundo que contiene 30% de bloques con errores o por lo menos un defecto. SES es un subconjunto de ES.

Los segundos con muchos errores consecutivos pueden ser precursores de periodos de indisponibilidad, especialmente cuando no se utilizan procedimientos de restablecimiento para protección.

Error de bloque de fondo (BBE).- Bloque con error que no se produce como parte de un SES.

Tasa de segundos con errores (ESR).- Relación entre ES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

Tasa de segundos con muchos errores (SESR).- Relación entre SES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

Tasa de errores de bloque de fondo (BBER).- Relación entre bloques con errores de fondo BBE y el total de bloques en el tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo. El cómputo total de bloques excluye todos los bloques durante los SES.

II.6. SUPERVISIÓN EN SERVICIO DE LOS BLOQUES.

Cada bloque es supervisado por medio de un código de detección de error inherente (EDC), por ejemplo, paridad de entrelazado de bits o verificación por redundancia cíclica.

Los bits EDC están separados físicamente del bloque al cual se aplica. Normalmente no es posible determinar si un bloque o sus bits EDC de control son erróneos. Si hay una discrepancia entre el EDC y su bloque controlado, se supone siempre que el bloque controlado es erróneo.

En esta definición genérica no se indica ningún EDC específico pero se recomienda que para la supervisión en servicio los diseños futuros estén equipados con una capacidad EDC, de modo que la probabilidad de detectar un evento erróneo sea del 90%, suponiendo una distribución de errores de Poisson.

La distribución de Poisson se refiere a sucesos en un intervalo de tiempo o en una área específica; el intervalo de tiempo puede ser de cualquier duración, un minuto, una hora, un día, un año. Algunos ejemplos de situaciones modeladas con el modelo de Poisson son: el número de fallas de una máquina en una semana, el número juegos de algún deporte postpuestos por lluvia en una temporada, etc.

Cuando se trata de superficies, los ejemplos son: el número de ratas en un terreno, el número de errores de mecanografía por página, el número de defectos por centímetro cuadrado.

El experimento que genera una distribución de Poisson debe cumplir las siguientes condiciones:

- El número de errores que ocurren en cada región del tiempo o del espacio es independiente de lo que ocurra en cualquier otro tiempo o espacio disjunto del anterior.
- La probabilidad de que ocurra un error en un tiempo o espacio pequeño es proporcional al tamaño de este y no depende de lo que ocurra fuera de él.
- La probabilidad de encontrar uno o más errores en una región del tiempo o del espacio tiende a cero a medida que se reducen las dimensiones de la región en estudio.

Como consecuencia de estas condiciones, las variables Poisson típicas son variables en las que se cuentan sucesos raros o anormalidades.

CRC-4 y BIP-8 son ejemplos de códigos de detección de errores actualmente utilizados que cumplen este requisito.

La distribución de Poisson tiene la siguiente forma matemática:

$$P_x = e^{-\mu} \left(\frac{\mu^x}{x!} \right)$$

Donde:

P_x = Probabilidad de que ocurra el error.

μ = Número medio de ocurrencias por intervalo de tiempo.

$e = 2.718282\dots$

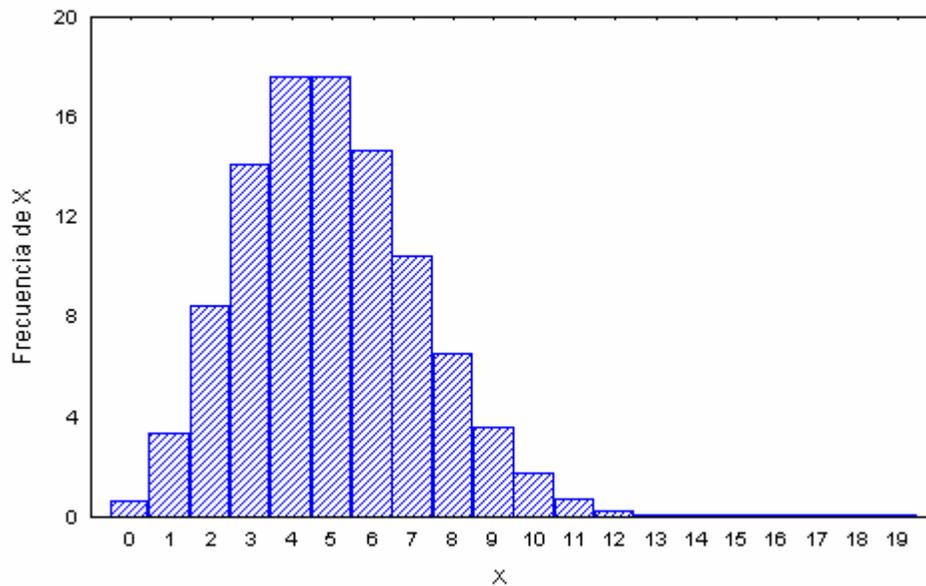


Figura II.3. Distribución típica de Poisson con $\mu = 10$ y $n=100$.

La estimación de los bloques con errores en servicio depende de la estructura de la red empleada y del tipo de EDC disponible. Los anexos B, C, y D de la presente recomendación ofrecen orientación sobre cómo se pueden obtener estimaciones en servicio de bloques con errores a partir de las facilidades ISM de redes basadas en PDH, SDH y células, respectivamente.

II.6.1. Mediciones fuera de servicio de los bloques.

Las mediciones fuera de servicio se basarán también en bloques. Se prevé que la capacidad de detección de errores fuera de servicio sea superior a la capacidad en servicio descrita anteriormente.

II.6.2. Evaluación de la característica de error.

Consecuencias para los dispositivos de medición de la característica de error:

Actualmente hay numerosos dispositivos tales como equipos de prueba, sistemas de transmisión, dispositivos de medición, sistemas operativos, aplicaciones de soporte lógico; diseñados para estimar los parámetros ESR y SESR de las recomendaciones G - 821 o M.2100 a velocidades binarias hasta el cuarto nivel de la PDH. Para estos dispositivos, los parámetros ESR y SESR de la presente Recomendación pueden ser aproximados utilizando los criterios de la Recomendación UIT G - 821, pero no es posible una aproximación de BBER a partir de mediciones basadas en dicha Recomendación.

II.7. SUPERVISIÓN DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN EL EXTREMO CERCANO Y EN EL EXTREMO DISTANTE DE UN TRAYECTO.

El diseño de red puede determinar el estado de indisponibilidad de un trayecto de enlace supervisando los eventos SES para la transmisión y recepción en un punto extremo. En algunos casos, también es posible supervisar el conjunto completo de parámetros de característica de error en ambos sentidos desde un extremo del trayecto.

II.7.1. Objetivos de característica de error.

El Cuadro II.1 especifica los objetivos de extremo a extremo para un HRP de 27,500 kilómetros utilizando los parámetros definidos anteriormente. Los objetivos reales

aplicables a un trayecto real se obtienen de dicho cuadro y cada sentido del trayecto cumplirá al mismo tiempo los objetivos asignados para todos los parámetros.

Velocidad en Mbit/s	1,5 a 5	>5 a 15	>15 a 55	>55 a 160	>160 a 3500
Bits/bloque	800-5000	2000-8000	4000-20 000	6000-20 000	15 000-30 000 (Nota 2)
ESR	0,04	0,05	0,075	0,16	(Nota 3)
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	2×10^{-4} (Nota 1)	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

NOTA 1 – Para los sistemas diseñados antes de 1996, el objetivo de BBER es 3×10^{-4}

NOTA 2 – Como se define actualmente, VC-4-4c (véase la Recomendación G – 707) en un trayecto de 601 Mbps con un tamaño de bloque de 75,168 bits por bloque. Dado que está fuera de la gama recomendada para trayectos a 160 - 3500 Mbps, el funcionamiento en los trayectos VC-4-4c no debe ser estimado en servicio utilizando este cuadro. El objetivo BBER para VC-4-4c utilizando el tamaño de bloque de 75,168 Bits se fija en 4×10^{-4} . Se definen secciones digitales para velocidades binarias superiores y se dan directrices para evaluar la calidad de funcionamiento de las secciones digitales en los objetivos de extremo a extremo y en una Recomendación relativa a las características de errores de una sección de multiplexaje.

NOTA 3 – Los objetivos ESR pierden importancia en aplicaciones con altas velocidades binarias y, por consiguiente, no se especifican para trayectos que funcionan a velocidades binarias superiores a 160 Mbps. No obstante, se reconoce que la calidad de funcionamiento observada de trayectos SDH no tiene esencialmente errores durante largos periodos de tiempo, ni siquiera a velocidades en gigabits. Una ESR significativa indica un sistema de transmisión degradado. Por lo tanto a efectos de mantenimiento, la supervisión ES debe efectuarse sin que ningún dispositivo de medición de la característica de error funcione a esas velocidades.

Cuadro II.1. Objetivos de característica de error de extremo a extremo para un HRP digital internacional de 27,500 kilómetros a la velocidad primaria o a velocidades superiores.

En otras palabras, un trayecto no cumple esta Recomendación si algún parámetro excede el objetivo asignado en cada sentido al final del periodo de evaluación dado.

El periodo de evaluación sugerido es un mes. A los efectos de la presente Recomendación, se entiende que un mes equivale de 28 a 31 intervalos consecutivos de 24 horas. Para comparar los resultados de las mediciones obtenidas por las distintas partes en el mismo

trayecto, es necesario que las partes implicadas acuerden el tiempo de inicio y la duración del periodo de evaluación de la calidad de funcionamiento.

Se señala que los eventos SES pueden producirse agrupados, no siempre como eventos aislados. Una secuencia de "n" SES contiguos puede tener una repercusión muy diferente sobre la calidad de funcionamiento que "n" eventos SES aislados.

Los trayectos que funcionan a las velocidades binarias tratadas en esta Recomendación son transportados por sistemas de transmisión (secciones digitales) que funcionan a velocidades binarias iguales o más altas. Estos sistemas deben satisfacer sus asignaciones de los objetivos de extremo a extremo para los trayectos a las velocidades binarias más altas que se prevé transportar. El cumplimiento de los objetivos asignados para el trayecto a velocidades binarias más altas debe ser suficiente para asegurar que todos los trayectos a través del sistema logren su objetivo.

Por ejemplo, en la SDH, una sección STM-1 puede transportar un trayecto VC-4, por lo que la sección STM-1 se debe diseñar de modo que se garantice que se cumplen los objetivos especificados en esta Recomendación para la velocidad binaria correspondiente a un trayecto VC-4.

En la presente Recomendación se asignan objetivos a los tramos nacional e internacional de un trayecto. En el párrafo anterior, si la sección STM-1 no forma un tramo nacional o internacional completo, la asignación nacional ó internacional correspondiente se debe subdividir para determinar la asignación apropiada a la sección digital. Esto está fuera del ámbito de la Recomendación UIT G – 826 y se trata en una Recomendación separada.

II.7.2. Distribución de los objetivos de extremo a extremo.

La siguiente metodología de distribución especifica los niveles de calidad de funcionamiento previstos de los tramos nacional e internacional de un HRP. La subdivisión

de estos objetivos está fuera del ámbito de la presente Recomendación (véase la Figura II.4).

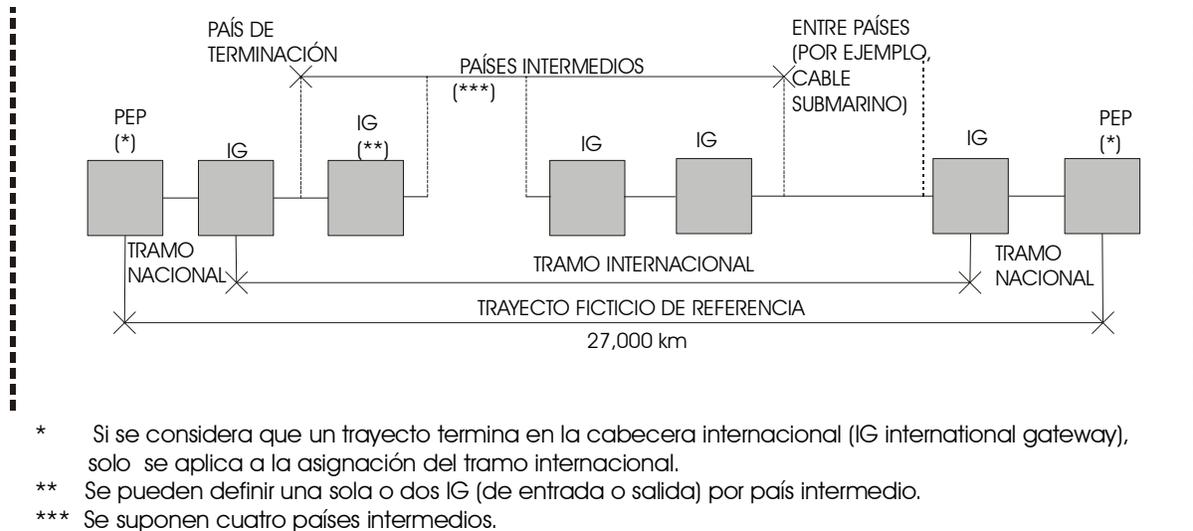


Figura II.4. Trayecto ficticio de referencia.

A los efectos de la Recomendación UIT G – 826, se define que la frontera entre los tramos nacional e internacional está en una cabecera internacional que usualmente corresponde a un transconector, a un multiplexor de orden superior o a un conmutador. Las cabeceras internacionales son siempre equipos terrenales que residen físicamente en el país de terminación (o intermedio). Se pueden utilizar trayectos de orden superior (con respecto al HRP considerado) entre cabeceras internacionales. Éstos trayectos sólo reciben la asignación correspondiente al tramo internacional entre dichas cabeceras. En los países intermedios, las cabeceras internacionales se instalan solamente para calcular la longitud total del tramo internacional del trayecto con miras a deducir la asignación global.

La siguiente metodología de asignación se aplica a cada parámetro definido en los parámetros con característica de error y tiene en cuenta la longitud y la complejidad del trayecto internacional. Todos los trayectos deben ser diseñados para satisfacer los objetivos asignados descritos anteriormente. Si la asignación global excede del 100%, la calidad de funcionamiento del trayecto puede no satisfacer los objetivos del Cuadro II.1. Las entidades operadoras de red deben observar que si se puede mejorar la calidad de funcionamiento de

las realizaciones para que sea superior a los objetivos asignados, se pueden minimizar los trayectos que rebasan los objetivos de dicho cuadro.

II.7.2.a. Asignación al tramo nacional de un trayecto de extremo a extremo.

A cada tramo nacional se asigna un margen total fijo de 17.5% del objetivo de extremo a extremo. Además, a este margen global se añade una asignación basada en la distancia. La longitud real de la ruta entre el PEP y la IG debe calcularse primero, si se conoce. La distancia de ruta aérea entre el PEP y la IG se debe determinar también y multiplicar por un factor de encaminamiento apropiado. Este factor de encaminamiento se especifica como sigue:

- Si la distancia de ruta aérea es $<1,000$ kilómetros, el factor de encaminamiento es 1.5;
- Si la distancia de ruta aérea es $\geq 1,000$ kilómetros y $<1,200$ kilómetros, se considera que la longitud calculada de la ruta es 1,500 kilómetros;
- Si la distancia de ruta aérea es ≥ 1200 kilómetros, el factor de encaminamiento es 1.25.

Cuando se conocen las longitudes de ruta real y calculada, se retiene el valor más pequeño. Esta distancia se debe redondear a los 500 kilómetros más cercanos (es decir, los dos tramos nacionales corresponden por lo menos 500 kilómetros cada uno). Se aplica después una asignación de 1% por cada 500 kilómetros a la distancia resultante.

Cuando un tramo nacional incluye un salto por satélite, se asigna un margen total del 42% de los objetivos de extremo a extremo del Cuadro II.1. El margen de 42% sustituye completamente al margen global del 17.5% indicado en los demás casos para los tramos nacionales.

Si un trayecto abarca tramos de propiedad privada (en este contexto, "privado" significa que el tramo de la red es propiedad del cliente y no está disponible al público), los objetivos

de calidad de funcionamiento de extremo a extremo se aplican al tramo situado entre los dos equipos terminales de red NTE. Entre el NTE y el equipo terminal TE no se proporcionan requisitos específicos. No obstante, debería prestarse especial atención a este tramo ya que de él depende la calidad de funcionamiento total.

II.7.2.b. Asignación al tramo internacional de un trayecto de extremo a extremo.

Al tramo internacional se asigna un margen global del 2% por país intermedio más un 1% para cada país de terminación. Además, se añade a este margen una asignación basada en la distancia. Como el trayecto internacional puede pasar a través de países intermedios, se debe añadir la longitud real de la ruta entre IG consecutivas (una o dos por cada país intermedio) para calcular la longitud total del tramo internacional. La distancia de ruta aérea entre cabeceras internacionales consecutivas se debe determinar también y multiplicar por un factor de encaminamiento apropiado. Este factor de encaminamiento se especifica como sigue para cada elemento entre cabeceras internacionales:

- Si la distancia de ruta aérea entre dos IG es $<1,000$ kilómetros, el factor de encaminamiento es 1.5.
- Si la distancia de ruta aérea es $\geq 1,000$ kilómetros y $<1,200$ kilómetros, se considera que la longitud de ruta calculada es 1,500 kilómetros.
- Si la distancia de ruta aérea entre dos IG es $\geq 1,200$ kilómetros, el factor de encaminamiento es 1.25.

Cuando se conocen ambas longitudes de ruta real y calculada, se retiene el valor más pequeño para cada elemento entre las cabeceras internacionales para calcular la longitud total del tramo internacional. Esta distancia total se debe redondear a los 500 kilómetros más cercanos, pero excederá de 26,500 kilómetros. Se aplica después una asignación de 1% por cada 500 kilómetros a la distancia resultante.

Cuando la asignación al tramo internacional es inferior al 6%, se utilizará el 6% como asignación.

b) Criterio para un trayecto bidireccional

Un trayecto bidireccional está en estado de indisponibilidad si uno o ambos sentidos están en el estado de indisponibilidad. Esto se muestra en la Figura A.2.

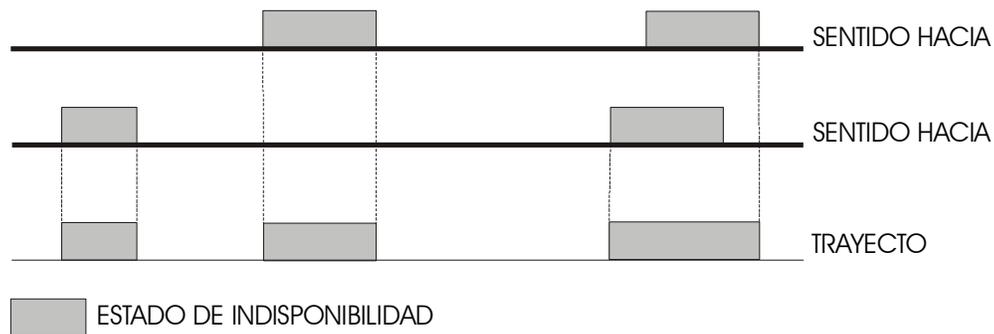


Figura A.2. Ejemplo del estado de indisponibilidad de un trayecto.

II.8.1.a. Consecuencias sobre las mediciones de la característica de error.

Cuando un trayecto bidireccional está en el estado de indisponibilidad, se pueden recopilar los cálculos de ES, SES y BBE en ambos sentidos, lo que puede ser útil para analizar la dificultad. Sin embargo, se recomienda que estos cálculos de ES, SES y BBE no se incluyan en las estimaciones de ESR, SESR y BBER.

Algunos sistemas existentes no pueden admitir este requisito de excluir los cálculos de ES, SES y BBE. Para estos sistemas, la calidad de funcionamiento de un trayecto bidireccional se puede aproximar evaluando los parámetros en cada sentido, con independencia del estado de disponibilidad del otro sentido. Se debe señalar que este método de aproximación puede resultar en una estimación peor de la calidad de funcionamiento cuando sólo un sentido del trayecto direccional está en estado de indisponibilidad.

Nota: Esto no afecta a los trayectos unidireccionales.

II.8.2. Anexo B.

II.8.2.a. Relación entre la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos de la jerarquía digital plesiócrona y los parámetros basados en bloques.

a) Tamaño de bloque para la supervisión de trayectos PDH.

En el Cuadro B.1 se muestran los tamaños de bloque para la supervisión en servicio de la calidad de funcionamiento de trayectos PDH.

Velocidad binaria de trayecto SDH	Tamaño del bloque	Tamaño del bloque PDH utilizado en la Recomendación G.826.	EDC	Referencia
1.544 kbit/s	800 – 5,000 bits	4632 bits	CRC-6	2.1 G.704
2,048 kbits/s	800 – 5,000 bits	2,048 bits	CRC-4	2..3 G.704
6,312 kbit/s	2,000 – 8,000 bits	3156 bits	CRC-5	2.2 G.704
44,736 kbit/s	4,000 – 20,000 bits	4760 bits	Verificación de paridad de bit *	1.3 G.752

* Cabe observar que la verificación de paridad de bit no satisface la probabilidad de detección de errores de $\geq 90\%$.

Cuadro B.1. Tamaños de bloque para la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos PDH.

b) Anomalías.

Las condiciones de anomalías en servicio se utilizan para determinar la característica de error de un trayecto PDH cuando éste no se encuentra defectuoso. Se definen las dos categorías de anomalías siguientes relacionadas con la señal entrante:

- a₁ una señal de alineación de trama con error.
- a₂ un EB indicado por un EDC.

c) Defectos.

En las Recomendaciones de la serie G - 730 a G - 750 relativas al equipo múltiplex PDH se utilizan condiciones de defecto en servicio para determinar el cambio de estado de calidad de funcionamiento que puede producirse en un trayecto. Las tres categorías de defectos relacionados con la señal entrante son las siguientes:

- d_1 Pérdida de señal (LOS).
- d_2 Señal de indicación de alarma (AIS).
- d_3 Pérdida de alineación de trama (LOF).

Para la jerarquía de 2 Mbps, la definición de la condición de defecto LOF figura en las recomendaciones de la serie G - 730 a G - 750.

Para algunos formatos de la jerarquía de 1.5 Mbps, la definición de la condición de defecto LOF está en estudio.

Para ambas jerarquías, las definiciones de los criterios de detección de defectos LOS y AIS figuran en la Recomendación G - 775.

d) Tipos de trayectos.

Según el tipo de facilidad ISM de supervisión en servicio asociado con el trayecto PDH en estudio, puede no ser posible calcular el conjunto completo de parámetros de calidad de funcionamiento. Se identifican cuatro tipos de trayectos:

1) Trayectos estructurados en tramas y bloques.

Las facilidades ISM proporcionan el conjunto completo de indicaciones de defecto d_1 a d_3 e indicaciones de anomalía a_1 y a_2 . Ejemplos de este tipo de trayecto son:

- Trayectos de velocidad primaria y de segundo orden con CRC - 4 a CRC - 6, que se definen en la Recomendación G - 704.
- Trayectos de cuarto orden con un bit de paridad por trama, definido en la Recomendación G - 755.

2) Trayectos estructurados en tramas.

Las facilidades ISM proporcionan el conjunto completo de indicaciones de defecto d_1 a d_3 e indicaciones de anomalía a_1 . Ejemplos de este tipo de trayectos son:

- Trayectos de velocidad primaria hasta de cuarto orden en la jerarquía de 2 Mbps, que se definen en las recomendaciones G - 732, G - 742 y G - 751.
- Trayectos de velocidad primaria en la jerarquía de 1.5 Mbps, que se definen en las recomendaciones G - 733 y G - 734.

3) Otros trayectos estructurados en tramas.

Las facilidades ISM proporcionan un conjunto limitado de indicaciones de defecto d_1 y d_2 e indicaciones de anomalía a_1 . Además, se dispone el número de FAS con error consecutivo por segundo. Un ejemplo de este tipo de trayecto es el siguiente:

- Trayectos de segundo hasta cuarto orden en la jerarquía de 1.5 Mbps, que se definen en las recomendaciones G - 743 y G - 752.

4) Trayectos no estructurados en tramas.

Las facilidades ISM proporcionan un conjunto limitado de indicaciones de defecto d_1 y d_2 que no incluyen ninguna comprobación de error; no se dispone de control de FAS. Un ejemplo de este tipo de trayecto es el siguiente:

- Trayecto de extremo a extremo (por ejemplo para un circuito arrendado) transportado por varios trayectos de orden superior puestos en cascada.

En las Figuras II.5. y II.6. se muestran equipos capaces de efectuar la medición de BER.



Figura II.5. Analizador de BER hasta de 20 Mbps.



Figura II.6. Analizador BER de laboratorio

II.8.2.b. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.

En el Cuadro B.2. se indica el conjunto de parámetros que deben ser estimados y los criterios de medición relacionados de acuerdo con el tipo de trayecto considerado.

Tipos	Conjunto de parámetros	Criterios de medición
1	ESR	Se observa un ES cuando durante un segundo, se produce al menos una anomalía a_1 , a_2 o un defecto d_1 a d_3 .
	SESR	Se observa un SES cuando durante un segundo, se producen al menos "x" anomalías a_1 , a_2 , o un defecto d_1 a d_3 * y **.
	BBER	Se observa un BBE cuando se produce una anomalía a_1 o a_2 en un bloque que no forma parte de un SES.
2	ESR	Se observa un ES cuando durante un segundo, se produce al menos una anomalía a_1 , o un defecto d_1 a d_3 .
	SESR	Se observa un SES cuando durante un segundo, se producen al menos "x" anomalías a_1 y un defecto d_1 a d_3 *.
3	ESR	Se observa un ES cuando durante un segundo, se producen al menos una anomalía a_1 o un defecto d_1 a d_3 .
	SESR	Se observa un SES cuando durante un segundo, se observan al menos "x" anomalías a_1 o un defecto d_1 a d_2 **.
4	SESR	Se observa un SES cuando durante un segundo, se produce al menos un defecto d_1 o d_2 ***.
<p>* Si durante el intervalo de bloque se produce mas de una anomalía a_1 o a_2, debe contarse una sola anomalía.</p> <p>** Los valores de "x" figuran en el Cuadro B.3.</p> <p>*** Las estimaciones de ESR y SESR serán idénticas, pues el evento SES es un subconjunto del evento ES.</p>		

Cuadro B.2. Conjunto de parámetros y criterios de medición.

Velocidad Binaria (kbps)	1,544	2,048	44,736
Recomendación	G.704	G.704	G.752
Tipo EDC	CRC-6	CRC-4	Comprobación de paridad de bit
Bloques/segundo	333	1,000	9398
Bits/bloque	4,632	2,048	4,760
Umbral de SES utilizado en equipos desarrollados antes de la Recomendación G - 826	X=320 **	X=805 **	X=45 ó x=2,444, como se requiere en la Recomendación M.2,100.
Umbral de ISM basado en SES según la Recomendación G - 826 (30 % de bloques con error)	X=100 ***	X=300 ***	X=2,444 ****
<p>* Se reconoce que hay discrepancias entre los valores precedentes y los indicados en el cuadro B.1. Este aspecto queda en estudio.</p> <p>** Aplicable a las instalaciones conforme a la Recomendación G - 821 ó a la versión 1996 de la Recomendación G - 826 y cuando se requiere compatibilidad entre esas instalaciones.</p> <p>*** Opción preferida para nuevas instalaciones.</p> <p>**** Este valor tiene en cuenta el hecho que, aunque el 30 % de los bloques podrían contener errores, el EDC detectará un valor inferior debido a la incapacidad del código de paridad simple para detectar números pares de errores en un bloque.</p>			

Cuadro B.3. Criterios para la declaración de un evento SES en trayectos PDH.

II.8.2.c. Capacidades de supervisión en servicio y criterios para la declaración de parámetros de calidad de funcionamiento.

El Cuadro B.3. proporciona directrices sobre los criterios para la declaración de un evento SES en trayectos PDH y contiene ejemplos de los criterios “x” de SES de ISM, para formatos de señales con capacidades EDC, aplicados antes de la presente Recomendación.

Las indicaciones en servicio distantes disponibles tales como RDI o, si corresponde, REI, se utilizan en el extremo cercano para estimar el número de SES que se producen en el extremo distante.

Cuando se observan las diferencias entre las Recomendaciones UIT G - 826 y M.2100 se tendrá en cuenta que las dos recomendaciones tienen una finalidad diferente, por lo que pueden no ser compatibles en todos los aspectos. La Recomendación M.2100 es una Recomendación sobre mantenimiento que prevé también mediciones a corto plazo y se puede utilizar para indicar que se cumplen los requisitos a largo plazo de la Recomendación G - 826.

La metodología de asignación utilizada en la Recomendación G - 826 difiere de los métodos aplicados en la Recomendación M.2100. A pesar de estas diferencias, en la mayoría de los casos los requisitos de la Recomendación UIT G - 826 se satisfacen si se cumplen los objetivos de la Recomendación M.2100.

II.8.3. Anexo C.

II.8.3.a. Relación entre la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos de la jerarquía digital síncrona y los parámetros basados en bloques.

a) Conversión de las mediciones de BIP en bloques con error.

En los eventos de característica de error se describen eventos utilizados para definir parámetros de calidad de funcionamiento. A continuación se describe el método para convertir mediciones de BIP en bloques con error.

Como la presente Recomendación define un bloque como bits consecutivos asociados con un trayecto, cada BIP-n (paridad de entrelazado de bits, orden "n") de la tara del trayecto SDH pertenece a un solo bloque definido. A los efectos de este anexo, una BIP-n corresponde a un bloque UIT G - 826.

La BIP-n no se interpreta como una verificación de "n" bloques de comprobación de paridad de entrelazado separados. Si falla alguna de las verificaciones de paridad separadas, se supone que el bloque tiene errores. Se observará que BIP-2 no satisface la probabilidad de detección de errores de $\geq 90\%$.

b) Tamaño de bloque para la supervisión de trayectos SDH.

Los tamaños de bloque para la supervisión en servicio de la calidad de funcionamiento de trayectos SDH especificada en la Recomendación UIT G - 707 se indican en el Cuadro C.1.

Velocidad binaria del Trayecto SDH	Tipo de trayecto	Tamaño del bloque	Tamaño del bloque SDH Utilizado en la Recomendación G - 826	EDC
1,664 Kbps	VC-11	800 – 5,000 bits	832 bits	BIP-2
2,240 Kbps	VC-12	800 – 5,000 bits	1,120 bits	BIP-2
6,848 Kbps	VC-2	2,000 – 8,000 bits	3,424 bits	BIP-2
48,960 Kbps	VC-3	4,000 – 20,000 bits	6,120 bits	BIP-8
150,336 Kbps	VC-4	6,000 – 20,000 bits	18,792 bits	BIP-8
M x 6,848 Kbps	VC-2-mc *		3,424 bits	m x BIP-2
34,240 Kbps	VC-2-5c **	6,000 – 20,000 bits	17,120 bits	BIP-2
601,344 Kbps	VC-4-4c	15,000 – 30,000 bits	75,168 bits	BIP-8
* Se aplica a concatenación virtual				
** Se aplica a concatenación contigua.				

Cuadro C.1. Tamaños de bloque para la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos SDH.

c) Anomalías.

Las condiciones de anomalías en servicio se utilizan para determinar la característica de error de un trayecto SDH cuando el trayecto no está en un estado defectuoso. Se define la siguiente anomalía:

- a₁ un EB indicado por un EDC.

d) Defectos.

En las Recomendaciones UIT G - 707 y UIT G - 783 relativas a los equipos SDH se utilizan condiciones de defectos en servicio para determinar el cambio del estado de la calidad de funcionamiento que puede producirse en un trayecto. Los Cuadros C.2. y C.3. muestran los defectos utilizados en la Recomendación UIT G - 826.

Defectos en el extremo cercano	Tipo de trayecto
LP UNEQ	Aplicable a trayectos de orden inferior
LP TIM	
TU LOP	
TU AIS	
HP LOM *	
HP PLM	
HP UNEQ	Aplicable a trayectos de orden superior
HP TIM	
AU LOP	
AU AIS	
<p>* Este defecto no está relacionado con VC-3.</p> <p>** El defecto VC AIS no se incluye, dado que se aplica únicamente a un segmento de un trayecto.</p> <p>*** Los defectos anteriores son defectos de trayecto únicamente. Los trayectos de tramo, tales como MS AIS, RS TIM, STM LOF y STM LOS, dan lugar a un defecto AIS en las capas de trayecto.</p> <p>**** Cuando un SES en el extremo cercano está causado por un defecto en el mismo, no se incrementan los contadores de eventos de calidad de funcionamiento en el extremo distante, es decir, se supone periodo sin error. Cuando un SES en el extremo cercano es el resultado de bloques con error, la evaluación de la calidad de funcionamiento en el extremo distante continúa durante el SES en el extremo cercano. Este método no permite una evaluación fiable de los datos del extremo distante si el SES en el extremo cercano no está causado por un defecto. Cabe observar en particular que la evaluación de los eventos en el extremo distante (tales como SES o indisponibilidad) pueden ser inexactos en el caso en que los SES en el extremo distante coinciden con los SES en el extremo cercano causados por un defecto. Estas inexactitudes no pueden evitarse pero, en la práctica, son insignificantes debido a la baja probabilidad de que tal fenómeno se produzca.</p> <p>* Este defecto no está relacionado con VC-3.</p>	

Cuadro C.2. Defectos resultantes en un segundo con muchos errores (SES) en el extremo cercano.

Defecto en el extremo distante	Tipo de trayecto
LP RDI	Aplicable a trayectos de orden inferior
HP RDI	Aplicable a trayectos de orden superior

Cuadro C.3. Defectos resultantes en un segundo con muchos errores (SES) en el extremo distante.

II.8.3.b Mediciones de eventos de calidad de funcionamiento mediante cómputos globales de errores de paridad.

En esta subcláusula se ofrece orientación sobre los equipos diseñados para sumar cada violación de paridad de entrelazado de bits en el segundo completo en vez de utilizar el bloque BIP-n para detectar y contar bloques con errores como se recomienda al principio del anexo C. El siguiente texto se debe interpretar como una base para el diseño de equipos futuros.

Los cómputos globales de violaciones de la paridad de entrelazado de bits BIP, se pueden utilizar para estimar el número de bloques con errores de la Recomendación UIT G - 826.

Como una hipótesis simplificadora, se puede considerar que el cómputo global de las violaciones de paridad de entrelazado de bits en un segundo equivale aproximadamente al número de bloques con error UIT G - 826 en ese segundo. Se recomienda la siguiente relación para BIP-2 y BIP-8, aunque puede tender a sobrestimar los bloques con error en el caso de BIP-8:

$$E \approx P$$

Donde:

E = Número de bloques con error en el periodo de medición

P = Número de violaciones de paridad en el periodo de medición

II.8.3.c. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.

Para trayectos de transmisión SDH, el conjunto completo de parámetros de calidad de funcionamiento se estimará utilizando los siguientes eventos:

ES: se observa un ES cuando, durante un segundo, se produce al menos una anomalía a_1 , o un defecto de acuerdo con los Cuadros C.2 y C.3. Para el evento ES, el cómputo real de EB no es pertinente; sólo es significativo el hecho de que se ha producido un EB en un segundo.

SES: se observa un SES cuando, durante un segundo, se produce por lo menos un 30% de los EB derivados de la anomalía a_1 o de un defecto de acuerdo con los cuadros C.2 y C.3.

BBE: se observa un BBE cuando se produce una anomalía a_1 en un bloque que no forma parte de un SES.

NOTA: el umbral de bloques con error resultante en un SES se muestra en el Cuadro C.4 para cada tipo de trayecto SDH.

Tipo de trayecto	Umbral para SES (número de bloques de error por segundo)
VC-2	600
VC-12	600
VC-2	600
VC-3	2,400
VC-4	2,400
VC-2-5c	600
VC-4-4c	2,400

Cuadro C.4. Umbral para la declaración de un segundo con muchos errores.

II.8.3.d. Estimación de eventos de calidad de funcionamiento en el extremo distante de un trayecto.

Las siguientes indicaciones disponibles en el extremo cercano se utilizan para estimar los efectos de calidad de funcionamiento, que se producen en el extremo distante para el sentido inverso:

RDI y REI de trayecto de orden superior y de orden inferior (Recomendación UIT G - 707).

REI de trayecto de orden superior o de orden inferior son anomalías que se utilizan para determinar la ocurrencia de ES, BBE y SES en el extremo distante.

RDI de trayecto de orden superior o de orden inferior son defectos que estiman la ocurrencia de SES en el extremo distante.

II.8.4. Anexo D.

II.8.4.a. Relación entre supervisión de la calidad de funcionamiento de redes basadas en células y los parámetros basados en bloques.

En el Cuadro D.1. se dan los tamaños de los bloques para la supervisión de la calidad de funcionamiento en servicio de los trayectos basados en células.

Velocidad binaria de Trayecto basado en células	Tamaños de bloque	Número de células por bloque (como se define en la Recomendación I.432)	Tamaños de bloque basados en Células utilizados en la Recomendación G - 826
51 Mbps	4,000 – 20,000 bits	15	6,360 bits
155 Mbps	6,000 – 20,000 bits	27	11,448 bits
622 Mbps	15,000 – 30,000 bits	54	22,896 bits

Cuadro D.1. Tamaño de los bloques para la supervisión de la calidad de funcionamiento de los trayectos basados en células.

La función de operaciones y mantenimiento para el trayecto de transmisión es proporcionada por el diagrama de flujo que muestra la Figura II.7., como se define en la Recomendación I.610, que trata los principios generales de OAM para la RDSI-BA.

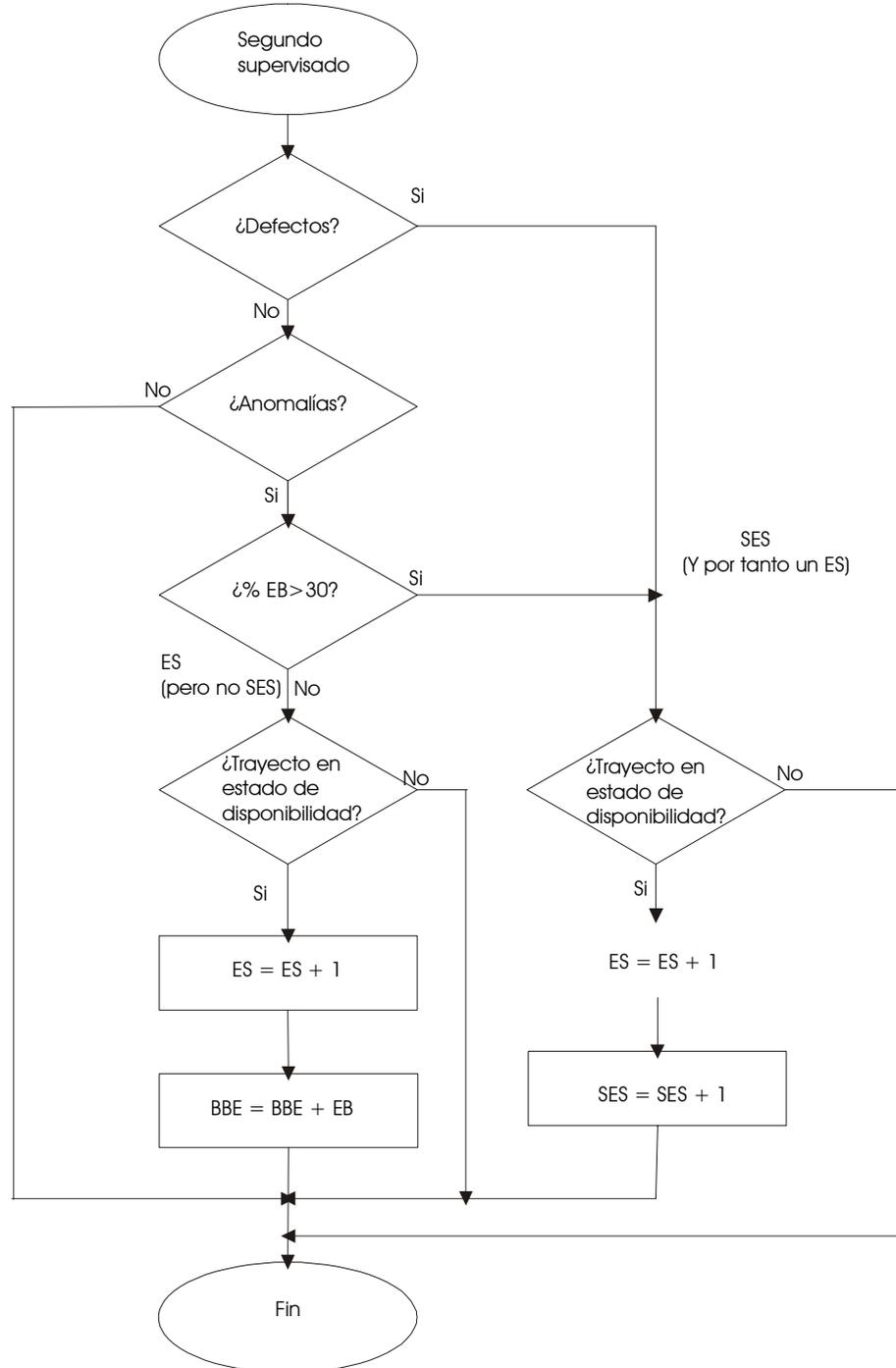


Figura II.7. Diagrama de flujo que ilustra el reconocimiento de anomalías, defectos, bloques con error, ES, SES y BBE.

El flujo de mantenimiento corresponde a las facilidades ISM y se define en la Recomendación I.432. Para el trayecto basado en células a 51 Mbps, cada célula OAM supervisa 15 células. Para los trayectos basados en células a 155 Mbps y 622 Mbps, cada célula OAM supervisa 8 bloques de 27 ó 54 células contiguas. El bloque, que se define en la presente Recomendación, corresponde a un conjunto de células contiguas controladas por un EDC BIP-8.

Para los fines de la Recomendación UIT G - 826, el BIP-8 no se interpreta como verificación de 8 bloques de comprobación de paridad de entrelazado separados. Una comprobación de paridad de entrelazado BIP-8 no puede conducir a más de un bloque con error. Dentro de una comprobación BIP-8, si falla alguna de las 8 comprobaciones de paridad separadas, se supone que el bloque global tiene errores.

a) Anomalías.

Las anomalías relacionadas con la señal entrante en un trayecto de transmisión ATM son las siguientes:

- a_1 cabida útil con error de una célula ATM o en reposo.
- a_2 encabezamiento con error o corregido de una célula en reposo o ATM.
- a_3 encabezamiento de célula con error.
- a_4 pérdida de una sola célula o error detectado por el control de errores.

Velocidad binaria aplicable	Valor de x
51,840 Mbps	14
155,520 Mbps	215
622,080 Mbps	431

Cuadro D.2. Velocidades aplicables de x.

b) Defectos.

Se definen las siguientes categorías de defectos relacionadas con la señal entrante de un trayecto de transmisión ATM:

- d_1 pérdida de dos células OAM consecutivas, de acuerdo con la Recomendación I.432.
- d_2 señal de indicación de alarma en el trayecto de transmisión TP-AIS.
- d_3 pérdida de delimitación de célula.
- d_4 pérdida de señal.

c) Tipos de trayectos.

Se identifican dos tipos de trayectos de transmisión ATM:

- Tipo 1: Trayectos que corresponden a un tren de células con un formato individual.
- Tipo 2: Trayectos que corresponden a un tren de células con estructuras SDH o PDH basadas en tramas.

El conjunto completo de los parámetros de calidad de funcionamiento y de los objetivos correspondientes de la presente Recomendación se aplica al trayecto de transmisión ATM Tipo 1.

Los parámetros de calidad de funcionamiento y los objetivos correspondientes de la presente Recomendación se aplican a los trayectos SDH o PDH subyacentes que admiten trayectos de transmisión ATM Tipo 2.

La aplicabilidad de los parámetros de calidad de funcionamiento de la presente Recomendación para trayectos de transmisión ATM tipo 2 está en estudio.

II.8.4.b. Estimación de los parámetros de calidad de funcionamiento.

Para trayectos de transmisión ATM Tipo 1, debe estimarse el siguiente conjunto completo de parámetros de calidad de funcionamiento de esta Recomendación UIT G - 826 utilizando los siguientes eventos:

- Se observa un ES cuando, durante un segundo, se produce al menos una anomalía a_1 a a_4 , o un defecto d_1 a d_4 .
- Se observa un SES cuando, durante un segundo, se produce al menos un 30% de los EB (derivados de anomalías a_1 a a_4) ó un defecto d_1 a d_4 .
- Se observa un BBE cuando se produce una anomalía a_1 a a_4 en un bloque que no forma parte de un SES.

CAPÍTULO III. ENLACE MINIPOP PALMAS – MINIPOP SANTA FE.

III.1. INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo tiene como finalidad presentar en forma detallada, un proyecto efectuado para enlazar mediante comunicación inalámbrica vía microondas con tecnología de radios digitales, un punto de presencia de la compañía Alestra S.A de C.V., denominado miniPOP Santa Fe (Torre Giralta), ubicado en la carretera Federal México – Toluca, kilómetro 25 en la Delegación Cuajimalpa; con otro punto de presencia de la misma empresa denominado miniPOP Palmas, localizado en Av. Palmas No. 739 en la Delegación Miguel Hidalgo, México, D.F.; cabe mencionar que ambos puntos de presencia de Alestra S.A de C.V. se encuentran instalados y en funcionamiento en las azoteas de dos edificios ubicados donde se mencionó anteriormente.

Además de presentar los datos obtenidos después de visitar ambos sitios y efectuar los levantamientos de planos, fotografías, diagramas, estudio de línea de vista; se incluyen los cálculos completos del enlace de forma clara y precisa, con la finalidad de tomar las decisiones concernientes al diámetro de las antenas para el caso concreto de este proyecto.

Otras consideraciones importantes derivadas de los cálculos del enlace son, por ejemplo, el perfil de la trayectoria, en donde queda asentado que el enlace es viable y no está obstruido por algún árbol o edificio; sin duda otra consideración importante para cualquier enlace inalámbrico de este tipo, es la disponibilidad del enlace. Para que este parámetro sea aceptado por la normatividad nacional e internacional debe ser del orden del 99.9 % anual en ambos sentidos; las pérdidas por multitrectorias quedan descartadas para el presente enlace de microondas, ya que la trayectoria del mismo no atraviesa mantos acuíferos importantes como por ejemplo, lagos, ríos u océanos.

A continuación se muestran los planos de ubicación para ambos sitios, así como la carta topográfica del enlace:

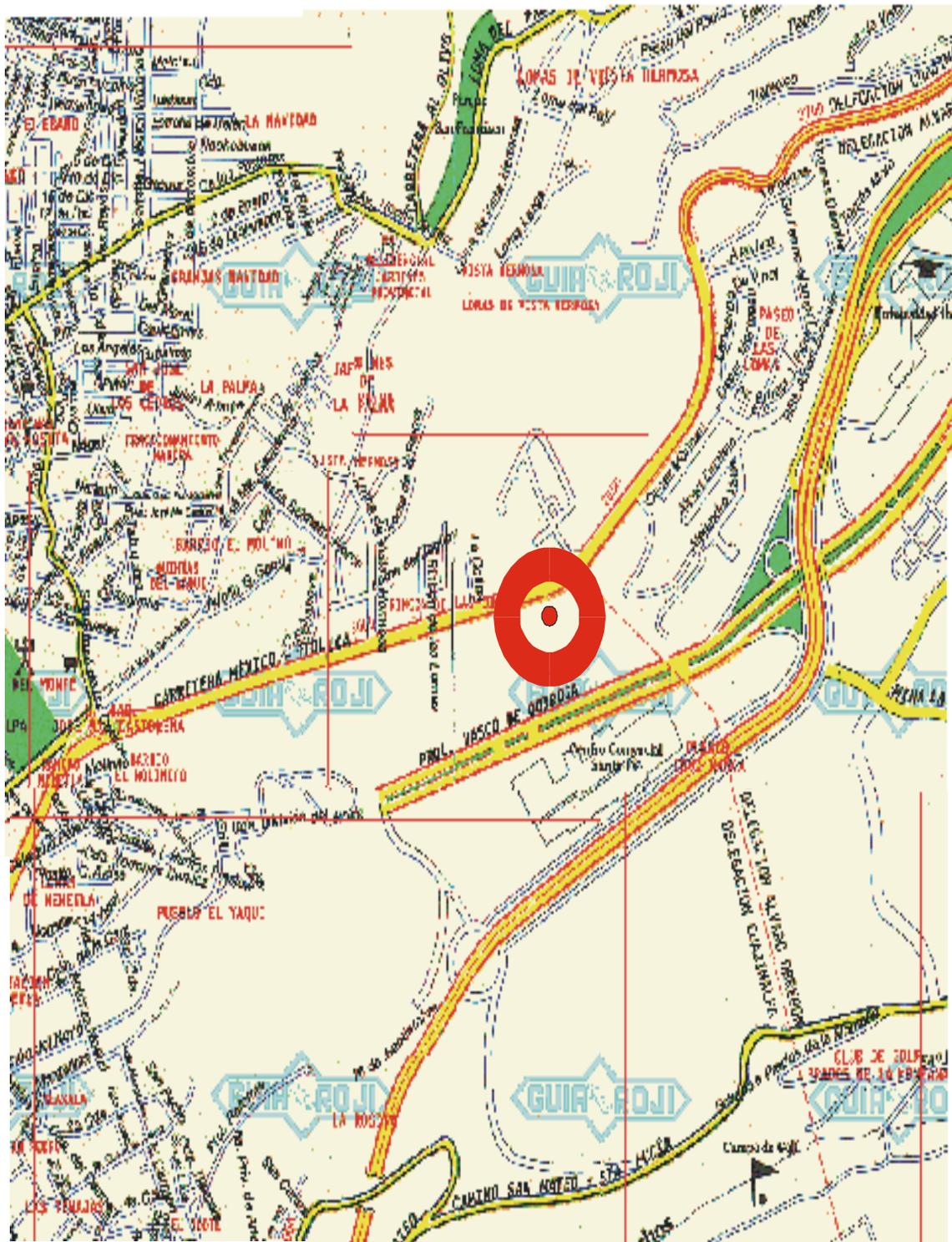


Figura III.1. Localización miniPOP Santa Fe.

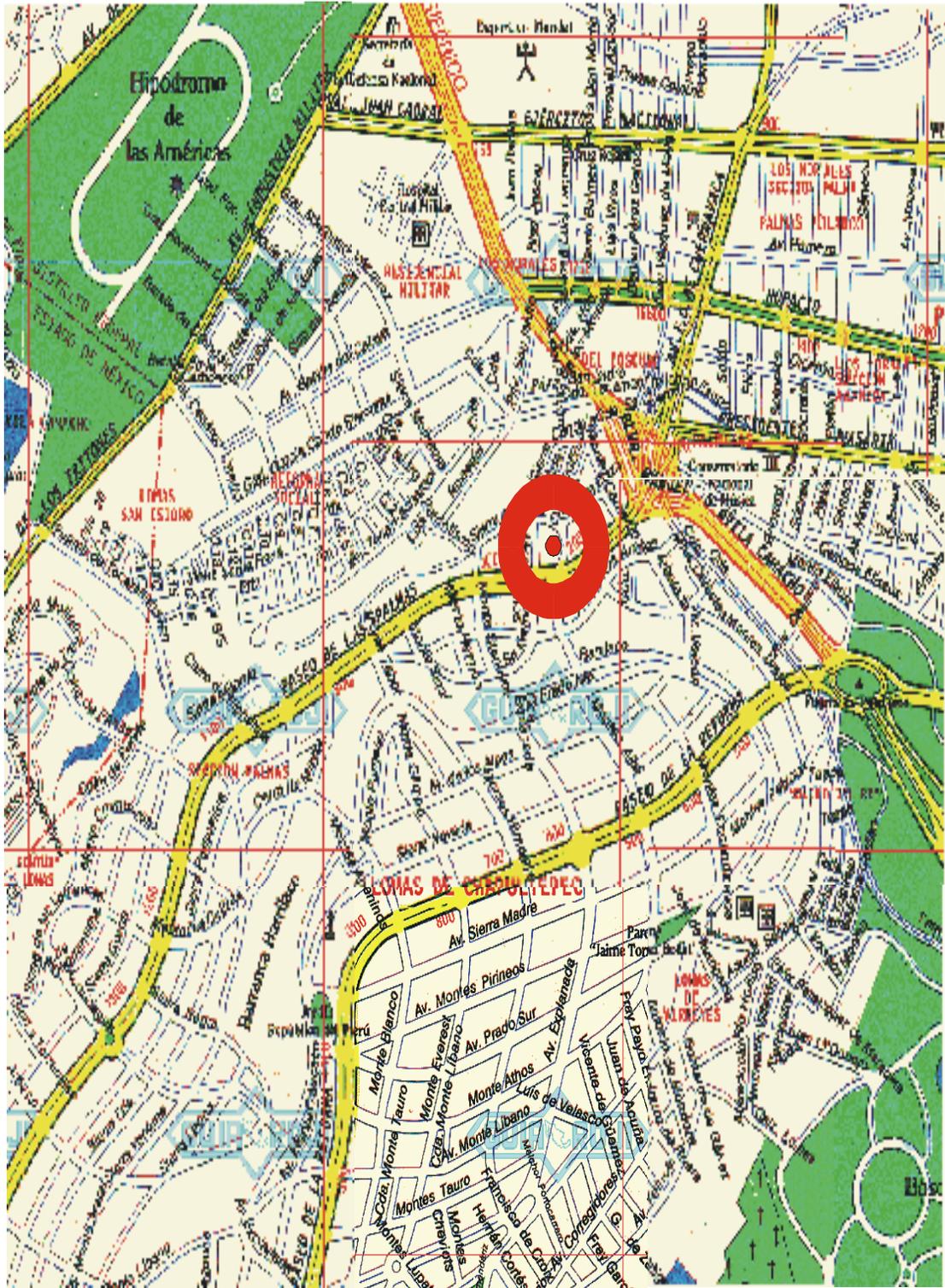


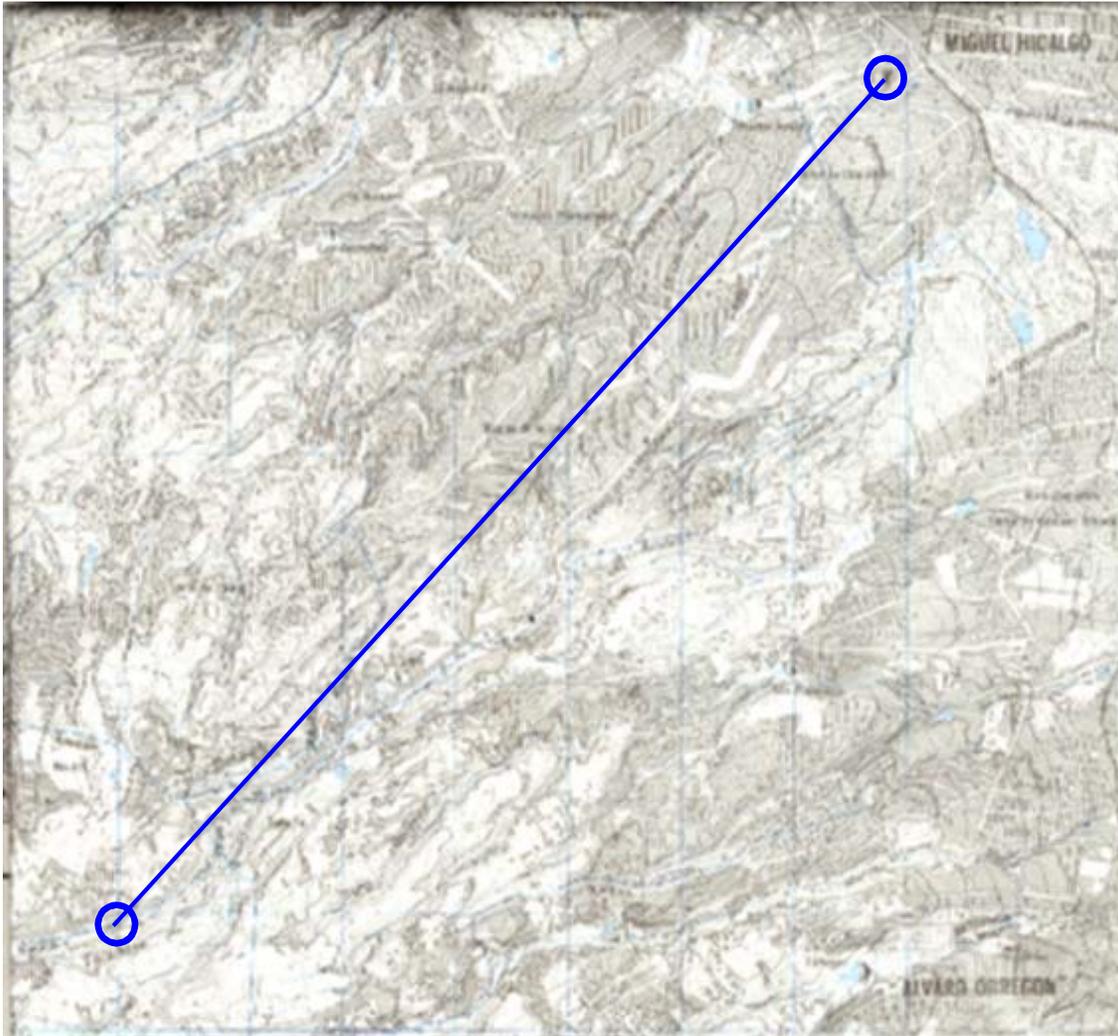
Figura III.2. Localización miniPOP Palmas.

miniPOP Palmas

Latitud: $19^{\circ} 25' 46.61''$

Longitud: $99^{\circ} 12' 39.74''$

Azimut: 223.01°



Escala: 1:50 000

miniPOP Santa Fe

Latitud: $19^{\circ} 21' 48.49''$

Longitud: $99^{\circ} 16' 33.69''$

Azimut: 42.98°

Figura III.3. Carta topográfica del enlace.

Anteriormente el miniPOP Palmas contaba con 2 troncales hacía el miniPOP Santa Fe, con una capacidad total de 32 E1's, sin embargo la constante demanda ha ocasionado que éstas dos troncales se saturen, razón por la cual se planeó instalar un equipo adicional con capacidad máxima de 63 E1's, operación en la banda de 11 GHz y un ancho de banda de 40 MHz.

III.2. DESARROLLO DEL PROYECTO.

Como primer paso para la implementación del citado enlace, se realizó un estudio de línea de vista, con apoyo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Nota: el Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global, aunque se le suele conocer más con las siglas GPS su nombre más correcto es NAVSTAR GPS es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo terráqueo a 20,200 kilómetros con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición; conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites y conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en

el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa.

Actualmente la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado “Galileo”.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

	MiniPOP Palmas	MiniPOP Santa Fe
Latitud	19° 25' 46.61”	19° 21' 48.49”
Longitud	99° 12' 39.74”	99° 16' 33.69”
Azimuth	223.01°	42.98°
ASNM	2282 m	2661.5 m
Distancia del enlace	10.01 km	
Altura del edificio	87.5 m	68 m
Altura de la torre o mástil	7 m	3 m
Altura total de antena sobre piso	93.8 m	70.5 m
Ubicación de cuarto de equipos	Azotea	Azotea
Longitud de Guías de onda	70 m	30 m
Tipo de guía de onda	EW90 mas flex de .60 m	EW90 mas flex de .60 m
Soporte para antena	1 m de alto y 3.5” de diámetro	No aplica
Torre o mástil	Existente	3 m de alto y 3.5” de diámetro

Tabla III.1. Resultados del estudio con GPS.

Los datos obtenidos mediante el equipo GPS fueron de gran utilidad para efectuar, como se indicó en el capítulo I, donde el perfil de la trayectoria, la distancia del enlace, determinan las antenas adecuadas para cubrir el aspecto de la disponibilidad sin descuidar los aspectos físicos, económicos y estéticos.

El estudio GPS es también útil para establecer aspectos importantes a la hora de efectuar la alineación de las antenas, ya que para que ésta labor sea exitosa, deben conocerse algunos parámetros esenciales: el azimut y la elevación sobre el nivel del mar de ambas antenas así como la altura de ambos edificios. El azimut resulta útil para dirigir la antena hacia la posición indicada, la elevación sobre el nivel del mar de ambas antenas para dirigirla hacia arriba o hacia abajo con respecto a la antena del sitio que se esté orientando.

En el segundo paso consistió en verificar la existencia de lugares disponibles para equipos de radio y antenas, asignando a cada uno de ellos, la ubicación mas adecuada en ambos lados del enlace, tomando en cuenta las limitantes de espacio.

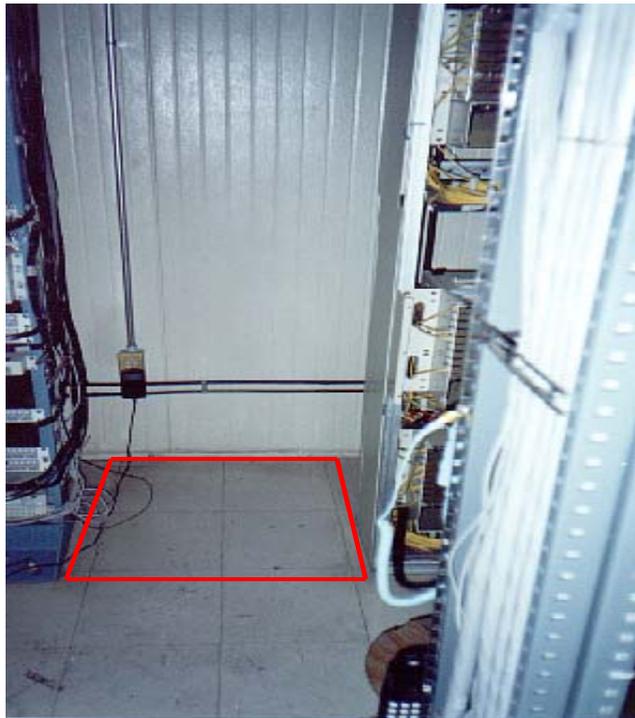


Figura III.4. Lugar disponible para equipo de radio en miniPOP Palmas.

El lugar disponible para el equipo de radio en miniPOP Palmas se encuentra cerca de la pared, frente a un radio Alcatel y junto a un rack de radios Harris Microstar. Aunque en miniPOP Palmas se encuentran instalados una gran cantidad de equipos, el equipo de radio quedó instalado en un lugar apropiado.

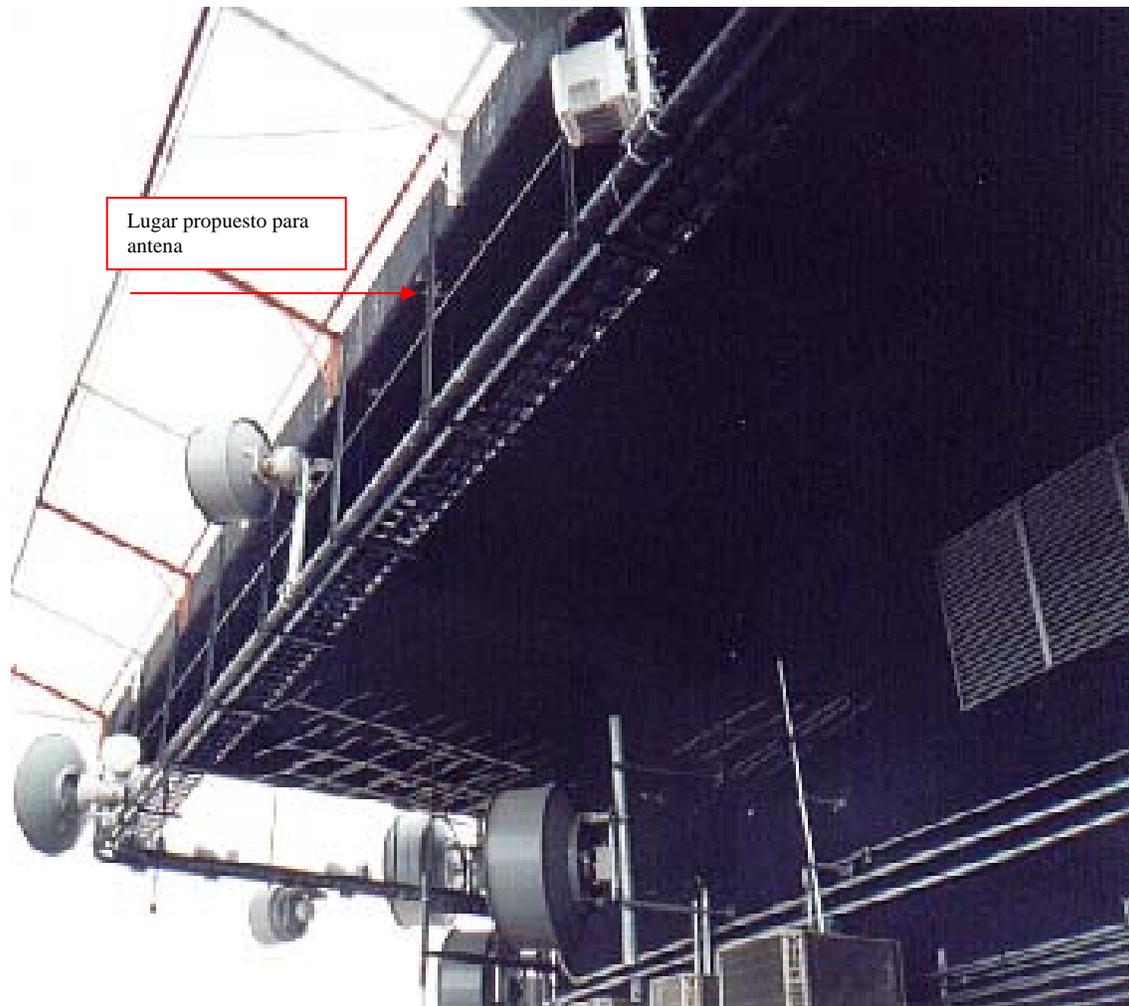


Figura III.5. Lugar disponible para mástil y antena en mini POP Palmas.

La antena en miniPOP Palmas quedó ubicada entre dos antenas Andrew de 0.6 metros de diámetro y que operan en la banda de 11 GHz. Debido a que la antena opera en la banda de 11 GHz, no existirá interferencia alguna con las antenas ya instaladas.

En la página siguiente se muestra la ubicación disponible para el equipo de radio en miniPOP Santa Fe; ésta se encuentra cerca de la puerta de acceso y frente a racks de radios Harris e Inova. Cabe destacar que en este miniPOP se disponía de gran espacio, debido a que se encuentran pocos equipos instalados en comparación con miniPOP Palmas.

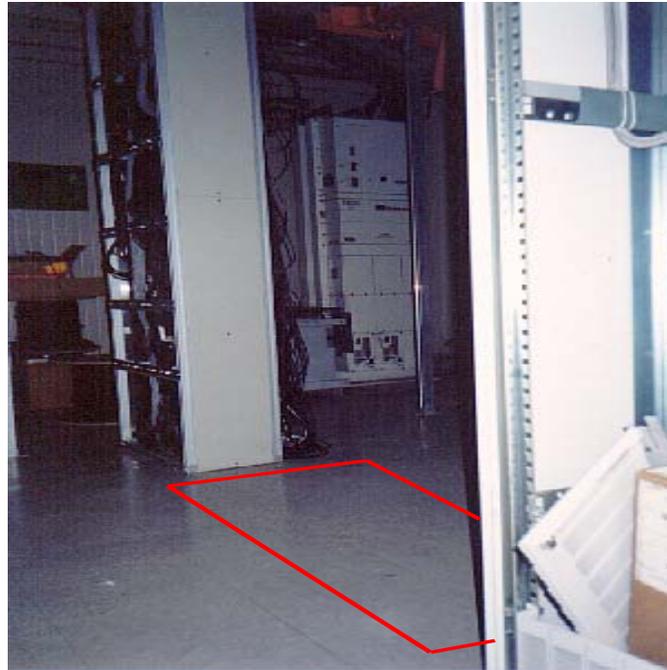


Figura III.6. Lugar disponible para equipo de radio miniPOP Santa Fe.



Figura III.7. Lugar disponible para la antena en miniPOP Santa Fe.

El lugar para ubicar la antena en el miniPOP Santa Fe se encuentra en la azotea del edificio de miniPOP. Debido a que no se encuentran muchas antenas instaladas la mencionada azotea, la antena de este enlace particular gozó de gran espacio, siendo la única limitante para su ubicación e instalación, la correcta orientación de la misma.

El tercer paso, consistió en procesar la información obtenida con el GPS en una computadora personal (PC) por medio del software de aplicación “Pathloss”, obteniéndose lo siguiente:

Información del Terreno.

miniPOP Palmas				miniPOP Santa Fe			
Latitud	019 25 46.61 N			019 21 48.49 N			
Longitud	099 12 39.74 W			099 16 33.69 W			
Azimut	223.01			42.98			
Distancia (km)				10.01			
Sistema de Coordinadas	NAD27 - Clarke 1866						
Zona UTM	14			14			
Easting	477.845			471.012			
Northing	2148.250			2140.941			
Elevación (m)	2282.0			2661.5			
Altura de Antena (m)	6.3			2.5			
Frecuencia (MHz)	11000.00						
Polarización	Vertical						
Dist (km)	Elev (m)	Estr (m)	Suelo	Dist (km)	Elev (m)	Estr (m)	Suelo
0.00	2282.0	88 E	TP	6.00	2436.0	A (rf)	TP
0.20	2279.3	20 E (ri)	TP	6.05	2440.0		TP
0.30	2278.0		TP	6.10	2450.0	15 E (ri)	TP
0.35	2280.0	0 A	TP	6.15	2460.0		TP
0.45	2290.0		TP	6.25	2460.0		TP
0.60	2300.0		TP	6.45	2450.0		TP
0.70	2310.0		TP	6.55	2460.0		TP
1.10	2320.0		TP	6.80	2468.3	E (rf)	TP
1.20	2310.0		TP	6.85	2470.0		TP
1.35	2320.0		TP	6.96	2450.0		TP
1.50	2330.0		TP	7.00	2456.3	15 A (ri)	TP
1.65	2340.0		TP	7.15	2480.0		TP
2.00	2347.8	E (rf)	TP	7.20	2490.0		TP
2.10	2350.0		TP	7.30	2500.0		TP
2.35	2350.0		TP	7.40	2500.0		TP
2.40	2350.0		TP	7.42	2510.0		TP
2.45	2360.0		TP	7.45	2510.0		TP
2.55	2370.0		TP	7.52	2510.0		TP
2.60	2372.5	20 A (ri)	TP	7.75	2510.0		TP
2.75	2380.0		TP	8.40	2550.0		TP
2.95	2380.0		TP	8.80	2600.0		TP
3.05	2360.0		TP	8.95	2600.0		TP
3.06	2350.0		TP	9.00	2610.0		TP
3.25	2350.0		TP	9.03	2620.0		TP

3.35	2360.0	TP	9.35	2630.0		TP
3.95	2360.0	TP	9.55	2640.0		TP
4.65	2400.0	TP	9.70	2640.0		TP
5.25	2390.0	TP	9.80	2650.0	A (rf)	TP
5.45	2400.0	TP	9.95	2660.0		TP
5.60	2410.0	TP	10.01	2661.5	68 E	TP
5.80	2420.0	TP				

Elevación del Suelo - SNM, Altura de Antena y Estructura SNP

Tipo de Terreno

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

Tipo de Estructura

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

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

Información de Libramiento.

	miniPOP Palmas	miniPOP Santa Fe
Latitud	019 25 46.61 N	019 21 48.49 N
Longitud	099 12 39.74 W	099 16 33.69 W
Elevación (m)	2282.0	2661.5
Distancia (km)		10.01
Frecuencia (MHz)		11000.00
Tolerancia de Libramiento (m)		10.0

MiniPOP Palmas Altura de Antena (m)	93.8
MiniPOP Santa Fe Altura de Antena (m)	70.5

Criterio de Libramiento - Principal

Primer Criterio - K	1.33
Primer Criterio - %F1	100.00
Segundo Criterio - K	0.66
Segundo Criterio - %F1	60.00

Dist (km) Elev (m) Estr (m) Libr (m) K (m) %F1 (m) AA (m) Crit

Orientación de Antenas.

miniPOP Palmas miniPOP Santa Fe

Latitud	019 25 46.61 N	019 21 48.49 N
Longitud	099 12 39.74 W	099 16 33.69 W
Azimut	223.01	42.98
Elevación (m)	2282.0	2661.5
Altura de Antena (m)	93.8	70.5
Altura Máxima de Antena (m)		
Distancia (km)		10.01
Frecuencia (MHz)		11000.00
Orientación K de Antena		1.33
Ángulo de Elevación (gr)	2.00	-2.07
Error en K = 2/3 (gr)	0.03	0.03
Error en K = 1 (gr)	0.01	0.01
Error en K = 100 (gr)	-0.03	-0.03

Tabla de Cálculo con Antenas de 1.2 m.

	MiniPOP Palmas	MiniPOP Santa Fe
Elevación (m)	2282.00	2661.50
Latitud	019 25 46.61 N	019 21 48.49 N
Longitud	099 12 39.74 W	099 16 33.69 W
Azimut	223.01	42.98
Tipo de Antena	VHP4-107	VHP4-107
Altura de Antena (m)	93.80	70.50
Ganancia de Antena (dBi)	40.50	40.50
Tipo de Línea de TX	EW90	EW90
Longitud de Línea de TX (m)	70.00	30.00
Pérdida en Línea de TX (dB/100 m)	10.31	10.31
Pérdida en Línea de TX (dB)	7.22	3.09
Pérdida en Conectores (dB)	1.00	1.00
Pérdida en Circulador (dB)	3.50	3.50
Frecuencia (MHz)	11000.00	
Polarización		Vertical
Longitud de la Trayectoria (km)		10.01
Pérdida de Espacio Libre (dBi)		133.30
Margen de Campo (dB)		1.00
Pérdida de Absorción Atmosférica (dB)		0.15
Pérdida Neta en Trayectoria (dB)		72.77
Modelo del Equipo	MegaStar 11, SDH	MegaStar 11, SDH
Emisión Designator	40MOD7W	40MOD7W
Cometido de Frecuencia TX (MHz)	11000	11000

Potencia de Transmisión (w)	0.34	0.34
Potencia de Transmisión (dBm)	25.30	25.30
Potencia Efectiva Radiada (dBm)	54.08	58.21
Criterio de Umbral de Recepción	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Nivel de Umbral (dBm)	-64.50	-64.50
Nivel de Señal RX Máximo (dBm)	-17.00	-17.00
Nivel de Señal RX (dBm)	-47.47	-47.47
Margen de Desv. - Térmico (dB)	17.03	17.03
Factor Climático	2.00	
Rugosidad del Terreno (m)	6.10	
Factor C	6.58	
Temperatura Anual Promedio (gr C)	22.00	
Tipo de Diversidad	No Protegido	
Peor Mes - un sentido (seg)	2266.32	2266.32
Peor Mes - un sentido (%)	99.913762	99.913762
Anual - un sentido (seg)	9736.13	9736.13
Anual - un sentido (%)	99.969127	99.969127
Anual - dos sentidos (%-seg)	99.938254 - 19472.26	
Región Precipitación	CCIR Region N	
Intensidad de Lluvia 0.01% (mm/hr)	95.00	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	105.58	
Atenuación por Lluvia (dB)	17.03	
Anual Lluvia (%-seg)	99.992466 - 2376.03	
Anual Total (%-seg)	99.930720 - 21848.29	

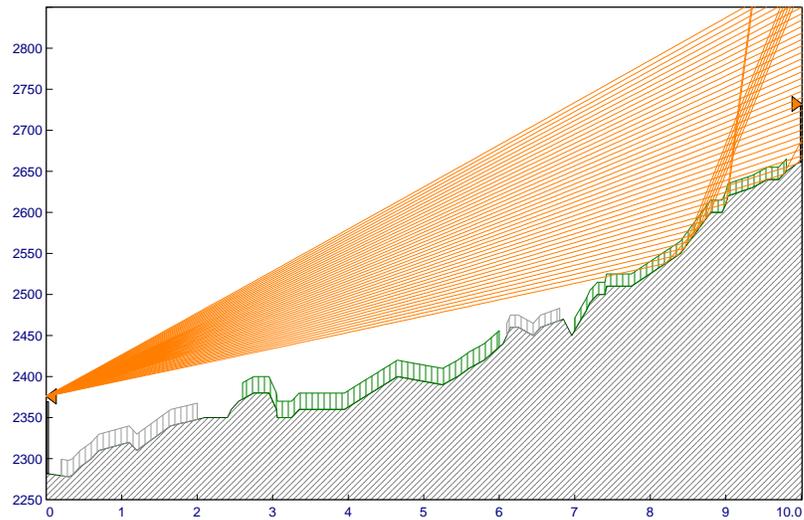
Tabla de Cálculo con Antena de 1.8 m.

	miniPOP Palmas	miniPOP Santa Fe
Elevación (m)	2282.00	2661.50
Latitud	019 25 46.61 N	019 21 48.49 N
Longitud	099 12 39.74 W	099 16 33.69 W
Azimut	223.01	42.98
Tipo de Antena	VHP4-107	VHP6-107
Altura de Antena (m)	93.80	70.50
Ganancia de Antena (dBi)	40.50	43.60
Tipo de Línea de TX	EW90	EW90
Longitud de Línea de TX (m)	70.00	30.00
Pérdida en Línea de TX (dB/100 m)	10.31	10.31
Pérdida en Línea de TX (dB)	7.22	3.09
Pérdida en Conectores (dB)	1.00	1.00

Pérdida en Circulador (dB)	3.50	3.50
Frecuencia (MHz)	11000.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la Trayectoria (km)	10.01	
Pérdida de Espacio Libre (dBi)	133.30	
Margen de Campo (dB)	1.00	
Pérdida de Absorción Atmosférica (dB)	0.15	
Pérdida Neta en Trayectoria (dB)	69.67	69.67
Modelo del Equipo	MegaStar 11, SDH	MegaStar 11, SDH
Emisión Designator	40MOD7W	40MOD7W
Cometido de Frecuencia TX (MHz)	11000	11000
Potencia de Transmisión (w)	0.34	0.34
Potencia de Transmisión (dBm)	25.30	25.30
Potencia Efectiva Radiada (dBm)	54.08	61.31
Criterio de Umbral de Recepción	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Nivel de Umbral (dBm)	-64.50	-64.50
Nivel de Señal RX Máximo (dBm)	-17.00	-17.00
Nivel de Señal RX (dBm)	-44.37	-44.37
Margen de Desv. - Térmico (dB)	20.13	20.13
Factor Climático	2.00	
Rugosidad del Terreno (m)	6.10	
Factor C	6.58	
Temperatura Anual Promedio (gr C)	22.00	
Tipo de Diversidad	No Protegido	
Peor Mes - un sentido (seg)	1110.00	1110.00
Peor Mes - un sentido (%)	99.957763	99.957763
Anual - un sentido (seg)	4768.55	4768.55
Anual - un sentido (%)	99.984879	99.984879
Anual - dos sentidos (%-seg)	99.969758 - 9537.10	
Región Precipitación	CCIR Region N	
Intensidad de Lluvia 0.01% (mm/hr)	95.00	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	123.21	
Atenuación por Lluvia (dB)	20.13	
Anual Lluvia (%-seg)	99.995298 - 1482.77	
Anual Total (%-seg)	99.965056 - 11019.87	

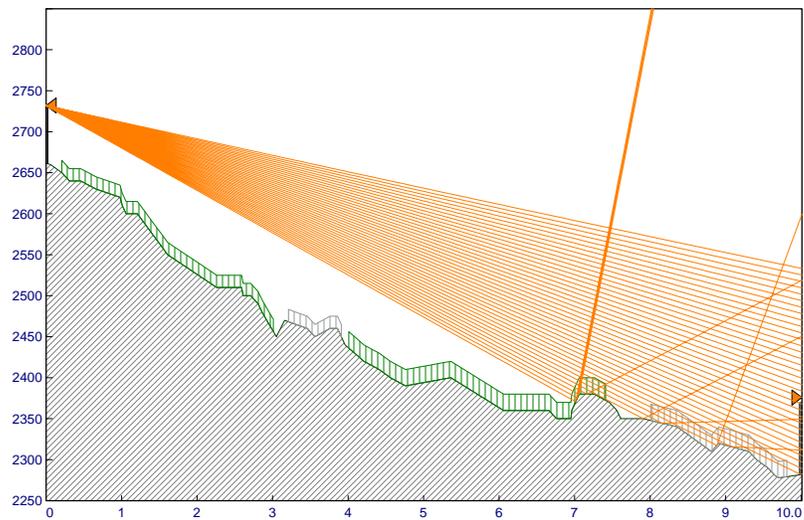
Multitrayectorias.

A continuación se muestra gráficamente el análisis de multitrayectorias, las cuales resultaron despreciables para el presente enlace, debido a que no existe presencia de agua.



miniPOP Palmas a miniPOP Santa Fe.

Método	Gradiente Variable
Número de rayos	20
Total mostrar Angulo	1.8°
Orientación K de antena	1.33
Altura de antena en MiniPOP Palmas	6.3 m
Altura de antena en MiniPOP Santa Fe	2.5 m

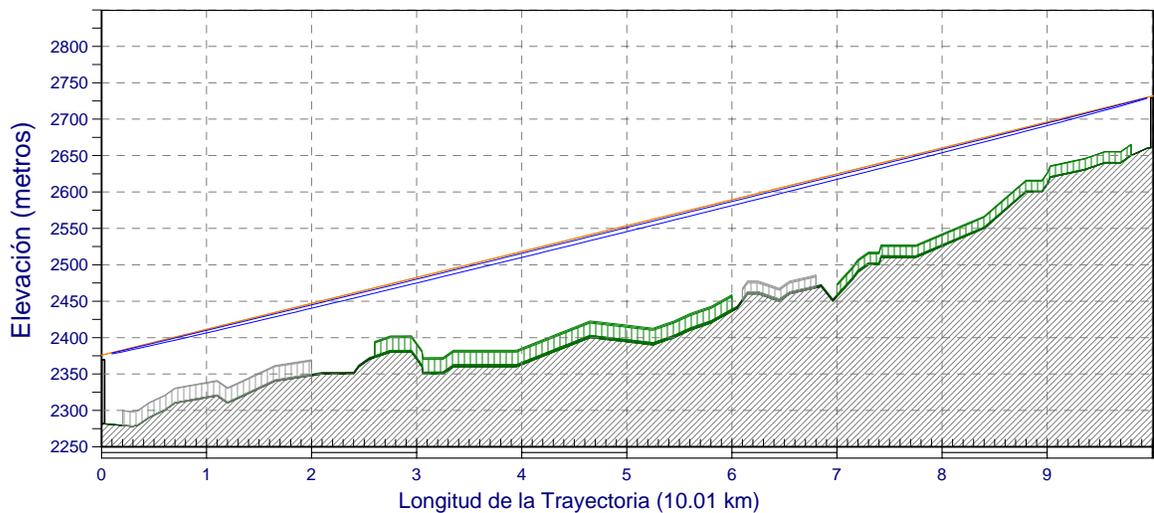


miniPOP Santa Fe a miniPOP Palmas.

Método	Gradiente Variable
Número de rayos	20
Total mostrar Angulo	1.8°
Orientación K de antena	1.33
Altura de antena en MiniPOP Santa Fe	2.5 m
Altura de antena en MiniPOP Palmas	6.3 m

Perfil de la Trayectoria.

Se muestra gráficamente el perfil de la trayectoria, útil para determinar obstrucciones.



MiniPOP Palmas	
Latitud	019 25 46.61 N
Longitud	099 12 39.74 W
Azimut	223.01 gr
Elevación	2282 m ASNM
Altura de Antenas	93.8 m ASNP

Frecuencia = 11000.0 MHz
K = 1.33, 0.66
%F1 = 100.00, 30.00

MiniPOP Santa Fe	
Latitud	019 21 48.49 N
Longitud	099 16 33.69 W
Azimut	42.98 gr
Elevación	2662 m ASNM
Altura de Antenas	70.5 m ASNP

Disitem Telecomunicaciones S.A. de C.V.

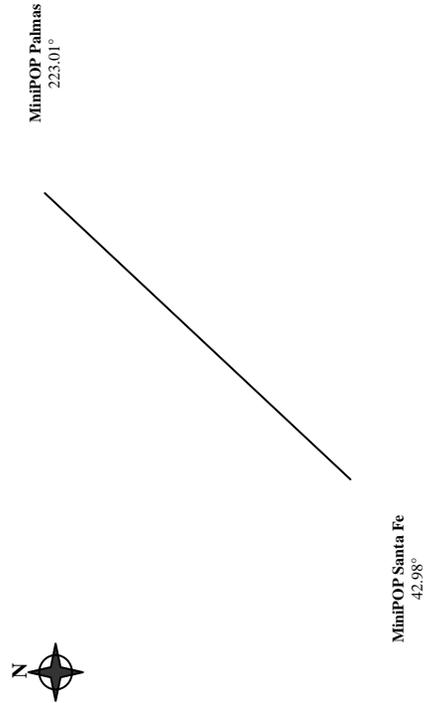
MegaStar 155, 1+1, 63 E1 Servicios Alestra	Date 06-13-100	By ass
	palm-gir.pl3	

Poligonal del Enlace.

Nombre de la estación	Tipo de estación	Domicilio de la estación	Altura del lugar asnm (m)		Altura Antena (m)		Tipo de guía de onda	Longitud de guía de onda (m)	Distancia entre estaciones (km)	Coordenadas del lugar	
			Mástil (m)	Antena (m)	Latitud	Longitud					
Minipop Palmas	Troncalero	Paseo de las Palmas 275 Col. Lomas de Chapultepec México, D.F.	2282	7	6.3	EW 90	70	10.01	19° 25' 46.61"	99° 12' 39.74"	
Minipop Santa Fe	Troncalero	Carretera México-Toluca 5238 Col. Gralta Cuajimalpa, D.F.	2661.5	3	2.5	EW 90	30		19° 21' 48.49"	99° 16' 33.69"	

Razón Social	
Clase de emisión	40M0D7W
Tasa de transmisión	155 .52 mbps
Tipo de modulación	128 QAM
Ancho de banda de RF	40 MHz
Potencia nominal de Tx	28 dBm
Rango de frecuencia	10 700 – 11 700 GHz
Separación de canal	40 MHz
Separación entre Tx y Rx	530 MHz
Horario de operación	24 horas

Modelo de antena	Sistema Radiante			Azimuth		Perdida en guía de onda (dB)	Potencia radiada aparente dBm	Capacidad de canales	
	Polarización	Ganancia (dB)	Angulo de apertura	Anterior	Posterior			Total	Instalada
VHP4 - 107	Vertical	40.5	1.8°	223.01°	42.98°	7.22	54.08	255.86	63 E1
VHP4 - 107	Vertical	40.5	1.8°	42.98°	223.01°	3.09	61.31	1352.07	63 E1



Equipo	Marca	Harris
	Tipo	Radio Digital
	Modelo	MegaStar
	NF	4.5 dB
	Umbral de recepción	- 64.5 dB
Homologación SCT	MOSHAME97-044 (Provisional)	

En la tabla de cálculo para antenas de 1.2 metros de diámetro en cada sitio, mostrada en la página 73, los resultados arrojan datos que dan a conocer una disponibilidad de 99.93% anual en ambos sentidos. En caso de usar una antena de 1.8 metros de diámetro en Santa Fe, para lo cual se requería efectuar una maniobra extra para subir una antena de 1.8 metros de diámetro a la azotea de torre Giralta, ya que los elevadores de servicio no tienen dimensiones para subir una antena mayor a 1.2 metros de diámetro y la disponibilidad obtenida era de 99.96 %. Para el caso de Palmas no era posible instalar tampoco una antena de 1.8 metros de diámetro, debido a que existe un helipuerto cerca del área destinada para las antenas y la legislación existente para tal efecto establece que consideraría una antena con un diámetro mayor a 1.2 metros una obstrucción al helipuerto.

El quinto paso consistió en seleccionar el equipo, el cual fue Harris MegaStar 155 con capacidad de 155 megabits por segundo (63 E1's), con operación en la banda de 11 gigahertz.

Para ello la empresa Harris Corporation, en base a un contrato de exclusividad con la empresa Alestra S.A. de C.V. para proveerle equipos en sus instalaciones, le presenta el siguiente equipo: Harris MegaStar 155 SDH en la banda de 11 GHz, con capacidad de 63 E1's y ancho de banda de 40 MHz. El equipo anteriormente descrito cumplía con los requerimientos y especificaciones necesarios para el enlace, además de los costos. El presupuesto de los equipos de radio, antenas, líneas de transmisión e instalación se desglosa de la siguiente manera:

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
2	Harris MegaStar 63 E1's	USD \$ 75,000.00	USD \$ 150,000.00
2	Antenas Andrew VHP4-7	USD \$ 4,000.00	USD \$ 8,000.00
100	Metros coaxial RG-8	USD \$ 3.00	USD \$ 300.00
1	Instalación	USD \$ 25,000.00	USD \$ 25,000.00
			Total: USD \$ 183,300.00

Tabla III.2. Costo del proyecto.

En el sexto paso se procedió a la instalación de los equipos de radio en ambos lados del enlace, así como a la instalación de las antenas, líneas de transmisión y cables de banda base. En las siguientes páginas se muestran los diagramas de la instalación.

Fotografías miniPOP Palmas.



Figura III.8. Fachada miniPOP Palmas.



Figura III.9. Línea de vista hacia mini POP Santa Fe.

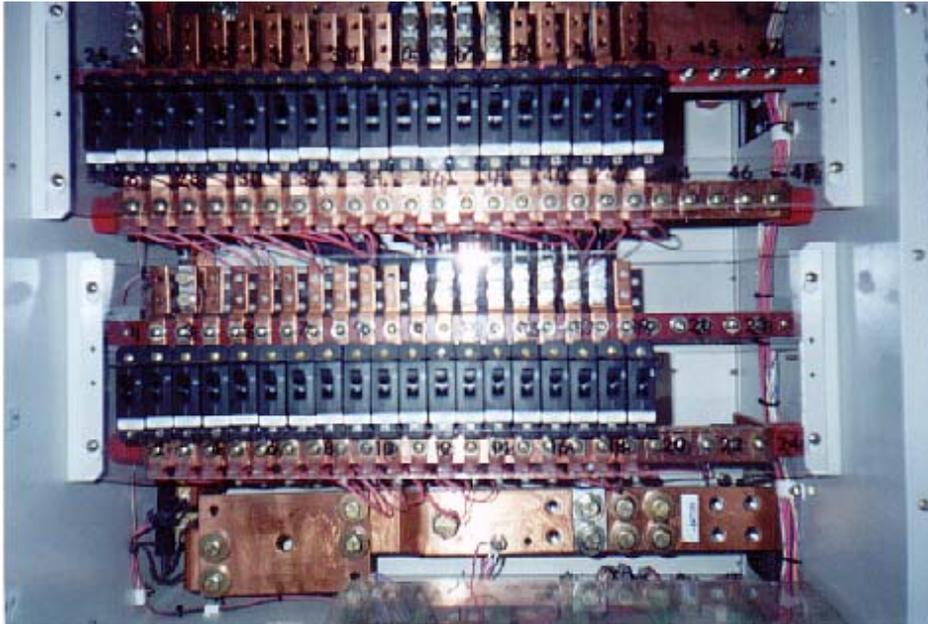


Figura III.10. Equipo rectificador en miniPOP Santa Fe.

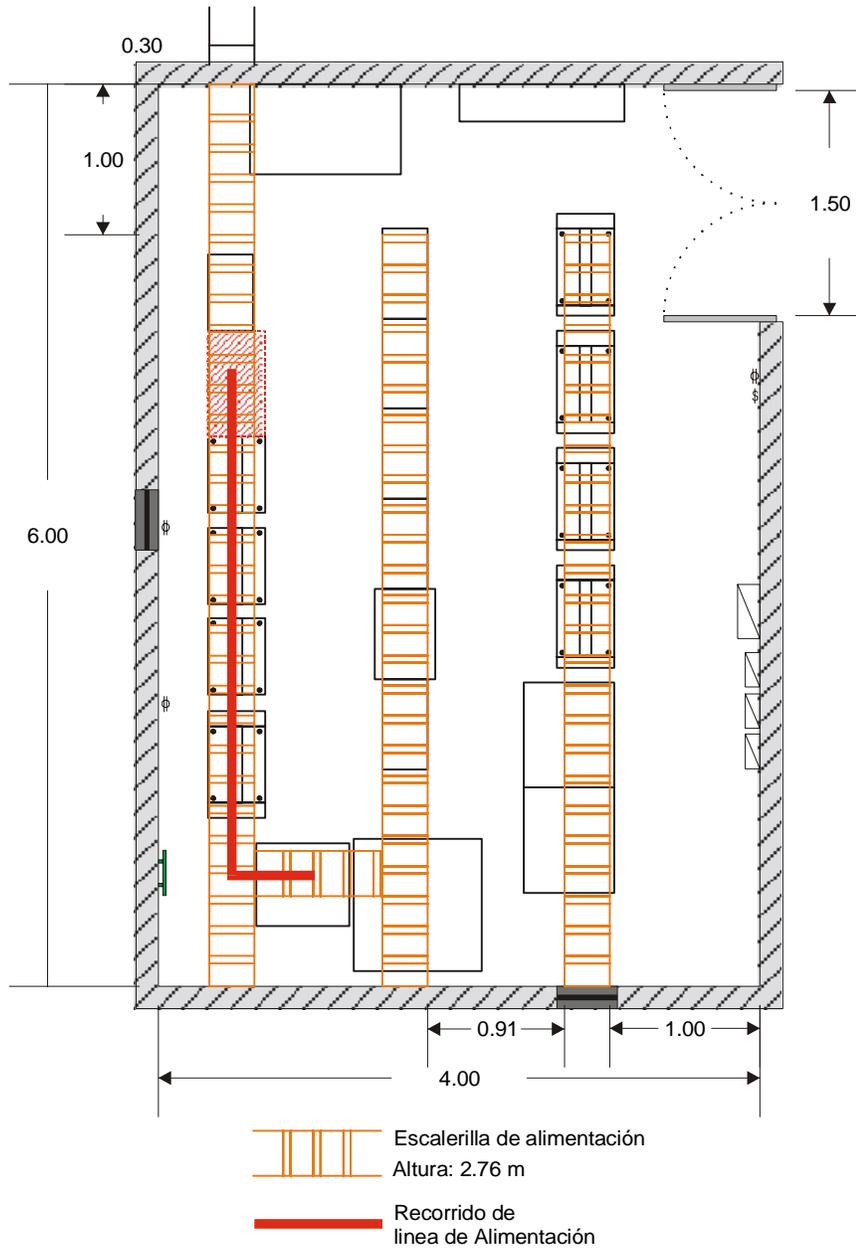


Figura III.11. Trayecto cable de alimentación mini POP Palmas.

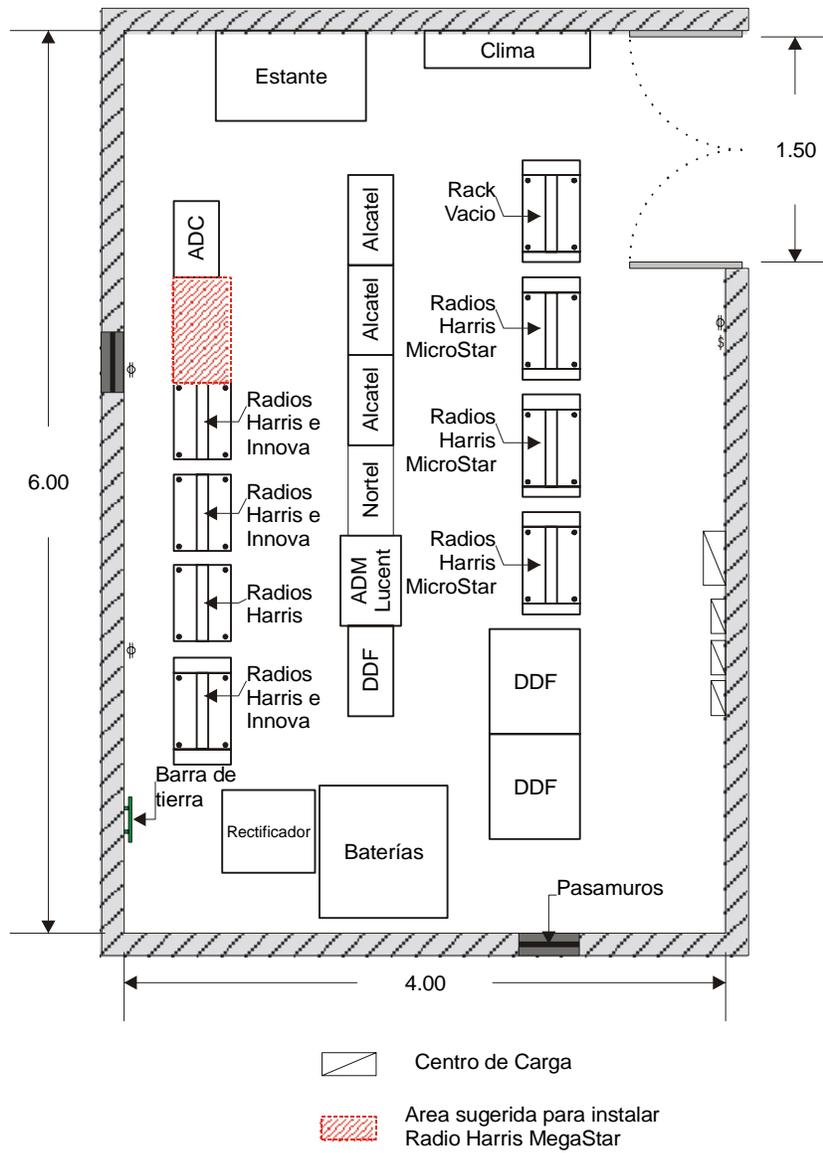


Figura III.12. Sala de equipos mini POP Palmas.

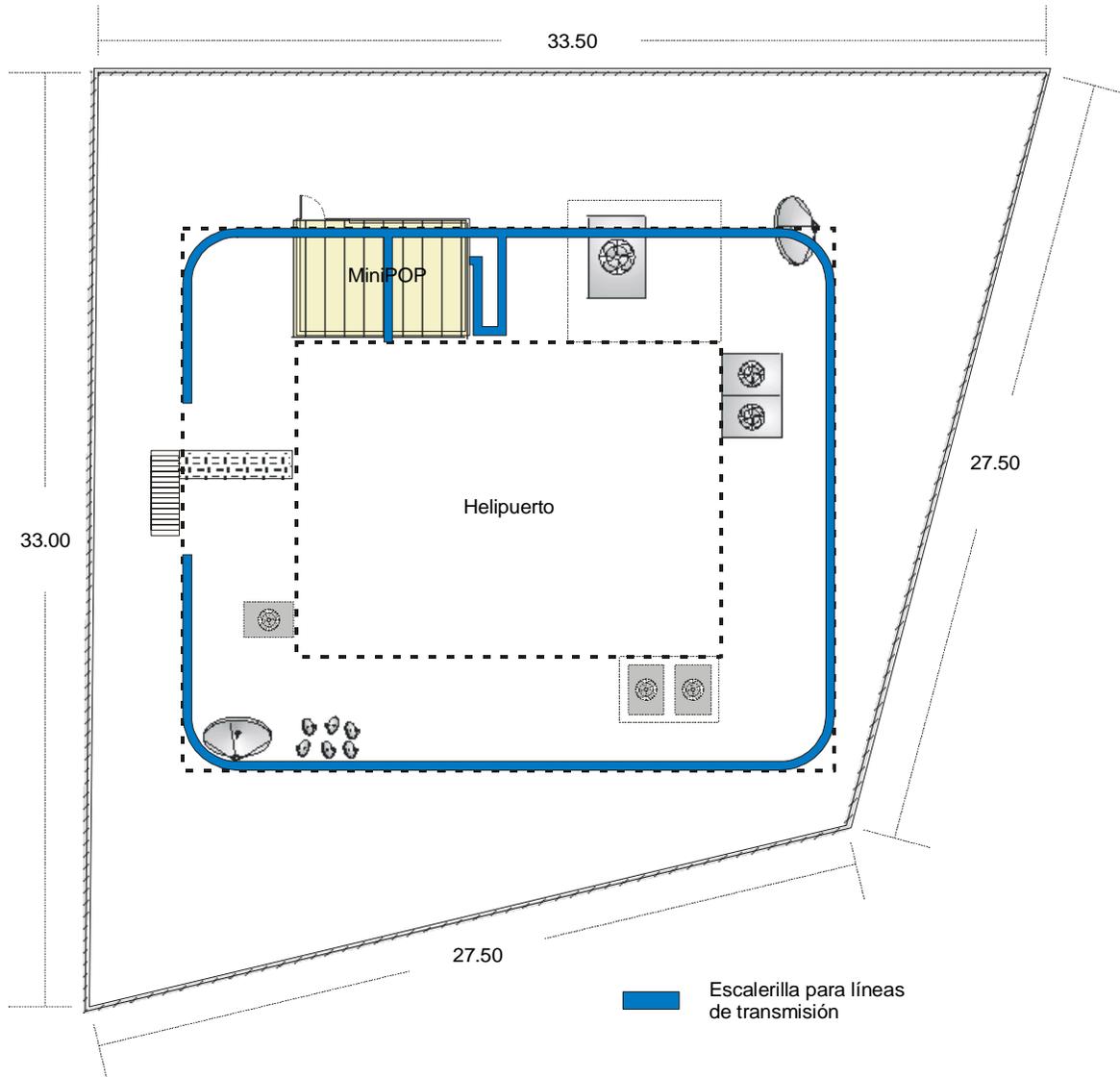


Figura III.13. Vista de azotéa mini POP Palmas.

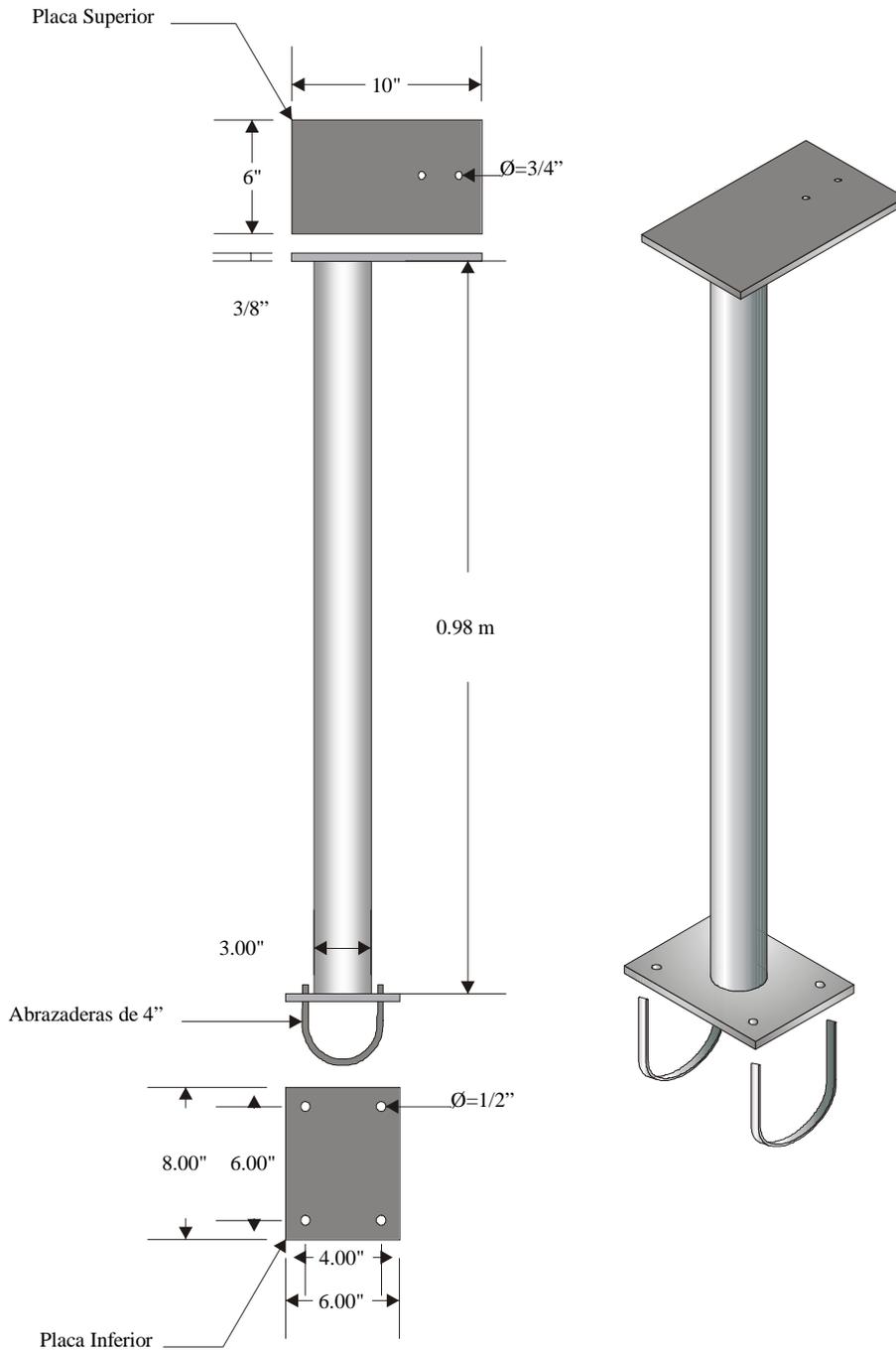


Fig. III.14. Soporte sugerido para instalación de antena en miniPop Palmas.

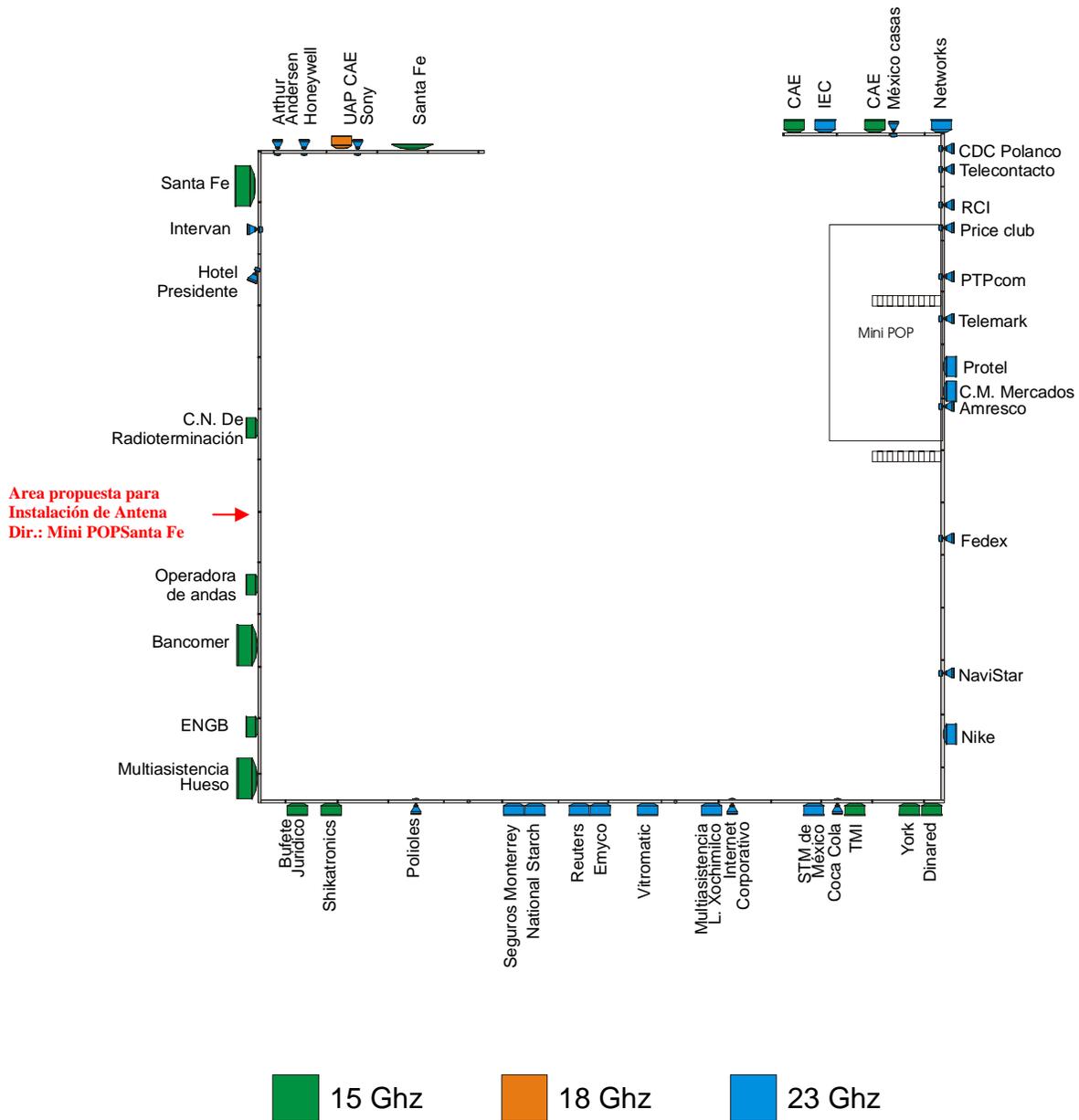


Figura III.15. Antenas ya instaladas y posición para nuevo enlace miniPOP Palmas.

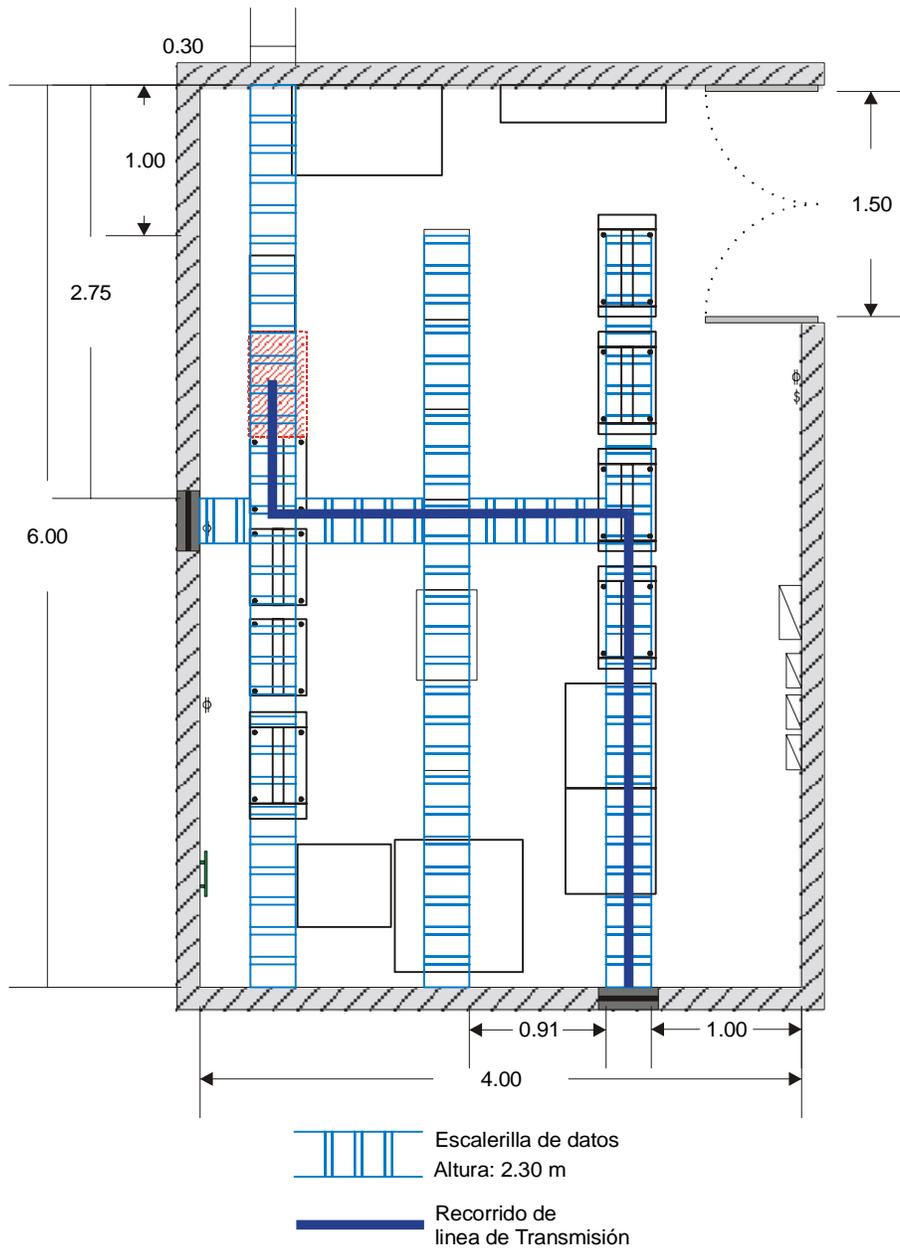


Figura III.16. Escalerilla de datos mini POP Palmas.

Fotografías miniPOP Santa Fe.



Figura III.17. Fachada miniPOP Santa Fe.



Figura III.18. Línea de vista hacia miniPOP Palmas.

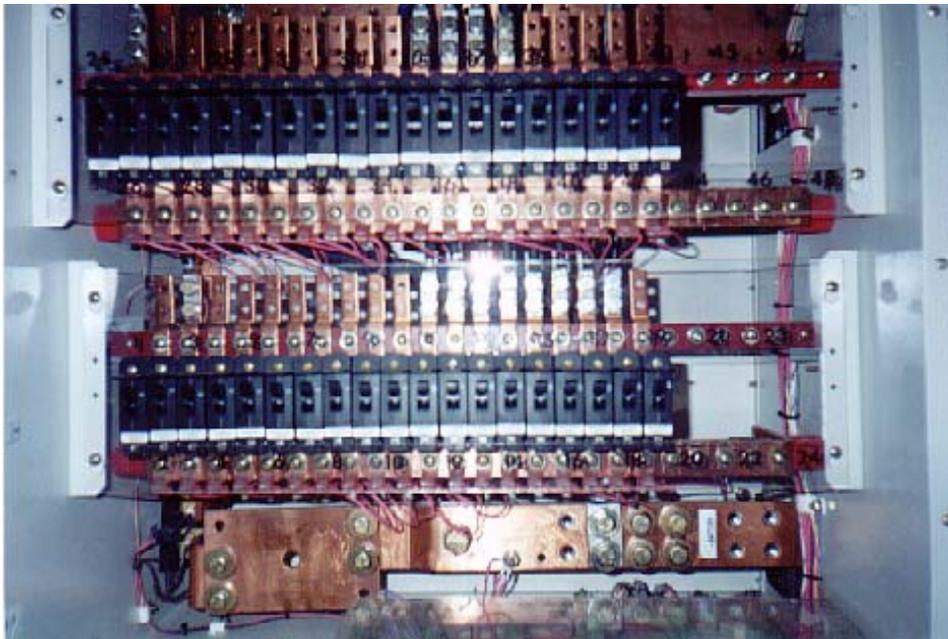


Figura III.19. Rectificador en miniPOP Santa Fe.

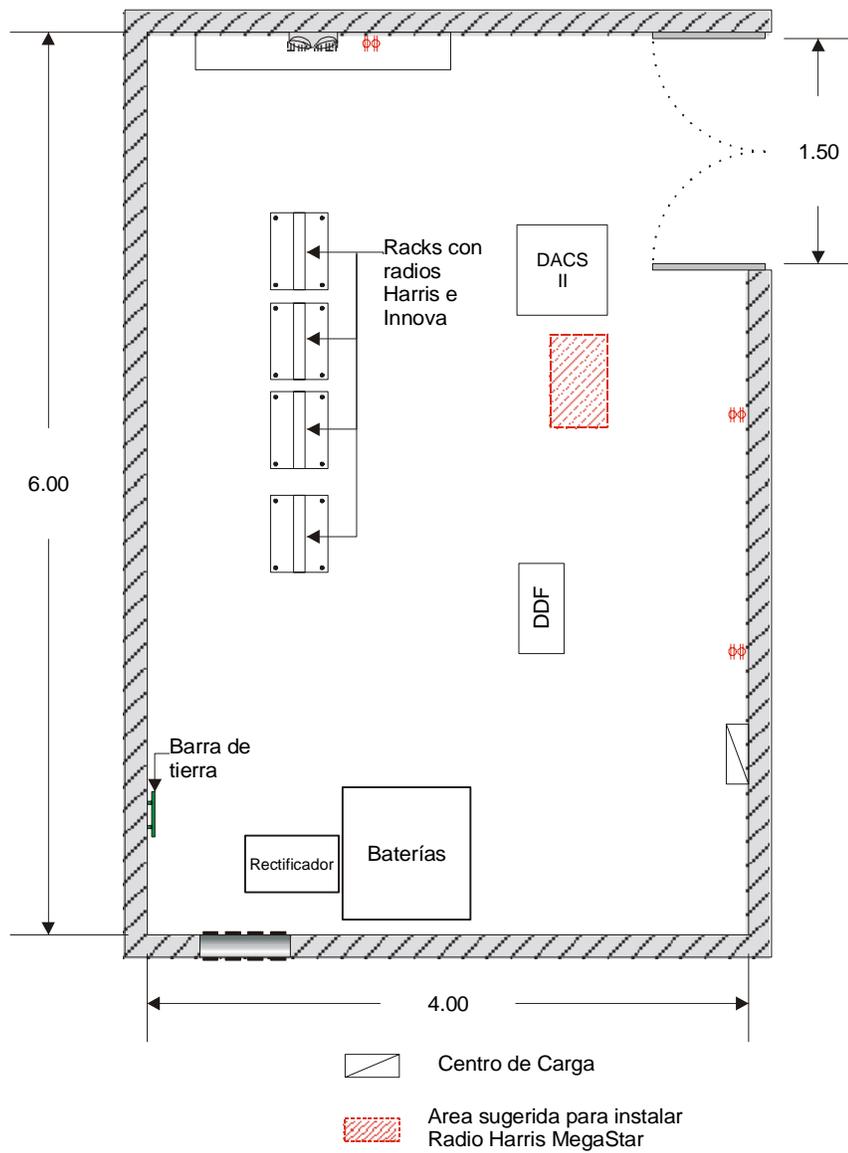


Figura III.20. Sala de equipos miniPOP Santa Fe.

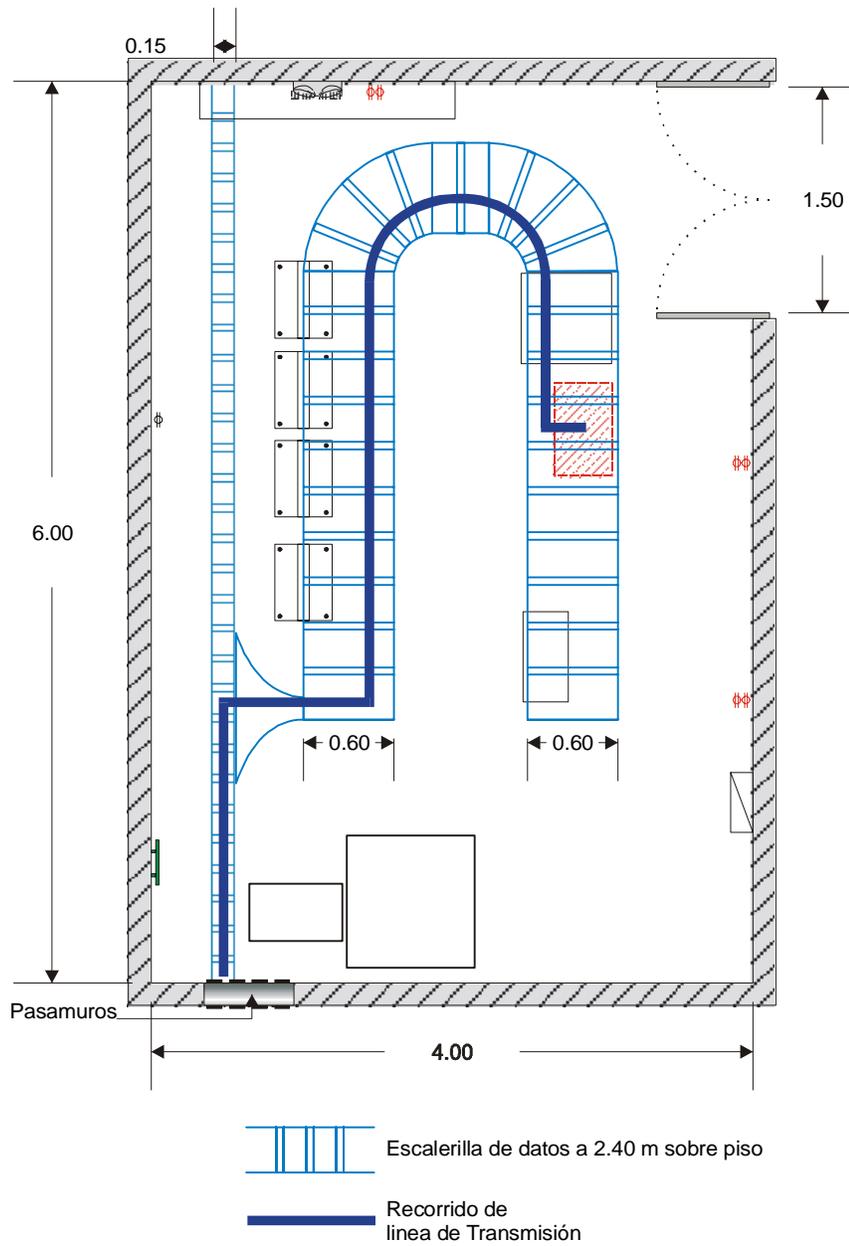


Figura III.21. Escaletilla de datos miniPOP Santa Fe.

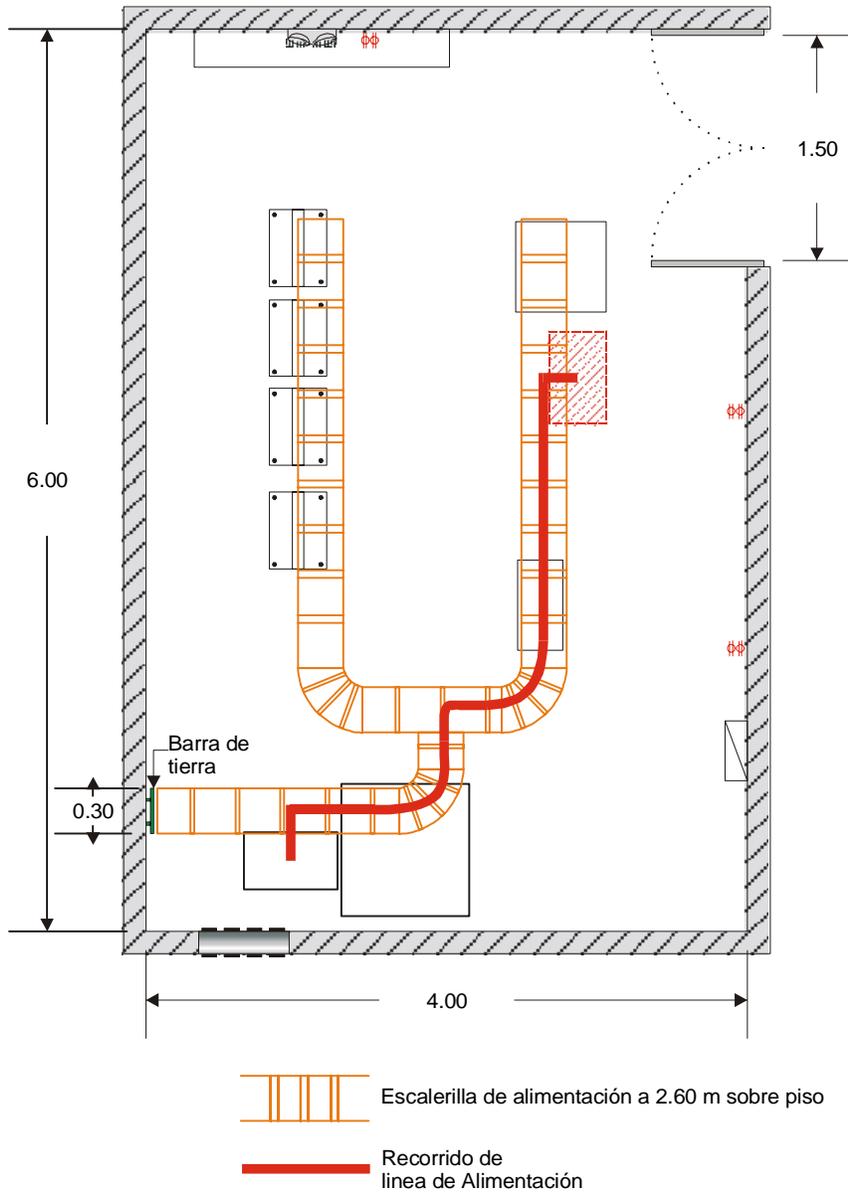


Figura III.21. Escalerilla de alimentación miniPOP Santa Fe.

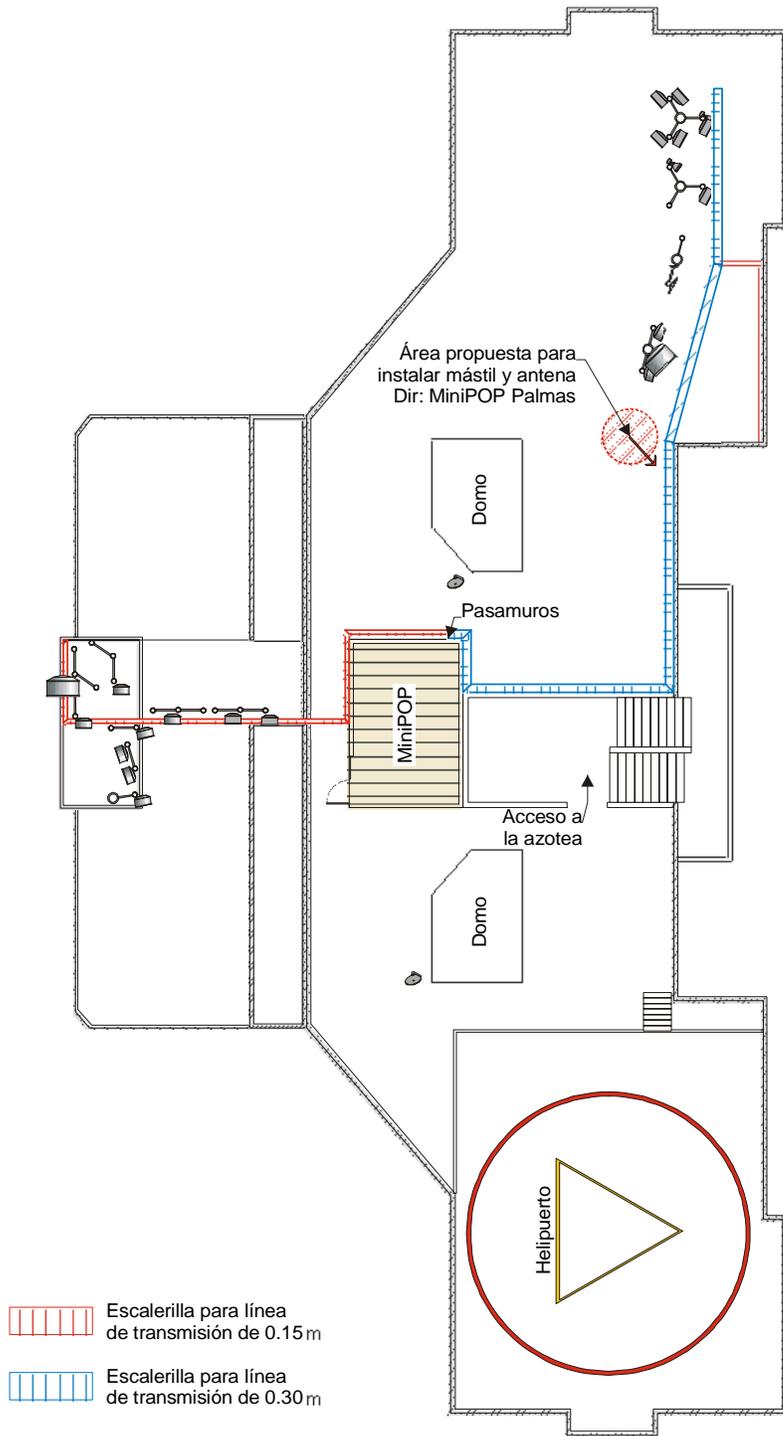


Figura III.22. Vista de azotea miniPOP Santa Fe.

El séptimo paso consistió en efectuar las pruebas de enlace, orientando las antenas, y monitoreando el voltaje del Control Automático de Ganancia (AGC), de acuerdo con la siguiente tabla, la cual se deriva de los datos obtenidos con el software pathloss:

Nivel (dBm)	-17.00	-47.47	-64.5
AGC (v)	3.0	1.9	0.65

Tabla III.3. Voltaje que corresponde al nivel de la señal.

Y en el octavo paso, con el enlace instalado, los equipos encendidos y las antenas ubicadas en su lugar, se realizó la prueba de tasa de errores en bits (BER, Bit Error Rate) por un período de 24 horas, para asegurar el correcto funcionamiento del enlace, la cual es mostrada a continuación.

Hewlett Packard E7580A

Instrument Configuration

TEST DETAILS

Circuit: Direction:

Test Engineer: Vinicio Moncada Negrete

Unit Serial #: GB00001138

Rx Setup

2 Mb/s G.703(75 OHMS)

HDB3 Terminated

Unframed 2048 kb/s

PRBS15 ITU

G821 Path Alloc : 100.000%

G826 Path Alloc : 100.000%

G826 Path UAS Limit : 0

LOGGING

Log Errored Seconds : Off

Logging Interval : Meas. Period

Log When : Always

Results Logged Filters

Interval Results : Off

Total Results : On

Error Counts : On

Alarm Seconds : On

G821 : Bit

G826 : On

Line Frequency : Off

MEASUREMENT START 11-Abril-2004 09:10:03

- TOTAL RESULTS Meas. Period -

-- Error Results --

Error	Count	Ratio
BIT	0	0
CODE	0	0

-- Alarm Seconds --

Near End Far End

LOS 0

AIS 0

-- Analysis Results --

G.826 Analysis

Bit Errors

Errored Sec 0

%Errored Sec 0

%ES (Annex D) 0

Error Free Sec 235159

%Error Free Sec 100.00000

Severely Err Sec 0

%Severely Err Sec 0

Degraded Minutes 0

%Degraded Minutes 0

Unavailable Sec 0

%Unavailable Sec 0

Result Pass

MEASURE COMPLETE 12-Abril-2004 09:10:18

Elapsed Time 01d 00h 00m 00s

De lo anterior se derivan las siguientes afirmaciones, las cuales dan a conocer que el estado del enlace es satisfactorio:

- a) No existieron señales de indicación de alarma (AIS)
- b) No existió pérdida de señal (LOS)
- c) No existieron segundos con errores (ES)
- d) No existieron segundos con errores severos (SESR)
- e) No existieron segundos con indisponibilidad.

CONCLUSIONES.

La ingeniería es la aplicación de las ciencias Físico-Matemáticas a la invención, perfeccionamiento y utilización de la técnica industrial para aprovechar los recursos naturales.

El ingeniero mecánico-electricista en el área de especialidad concerniente a los sistemas eléctricos y electrónicos, interviene en la planeación, diseño y operación de sistemas eléctricos de potencia, así como en el diseño de instalaciones y de máquinas eléctricas. Además estudia y efectúa aplicaciones de electrónica industrial y el control automático de procesos. En el área específica que ocupa al presente texto, interviene en el estudio, diseño y operación de sistemas de comunicación por cable e inalámbricos tales como telefonía, radio, televisión, microondas y satélites.

Los conceptos planteados en el Capítulo I fueron de gran ayuda para poder contar con las bases teóricas necesarias de comunicaciones, especialmente inalámbricas vía microondas.

La Recomendación UIT G – 826 que fue estudiada en el Capítulo II, especifica eventos, parámetros y objetivos de característica de error para trayectos digitales que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores.

Uno de los principios fundamentales de la Recomendación UIT G - 826 se basa en la medición de bloques con error, haciendo así posible la cuantificación y severidad de los errores; otro de los objetivos principales de la norma UIT G - 826 es definir todos los parámetros de calidad de funcionamiento, de manera que sea posible efectuar estimaciones en servicio.

Los resultados de los cálculos realizados por los aparatos de medición, que efectúan las pruebas antes de que el enlace se ponga en marcha realmente, son presentados como tiempo fuera de servicio (TFS) anual por enlace o porcentaje de confiabilidad por enlace, parámetro que debe estar alrededor de un 99.98% de confiabilidad general en un sistema

patrón de 6,000 kilómetros de longitud, lo que equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace.

En el Capítulo III, con la exposición detallada de la realización de un caso práctico, se deja constancia del procedimiento que debe seguirse cuando se desea instalar un enlace punto a punto vía microondas, desde su planeación, los estudios de línea de vista y disponibilidad pertinentes, hasta la instalación física de los equipos de radio y antenas, así como los cables de banda base y guías de onda necesarios.

El presente caso práctico resultará ser de gran utilidad para estudiantes cuyos caminos los lleven al estudio de las comunicaciones inalámbricas vía microondas, para ingenieros en comunicaciones o telecomunicaciones que se desenvuelvan en otras tecnologías, pero desconozcan este tipo específico de comunicación y que algún día requieran la planeación, instalación, mantenimiento correctivo y preventivo de un sistema de esta naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA.

CATALOG 38

Andrew Corporation.

INSTRUCTION MANUAL

Harris Communications.

LAPATINE, Sol

ELECTRÓNICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Editorial Limusa

México, 1993.

ROLDAN, David

COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Alfaomega Ra-Ma.

México, 2005.

SMALE, P.H.

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Editorial Limusa

México, 1996.

MESOGRAFÍA.

<http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>

http://html.rincondelvago.com/transmision-de-datos_3.html

http://es.wikipedia.org/wiki/Microondas_%28radiaci%C3%B3n%29

<http://www.monografias.com/trabajos12/comsat/comsat.shtml#DISPOSIT>

http://www.construaprende.com/Telecomunicaciones/tipos_torres.html

<http://w3.mor.itesm.mx/~cmendoza/ma835/ma83512.html>

http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://prof.usb.ve/ejmarque/cursos/ea2181/core/figs/figdesp04.gif&imgrefurl=http://prof.usb.ve/ejmarque/cursos/ea2181/core/desp04.html&h=299&w=480&sz=4&hl=es&start=12&tbnid=0DrUw_upFQvpWM:&tbnh=80&tbnw=129&prev=/images%3Fq%3Dpoisson%2Bdistribuci%25C3%25B3n%26ndsp%3D20%26svnum%3D10%26hl%3Des%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26sa%3DN

APÉNDICE.

Las siguientes recomendaciones de la UIT contienen información, mediante su referencia en este trabajo, constituyen disposiciones de la recomendación UIT G – 826. Éstas recomendaciones son citadas a continuación:

Recomendación UIT-T G.703 (1998), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.*

Recomendación UIT-T G.704 (1998), *Estructuras de trama síncrona utilizadas en los niveles jerárquicos 1,544, 6,312, 2,048, 8,448 y 44,736 kbit/s.*

Recomendación UIT-T G.707 (1996), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.*

Recomendación CCITT G.732 (1988), *Características del equipo multiplex MIC primario que funciona a 2,048 kbit/s.*

Recomendación CCITT G.733 (1988), *Características del equipo multiplex MIC primario que funciona a 1,544 kbit/s.*

Recomendación CCITT G.734 (1988), *Características del equipo multiplex digital síncrono que funciona a 1,544 kbit/s.*

Recomendación CCITT G.742 (1988), *Equipo multiplex digital de segundo orden que funciona a 8,448 kbit/s y utiliza justificación positiva.*

Recomendación CCITT G.743 (1988), *Equipo multiplex digital de segundo orden que funciona a 6,312 kbit/s y utiliza justificación positiva.*

Recomendación CCITT G.751 (1988), *Equipos múltiplex digitales que funcionan a la velocidad binaria de tercer orden de 34,368 kbit/s y a la velocidad binaria de cuarto orden de 139,264 kbit/s y utilizan justificación positiva.*

Recomendación CCITT G.752 (1980), *Características de los equipos múltiplex digitales basados en la velocidad binaria de segundo orden de 6,312 kbit/s con justificación positiva.*

Recomendación CCITT G.755 (1988), *Equipo múltiplex digital que funciona a 139,264 kbit/s y múltiplex a tres afluentes a 44,736 kbit/s.*

Recomendación UIT-T G.775 (1998), *Criterios de detección y liberación de defectos de pérdida de señal, y de señal de indicación de alarma y de indicación de defectos distantes para señales de la jerarquía digital plesiócrona.*

Recomendación UIT-T G.783 (1997), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*

Recomendación UIT-T G.821 (1996), *Características de error de una conexión digital internacional que funciona a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria y forma parte de una red digital de servicios integrados.*

Recomendación CCITT I.321 (1991), *Modelo de referencia de protocolo RDSI-BA y su aplicación.*

Recomendación UIT-T I.356 (1996), *Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transparencia asíncrono de la red digital de servicios integrados de banda ancha.*

Recomendación UIT-T I.362, *Descripción funcional de la capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono de la red digital de servicios integrados de banda ancha.*

Recomendaciones UIT-T de la serie I.432.x, *Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) – Especificación de la capa física.*

Recomendación UIT-T I.610 (1995), *Principios y funciones de operaciones y mantenimiento de la red digital de servicios integrados de banda ancha.*

Recomendación UIT-T M.60 (1993), *Terminología y definiciones relativas al mantenimiento.*

Recomendación UIT-T M.2100 (1995), *Límites de calidad de funcionamiento para la puesta en servicio y el mantenimiento de trayectos, secciones y sistemas de transmisión de jerarquía digital plesiócrona internacionales.*

Recomendación UIT-T M.2101 (1997), *Límites de calidad de funcionamiento para la puesta en servicio y el mantenimiento de trayectos y secciones múltiplex internacionales de la jerarquía digital síncrona.*