

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Estudio de radioenlaces para red celular de Ericsson

Ericsson de Costa Rica S.A.

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Allan André Leal Murillo

Cartago, Agosto de 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Julio Stradi G.
Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez
Profesor lector



Ing. Faustino Montes de Oca M.
Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 09 de Agosto de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Heredia, 9 de Agosto de 2005


Allan André Leal Murillo

Céd: 4-0175-0759

RESUMEN

Los sistemas telefónicos celulares son posibles gracias al uso de las comunicaciones inalámbricas. En una red telefónica celular existe una estructura formada por radioenlaces que transportan la información de un punto a otro a través de señales que se propagan en el aire.

El propósito de este proyecto es el de optimizar el funcionamiento de estos radioenlaces mediante un estudio comparativo que cumpla con la estandarización internacional. Esto con el fin de mejorar la calidad y la confiabilidad de los servicios que brinda la empresa Ericsson de Costa Rica a los usuarios de la red TDMA.

Las dos primeras etapas del proyecto abarcan actividades de recopilación de información y estudio de campo, mientras que en la etapa de cálculos se utilizan herramientas teóricas para el establecimiento de parámetros acorde con los principios de propagación de señales, pérdidas de potencia por efectos atmosféricos, planeamiento de frecuencias, calidad y disponibilidad de enlaces digitales.

En la etapa de pruebas, se utiliza un programa especializado mediante el cual se puede hacer una comparación entre los resultados del diseño teórico y las mediciones en el equipo de comunicaciones.

Finalmente, se establecen recomendaciones producto de las comparaciones llevadas a cabo en el análisis de los resultados.

Palabras claves: radioenlaces, estudio de radioenlaces, red celular, estación base, UIT, calidad, disponibilidad, planeamiento de frecuencias, pérdidas, balance de potencia.

ABSTRACT

Mobile telephone systems using the cellular concept are conceivable thanks to the use of wireless communications. In a cellular telephone network there is a structure build on radio links that transport information from one place to another using signal propagation.

The goal of the project is to optimize the performance of this radio links by designing a plan that take in consideration international standards with the purpose of improving quality and reliability on services provided by Ericsson C. R. to TDMA network technology users.

The first two steps of the project cover certain activities such as obtaining information and field survey, meanwhile in the next step, signal propagation, frequency planning, quality and availability calculations are performed.

On the test step, specialized software is used through which we can compare the results given by the communications equipment and the theoretical design.

Finally, recommendations settle down as a result of the comparisons carried out in the results analysis stage.

Keywords: radio-link, radio-link study, base station, ITU, quality, availability, frequency planning, loss, link budget.

DEDICATORIA

Dedico este logro a aquellos seres excepcionales que me dieron todo lo mejor que tengo, a mis padres, el señor Franklin Leal Herrera y la señora Virginia Murillo Carvajal, de quienes siempre estaré muy orgulloso.

Ustedes me dieron el hogar más bello que uno pueda tener y me brindaron su amor y su ayuda a lo largo de toda mi vida. Los quiero muchísimo, y que todo ese esfuerzo que realizaron durante tantos años se resuma en estas palabras: ¡Los amo papás!

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero darle gracias a Dios y a la Virgen por haberme dado la oportunidad de crecer, realizarme como profesional y permitirme alcanzar un sueño más en mi vida.

A mis padres, hermanos y demás familiares que en todo momento creyeron en mí y me apoyaron siempre de manera incondicional.

A todas aquellas personas que a lo largo de este extenso camino me brindaron su ayuda sincera; a aquellos que en algún momento me permitieron compartir momentos de alegría y tristeza. ¡Gracias Amigos!

A esa persona especial que con su cariño y apoyo me dio fuerzas en los momentos duros para continuar la vida con alegría, optimismo y esperanza siempre de la mano de Dios, muchísimas gracias.

A mi profesor asesor, el Ingeniero Faustino Montes de Oca, por sus valiosos consejos durante el desarrollo del proyecto.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a todo el grupo humano que labora en Ericsson de C.R., por hacerme hecho sentir en casa y acogerme como uno de los suyos.

INDICE GENERAL

Capítulo 1:	Introducción	1
1.1	Problema existente e importancia de su solución	1
1.2	Solución seleccionada	3
Capítulo 2:	Meta y objetivos	5
2.1	Meta	5
2.2	Objetivo general	5
2.3	Objetivos específicos	5
Capítulo 3:	Marco Teórico.....	6
3.1	Descripción del sistema o proceso a mejorar	6
3.2	Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema	8
3.2.1	Propagación de señales de radio.....	8
3.2.2	Las zonas de Fresnel	13
3.2.3	Pérdidas	17
3.2.4	Desvanecimiento de los radioenlaces	26
3.2.5	Predicciones de calidad y disponibilidad.....	28
3.2.6	Planeamiento de frecuencias	33
Capítulo 4:	Procedimiento metodológico.....	34
4.1	Reconocimiento y definición del problema	34
4.2	Obtención y análisis de información	34
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	35
4.4	Implementación de la solución	36
4.5	Reevaluación y rediseño	36
Capítulo 5:	Descripción detallada de la solución	37
5.1	Análisis de soluciones y selección final	37
5.1.1	Descripción de sitios.....	45
5.1.2	Descripción de enlaces.....	46
5.1.3	Relación entre elementos de la solución	57
5.1.3.1	Balance de potencia.....	57
5.1.3.3	Sobrealcance (Overreach).....	72
5.1.3.4	Desvanecimiento en los radioenlaces.....	73
5.1.3.5	Objetivos de calidad y disponibilidad	74
5.1.3.6	Planificación de frecuencias	76
5.2	Descripción de hardware	78
5.3	Descripción de software	79
Capítulo 6:	Análisis y resultados	83

6.1	Resultados	83
6.2	Análisis	86
6.3	Alcances y limitaciones	95
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones		96
7.1	Conclusiones	96
7.2	Recomendaciones	98
Bibliografía		99
Apéndices y Anexos		100
Apéndices		100
Apéndice A.1	Glosario	100
Apéndice A.2	Abreviaturas	104
Apéndice A.3	Descripción de sitios	106
Apéndice A.4	Perfiles de enlace con radios de Fresnel	117
Apéndice A.7	Información de la empresa	152
A.7.1	Descripción de la empresa	152
A.7.2	Descripción del departamento	153
Anexos		154
Anexo B.1	Hojas de datos de equipo Mini-Link 15E	154
Anexo B.2	Hojas de datos de equipo Mini-Link 7E	157
Anexo B.3	Datos técnicos de unidades de radio (RAU)	160
Anexo B.4	Intensidad de lluvia en [mm/h] de acuerdo con la recomendación P.837-1 de la UIT-R	170
Anexo B.5	Gradiente de refractividad promedio de acuerdo con la recomendación P.453-8 de la UIT-R	171
Anexo B.6	Plan de frecuencia para los equipos Mini-Link 7E	172
Anexo B.7	Plan de frecuencia para los equipos Mini-Link 15E	173
Fórmulas		174

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Ilustración del concepto de sistema celular.	6
Figura 3.2	Valores de pérdidas por reflexión en función del coeficiente de reflexión total.	11
Figura 3.3	Cálculo de zonas y radios de Fresnel.	13
Figura 3.4	Altura de despejamiento h_c .	14
Figura 3.5	Comparación entre las superficies real y equivalente de la Tierra.	16
Figura 3.6	Pérdidas en el espacio libre en función de la distancia a diferentes frecuencias.	18
Figura 3.7	Atenuación total específica debida a gases vrs frecuencia.	19
Figura 3.8	Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.	23
Figura 3.9	Valores típicos de pérdidas debidas a obstáculos agudos.	24
Figura 3.10	Diagrama de potencia.	24
Figura 3.11	Trayecto hipotético de referencia (CHR).	28
Figura 3.12	Sección radio del trayecto hipotético de referencia.	29
Figura 5.1	Mapa de la ciudad de San José con la ubicación de estaciones base y radioenlaces.	38
Figura 5.2	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Cinco Esquinas.	40
Figura 5.3	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Paseo Colón.	40
Figura 5.4	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Colima.	41
Figura 5.5	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Zapote.	42
Figura 5.6	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y González Víquez.	42
Figura 5.7	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y González Lahman.	43
Figura 5.8	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Hospital.	43
Figura 5.9	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Bellavista.	43
Figura 5.10	Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y San Pedro.	44
Figura 5.11	Ubicación geográfica de radioenlace entre Cinco Esquinas y Llorente.	44
Figura 5.12	Perfil de enlace San José Central – Cinco Esquinas.	47
Figura 5.13	Perfil de enlace San José – Paseo Colón.	48
Figura 5.14	Perfil de enlace San José Central – Colima.	49
Figura 5.15	Perfil de enlace San José Central – Zapote.	50
Figura 5.16	Perfil de enlace San José Central – González Víquez.	51
Figura 5.17	Perfil de enlace San José Central – González Lahman.	52
Figura 5.18	Perfil de enlace San José Central – Hospital.	53
Figura 5.19	Perfil de enlace San José Central Bellavista.	54
Figura 5.20	Perfil de enlace San José Central – San Pedro.	55
Figura 5.21	Perfil de enlace Cinco Esquinas – Llorente.	56
Figura 5.22	Diagrama de referencia utilizado para la explicación del balance de potencia.	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Valor de constantes utilizadas en el cálculo de la atenuación por lluvia.	21
Tabla 3.2	Distribución de clases referentes a la normativa UIT-R F.696.	31
Tabla 3.3	Disponibilidad de grado medio para diferentes clases.	31
Tabla 5.1	Sitios pertenecientes al <i>cluster</i> bajo estudio.	45
Tabla 5.2	Información enlace SJO2-5ES2 (San José Central – Cinco Esquinas)	47
Tabla 5.3	Información Enlace SJO4-PCO2 (San José Central – Paseo Colón)	48
Tabla 5.4	Información Enlace SJO7-COL2 (San José Central – Colima)	49
Tabla 5.5	Información Enlace SJO9-ZAP2 (San José Central – Zapote)	50
Tabla 5.6	Información Enlace SJ10-GVI2 (San José Central – González Víquez)	51
Tabla 5.7	Información Enlace SJ13-GOL2 (San José Central – González Lahman)	52
Tabla 5.8	Información Enlace SJ14-HOS1 (San José Central – Hospital)	53
Tabla 5.9	Información Enlace SJ19-BEVI (San José Central – Bellavista)	54
Tabla 5.10	Información Enlace SJO3-SPD2 (San José Central – San Pedro)	55
Tabla 5.11	Información Enlace LLO1-5ES2 (Llorente – Cinco Esquinas)	56
Tabla 5.12	Potencia de transmisión ajustada en cada uno de los sitios.	59
Tabla 5.13	Pérdidas por propagación en el aire libre para cada enlace.	61
Tabla 5.14	Pérdidas por gases en la atmósfera para cada enlace.	62
Tabla 5.15	Atenuación por precipitación para cada enlace.	64
Tabla 5.16	Radio de la 1ª zona de Fresnel a la mitad de la distancia para cada enlace.	67
Tabla 5.17	Información relevante en el cálculo teórico de la potencia de recepción para cada uno de los enlaces.	71
Tabla 5.18	Potencia de recepción al doble de la distancia para los diferentes enlaces.	72
Tabla 5.19	Potencias de recepción y márgenes de desvanecimiento para cada enlace.	73
Tabla 5.20	Planeamiento de frecuencias para la banda de 15 [GHz] y la sub-banda 23.	76
Tabla 5.21	Planeamiento de frecuencias para la banda de 15 [GHz] y la sub-banda 27.	76
Tabla 5.22	Planeamiento final de frecuencias.	77
Tabla 6.1	Resumen de información obtenida para cada uno de los enlaces por medio del software MSM de Ericsson.	84
Tabla 6.2	Margen de desvanecimiento actual y teórico para cada enlace.	90
Tabla 6.3	Frecuencias actuales y teóricas para cada enlace..	93

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

La tecnología de las comunicaciones inalámbricas ha tenido un crecimiento sustancial en los últimos años. El éxito de las tecnologías TDMA (*Time Division Multiple Access*) y GSM (*Global System for Mobile*) son muestra de ello.

Tanto la red GSM como la TDMA se organizan como un conjunto de celdas radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura a un área de servicio determinada. Cada celda está asociada con una estación base, que opera en un conjunto de canales de radio diferentes a los usados en las células adyacentes y que se encuentran distribuidas según un sistema celular. En este sistema celular, el tráfico de información entre elementos se presenta entre estaciones base o de estas hacia elementos de mayor jerarquía, la mayoría de veces por medio de enlaces de fibra óptica o enlaces microondas punto a punto como el que se muestra en la figura a continuación.



Figura 1.1 Enlace microondas punto a punto.

Estos enlaces microondas, o como comúnmente se les llama radioenlaces, son parte de la estructura y el funcionamiento de la red celular TDMA. En Costa Rica, la empresa Ericsson brinda operación y mantenimiento a esta red celular.

Pese a que los enlaces existentes en esta red presentan un buen funcionamiento, no se sabe a ciencia cierta cual es el desempeño que estos deberían tener debido a que en un inicio el proceso de implementación no contempló una serie de procedimientos formales como lo es un registro del diseño en forma escrita.

El problema básicamente se centra en la optimización de un grupo de radioenlaces, que tome en cuenta entre otras cosas, las diferentes variables geográficas y climáticas que presenta nuestro país, las características de la red TDMA existente, las cuales de una forma u otra afectan el desempeño y la calidad de los servicios móviles.

Frente a esta problemática el departamento de implementación de proyecto ha planteado la realización de un estudio sobre estos aspectos, proponiendo la comparación de los radioenlaces que funcionan en la actualidad contra un diseño teórico basado en normativas y estándares internacionales, lo cual permita un funcionamiento adecuado de las estaciones base y los diferentes equipos interconectados entre ellas.

La adaptación de tecnología GSM y TDMA en el país, es planteada como un reto en aspectos como el de la correcta instalación, el diagnóstico de errores, la calidad y disponibilidad de los enlaces, es por ello que el proyecto de graduación se desarrolla precisamente dentro del marco donde la empresa pretende realizar futuras implementaciones.

1.2 Solución seleccionada

La solución seleccionada pretende desarrollar un estudio comparativo por medio del cual se optimice el funcionamiento de un grupo de sitios o grupo de estaciones base que se encuentran interconectadas dentro de una región determinada por radioenlaces ya existentes, que en general comparten un nodo central o *Hub* para el tráfico de información.

Este estudio se sustenta en el uso de una herramienta especializada que sirve de complemento al cálculo teórico que se realiza en forma manual. Esta herramienta contempla aspectos como normas, estándares y protocolos aplicables a las condiciones externas que presenta el medio en el que trabajan las estaciones base.

Se pretende realizar un estudio de las interconexiones de las estaciones base, por medio de enlaces de microondas con el fin de lograr calidad en la transmisión de información y por ende en los servicios que maneja la red celular en nuestro país por parte de la empresa Ericsson.

Los aspectos generales en los cuales se plantea el estudio de la red abarcan la capacidad del canal, asignación de la frecuencia de radio, calidad de la comunicación, disponibilidad de los enlaces; actividades como el mapeo y el estudio de campo se establecen con el fin de obtener la información necesaria para diseño de los radioenlaces.

Además, se realizan cálculos de propagación e interferencia con el fin de alcanzar resultados finales. Aquí, los parámetros se ajustan hasta alcanzar los requerimientos de desempeño necesarios.

El proyecto requiere de la realización de mediciones de potencia, calidad de la señal y errores en el sistema. Su importancia se centra en el establecimiento de las frecuencias y niveles de potencia tanto de recepción como de transmisión.

Los resultados de estas mediciones son comparados con valores teóricos calculados con anterioridad con el fin de establecer criterios que permitan llegar a conclusiones importantes y emitir recomendaciones que beneficien al desempeño de la red celular.

Además, se espera que los fundamentos de planeamiento, instalación de equipo, software utilizado en la manipulación del mismo y aplicación de estándares sirvan para el establecimiento de un plan celular que pueda ser empleado en la instalación de otras radio bases y el establecimiento de radioenlaces en diferentes áreas.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Establecer recomendaciones que permitan optimizar el funcionamiento de las estaciones base y los radioenlaces en la red TDMA de la empresa Ericsson de Costa Rica.

2.2 Objetivo general

Realizar un estudio de los radioenlaces para un grupo definido de estaciones base que permita la optimización de la red celular TDMA, mediante el cumplimiento de estándares de calidad y disponibilidad, nacionales e internacionales.

2.3 Objetivos específicos

- Realizar cálculos referentes al diseño de los enlaces entre estaciones base.
- Realizar pruebas con los enlaces de microondas mediante el uso de software especializado.
- Hacer un análisis comparativo entre el desempeño actual de los radioenlaces y el desempeño teórico.
- Establecer recomendaciones correctivas con base en un estudio comparativo, que permitan optimizar el funcionamiento de la red TDMA.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

En general podemos definir dos grandes áreas que forman parte de los sistemas de telefonía celular que son el de Transmisión y el de Radio Frecuencia o RF, como comúnmente se le conoce.

La unidad de área de cobertura de RF para sistemas celulares es llamada celda ó célula y se agrupa como se muestra en la figura a continuación.

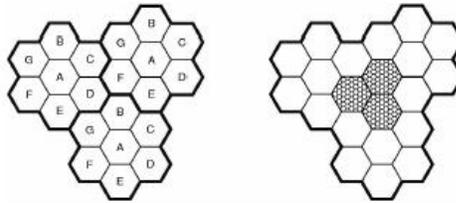


Figura 3.1 Ilustración del concepto de sistema celular.

En cada célula, una radio base con una ubicación específica transmite y recibe señales que provienen de Estaciones Móviles (EM) o de forma más sencilla, los teléfonos celulares que utilizan los abonados o usuarios del sistema.

Esta ubicación específica es también llamada “sitio”, si nos referimos a un lugar geográfico en el cual se sitúan equipos utilizados en el área de transmisión.

La transmisión de la cual se habla por lo general se produce entre estaciones base y/o elementos de mayor jerarquía los cuales realizan funciones esenciales dentro del funcionamiento de los sistemas celulares.

Centrándonos más en la red de transporte o transmisión, es en esta donde fundamentalmente nos encontramos dos medios en los que se soportan las señales a transportar, el medio físico y tangible (cable coaxial, fibra óptica, etc.) y el medio radioeléctrico que son los que soportan la señal electromagnética a transmitir.

El establecimiento de radioenlaces hace posible el transporte de señales de un punto a otro, separados por una distancia determinada, haciendo uso del denominado dominio público radioeléctrico.

Los enlaces vía radio tienen características muy variadas dependiendo de sus frecuencias de funcionamiento. Los enlaces mencionados son en todo momento de operación dúplex, es decir, cada enlace está formado por una pareja de frecuencias separadas una cierta distancia en hertz [Hz] denominada separación dúplex, de tal modo que en una de ellas se transmita (Tx) y en otra se reciba (Rx).

Las frecuencias en torno a las que se mueven los radioenlaces utilizados en transmisión son en su mayoría de lo que se ha dado en llamar microondas. Estas frecuencias comienzan tan abajo como los 300 [MHz] y llegan hasta los 60 [GHz], sin embargo para este proyecto nos centraremos en el rango que va desde los 7 [GHz] hasta los 15 [GHz].

3.2 Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema

3.2.1 Propagación de señales de radio

El estudio de las partes que componen un sistema celular, y el conocimiento de que los factores del terreno influyen en el funcionamiento de los radioenlaces, permiten observar como influyen la combinación del terreno y los elementos atmosféricos en la propagación.

La longitud de onda y la frecuencia de ondas electromagnéticas están relacionadas por medio de la fórmula que se presenta a continuación.

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (3.1)$$

donde:

λ = Longitud de onda. [m]

c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

f = Frecuencia. [Hz]

Dependiendo de las condiciones topográficas y meteorológicas, las ondas de radio se pueden propagar de diferentes maneras ocasionando por lo general atenuación. Una de las principales tareas de ingeniería de radio es el evaluar la atenuación de las señales entre transmisores y receptores.

Los mecanismos de propagación son muy complejos y diversos. Entre ellos se tienen los siguientes:

Refracción

La refracción en la atmósfera es posible debido a que las ondas de radio viajan con diferentes velocidades por diferentes caminos en un medio con características eléctricas variables. Las ondas de radio viajan más despacio en la atmósfera donde la constante dieléctrica es mayor que la constante dieléctrica en el espacio libre.

La constante dieléctrica depende de la presión, la temperatura y el vapor de agua (humedad) de la atmósfera. Normalmente estos valores de los parámetros meteorológicos decrecen con la altitud. Debido a que las ondas electromagnéticas viajan más rápido en un medio con menor constante dieléctrica que en un medio con constante dieléctrica mayor, la parte superior del frente de onda tiende a viajar más rápido que la parte baja, causando una desviación de la onda.

En una atmósfera horizontalmente homogénea el cambio vertical de los parámetros meteorológicos es gradual. Esto causa una desviación continua de la onda, alejándose gradualmente desde las capas de aire más delgadas hacia las más gruesas, siguiendo la curvatura de la Tierra.

La refractividad depende de la presión, la temperatura y el vapor de agua contenido en la atmósfera. Su variación respecto a la altura (h) en la atmósfera se llama gradiente de refractividad $\left(\frac{dN}{dh}\right)$ que está relacionado con el radio de la Tierra.

En la práctica, la medida del promedio del gradiente en el primer kilómetro sobre la tierra para la mayoría de regiones templadas es de aproximadamente $-40N$ unidades por kilómetro. Esto da un factor de radio de la Tierra de aproximadamente $4/3 = 1,33$ y un radio efectivo de la Tierra de aproximadamente 8.500 [km].

Difracción

La difracción puede ocurrir e incrementar las pérdidas en la transmisión cuando el tamaño de un obstáculo entre un transmisor y un receptor es grande en comparación con la longitud de la onda de radio transmitida.

Los efectos de la difracción son más frecuentes con un aumento de los obstáculos para frecuencias por encima de los 1.000 [MHz]. Esto puede imposibilitar el uso de un camino para propósitos de comunicación de radio normal.

Las pérdidas en la transmisión debidas a la obstrucción dependen de las propiedades de difracción del obstáculo y del área del haz obstruido en comparación con el área total del frente de onda. Por eso se hace necesario el crear un camino lo suficientemente despejado para evitar las pérdidas en la transmisión.

Si un frente de onda se ve parcialmente obstaculizado por un objeto, una parte de la energía se difracta en la región de sombra del obstáculo. En situaciones reales, sin embargo, los efectos de la difracción son complicados debido a la forma del obstáculo y a los efectos de la atmósfera, pero en muchos casos un modelo simplificado puede generar aproximaciones útiles del efecto ocasionado por el objeto en el camino de la onda de radio. Los modelos se emplean usualmente para propagación cerca de la superficie de la Tierra que incluye la difracción debida por las irregularidades de la misma y/o de obstáculos en la superficie.

Las pérdidas en la transmisión debidas a las irregularidades del terreno representan una función sumamente complicada que involucra variables como la frecuencia, la geometría del camino y la densidad de la vegetación entre otras.

Reflexión y Dispersión

Cuando las ondas electromagnéticas inciden en una superficie, las mismas podrían ser reflejadas. Las ondas reflejadas dependen de la frecuencia, el ángulo de incidencia y de las propiedades eléctricas de la superficie.

Bajo algunas suposiciones, la energía no es ni transmitida ni absorbida por una superficie, simplemente las ondas son reflejadas en una nueva dirección. Esta es, por supuesto, una reflexión ideal llamada reflexión especular en conformidad con la reflexión de rayos de luz en los espejos. La reflexión especular es una aproximación que puede ser utilizada en muchas aplicaciones relacionadas con las comunicaciones de radio frecuencia.

La reflexión especular es, como se mencionó anteriormente, un caso ideal que se encuentra en algunas aplicaciones. En la práctica, sin embargo, la reflexión en superficies es de alguna forma más complicada.

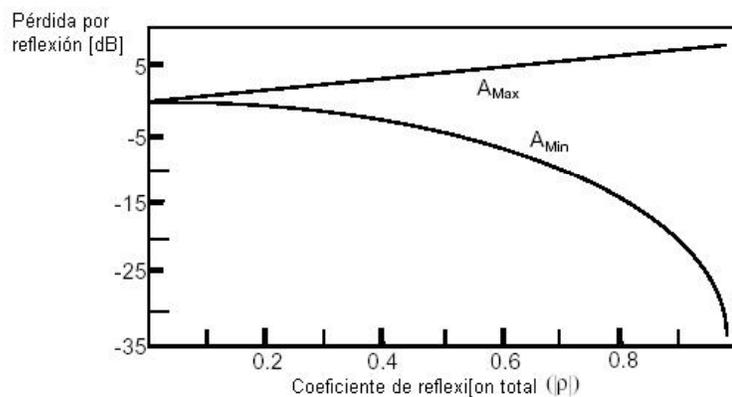


Figura 3.2 Valores de pérdidas por reflexión en función del coeficiente de reflexión total.

Absorción

A frecuencias por encima de los 10 [GHz] la propagación de las ondas de radio por la atmósfera terrestre se ve fuertemente afectada por la absorción de energía electromagnética debida a moléculas de oxígeno y vapor de agua. En sistemas de radio es usual el clasificar la composición química de la atmósfera en dos “gases”: vapor de agua y aire seco.

Es bien conocido que el nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2) representan aproximadamente el 99 % del volumen del aire seco, donde el restante 1 % está compuesto por dióxido de carbono (CO_2) y varios otros elementos. Afortunadamente, las moléculas de nitrógeno no afectan el espectro radial y el aire seco puede ser considerado consecuentemente de estar compuesto únicamente por oxígeno. Además la composición química del aire seco no presenta ninguna variación significativa a través de la atmósfera y puede ser considerado constante de un lugar a otro. La atenuación por absorción de energía del oxígeno muestra un fuerte pico entre los 50 [GHz] y los 70 [GHz] con un máximo en aproximadamente 60 [GHz].

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera, sin embargo, varía fuertemente de un lugar a otro de acuerdo con las condiciones meteorológicas locales. La temperatura y la humedad son dos variables importantes a la hora de determinar la atenuación ocasionada por el vapor de agua. La atenuación por absorción del vapor de agua muestra un pico característico alrededor de los 23 [GHz].

3.2.2 Las zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel se especifican por medio de un número ordinario que corresponde con el número de múltiplos de medias longitudes de onda que representan la diferencia entre un enlace directo y un enlace por propagación de ondas de radio. Cada zona concéntrica corresponde a un camino diferente dado por $(\lambda/2)$, $2(\lambda/2)$, $3(\lambda/2)$, etc.

Para el caso de la transmisión las zonas de Fresnel son elipsoides que tienen sus puntos focales en las antenas ubicadas en A y B como se ilustra en la figura 3.3.

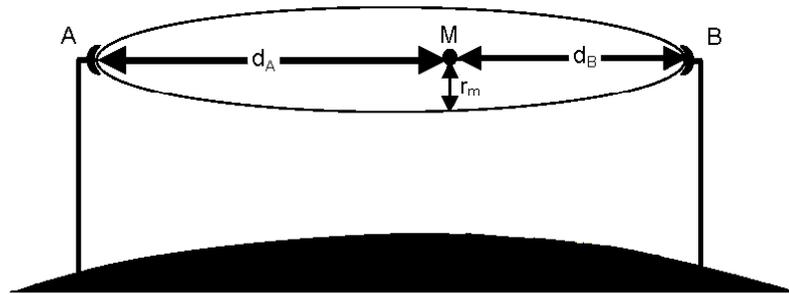


Figura 3.3 Cálculo de zonas y radios de Fresnel.

Los radios de las diferentes zonas de Fresnel se definen por:

$$r_m = \sqrt{m \cdot \lambda \cdot \frac{d_A \cdot (d - d_A)}{d}} \quad [\text{m}] \quad (3.2)$$

donde:

r_m = Radios de las zonas de Fresnel

$m = 1, 2, 3, \dots$

d = Distancia entre las antenas A y B. [km]

d_A = Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [km]

λ = Longitud de onda [m]

La primera zona de Fresnel contiene casi la totalidad de la energía transmitida entre las antenas lo cual resulta de suma importancia en el cálculo de atenuaciones introducidas por obstrucción.

El radio de la primera zona de Fresnel esta dado por:

$$r_1 = 17.32 \cdot \sqrt{\frac{d_A \cdot (d - d_A)}{f \cdot d}} \text{ [m]} \quad (3.3)$$

Aquí f es la frecuencia dada en [GHz].

Despejamiento y Línea de Vista (LOS)

Las propiedades refractivas de la atmósfera no son constantes. La variación del índice de refracción en la atmósfera (expresado por medio del factor de radio de la tierra k) puede hacer que obstáculos intercepten parcial o totalmente las zonas de Fresnel. El despejamiento puede ser descrito como un criterio que asegure que las alturas de las antenas son lo suficiente aún en el pero caso de refracción (donde k es mínimo), para que la antena receptora no se ubique dentro de la zona de difracción. En la figura 3.4 se muestra la altura de despejamiento h_c .

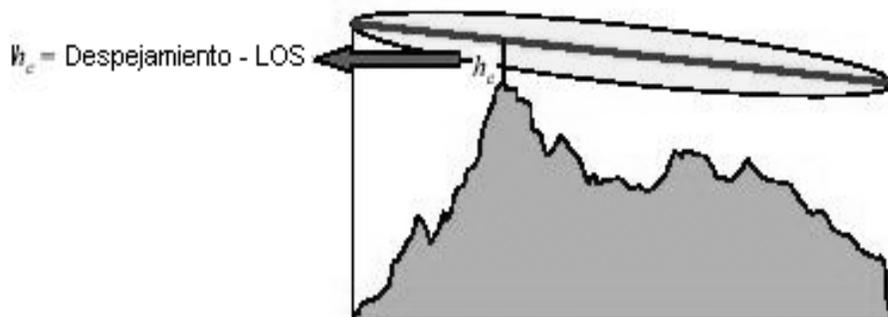


Figura 3.4 Altura de despejamiento h_c .

La altura de despejamiento h_c puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$h_c = \frac{d_A \cdot (h_B + h_{BG}) + (d - d_A) \cdot (h_A + h_{GA})}{d} - h_{OBST} - \frac{d_A \cdot (d - d_A)}{k \cdot 12,74} \text{ [m]} \quad (3.4)$$

donde:

d_A = Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [km]

d = Distancia entre las antenas A y B. [km]

h_B = Altura del sitio B. [m]

h_{BG} = Altura de antena sobre el sitio B. [m]

h_A = Altura del sitio A. [m]

h_{GA} = Altura de antena sobre el sitio A. [m]

h_{OBST} = Altura del obstáculo. [m]

k = Factor de corrección terrestre.

El enlace directo entre un transmisor y un receptor necesita una altura de despejamiento de al menos un 60 % del radio de la primera zona de Fresnel; esto con el fin de asegurar la propagación de las ondas en el espacio libre.

Radio equivalente de la Tierra

En términos sencillos se puede describir un rayo directo entre dos antenas por el cual se propagan las ondas. En el espacio libre, este enlace se describiría como una línea recta, también llamada línea de vista óptica.

Si de lo contrario, las antenas se ubican en una superficie esférica rodeada por una atmósfera (como en el caso de la Tierra), la propagación de las ondas se ve afectada cuando las mismas viajan por las diferentes capas de la atmósfera. En este caso el

rayo no sigue la línea de vista óptica, más bien describe una curva entre las antenas. La forma de la curva varía en función del índice de refracción de la atmósfera.

Para simplificar la descripción de la curvatura de este rayo, se introduce el concepto de superficie equivalente de la Tierra, para el cual se tiene un radio equivalente. El radio equivalente de la Tierra se define por:

$$R_e = k \cdot R \text{ [m]} \quad (3.5)$$

donde:

k = Factor de corrección terrestre

R = Radio real de la Tierra ($6,37 \times 10^6$ m)

En la figura mostrada a continuación se puede observar la diferencia entre las superficies terrestres, tanto real como equivalente.

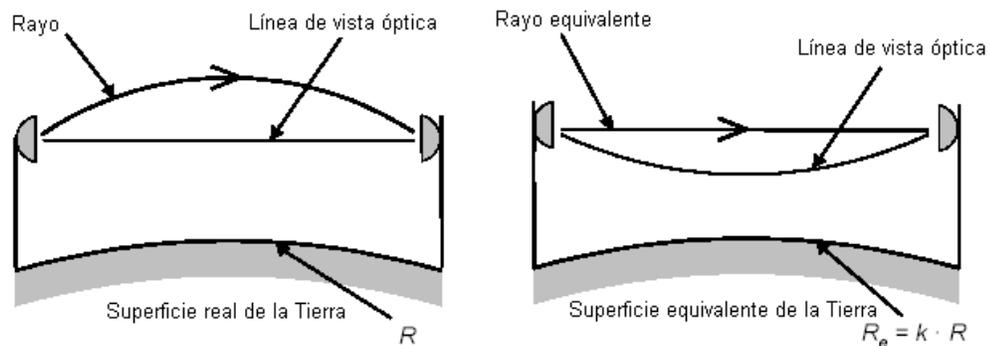


Figura 3.5 Comparación entre las superficies real y equivalente de la Tierra.

3.2.3 Pérdidas

Pérdidas en el espacio libre

Propagación en el espacio libre se refiere a la propagación de una onda electromagnética en un medio homogéneo, dieléctricamente ideal que puede ser considerado como infinito en todas direcciones.

Las pérdidas por transmisión en el espacio libre son conocidas como las más frecuentes entre un transmisor y un receptor.

Básicamente, las pérdidas por transmisión en el espacio libre se refieren a fuentes isotrópicas a ambos lados de la conexión. Si estas fuentes isotrópicas son remplazadas por dipolos de media onda u otras antenas, teniendo cierta ganancia, estos cálculos deben de ser ajustados para éstas mismas ganancias.

Así pues, las pérdidas en el espacio libre son las pérdidas que experimenta por ejemplo un radioenlace espacial puro, donde no existen influencias de la atmósfera ni del terreno. La deducción de las pérdidas toma en cuenta la densidad espectral de potencia, tal como muestran las fórmulas siguientes:

$$L_{FSL} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 92,5 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f \quad [\text{dB}] \quad (3.6)$$

donde:

L_{FSL} = Pérdidas en el espacio libre [dB]

d = Distancia desde la antena transmisora [km]

λ = Longitud de onda [m]

f = Frecuencia [GHz]

Las pérdidas en el espacio libre como función de la distancia se ilustran en la figura 3.6 en el rango de frecuencia de 1 a 50 [GHz].

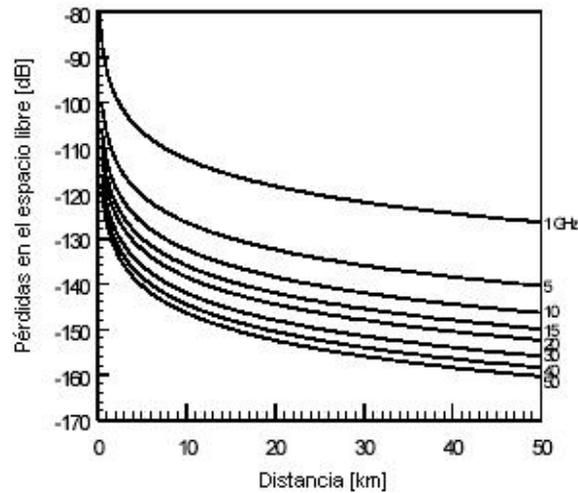


Figura 3.6 Pérdidas en el espacio libre en función de la distancia a diferentes frecuencias.

Pérdidas por gases en la atmósfera

Las atenuaciones específicas en [dB/km] debida al vapor de agua y el oxígeno, son calculadas en forma separada y después sumadas para dar la atenuación específica total A_G .

$$A_G = (\gamma_o + \gamma_w) \cdot d \quad \text{[dB]} \quad (3.7)$$

donde:

A_G = Atenuación total por gases [dB]

γ_o = Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/km]

γ_w = Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/km]

d = Distancia del enlace [km]

La absorción total específica debida a los efectos del oxígeno y al vapor de agua se define por:

$$\gamma_G = (\gamma_O + \gamma_W) \quad (3.8)$$

donde:

γ_G = Atenuación total específica por gases [dB/km]

γ_O = Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/km]

γ_W = Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/km]

La atenuación total específica depende fuertemente de la frecuencia, temperatura y humedad de la atmósfera como se muestra en la figura 3.7.

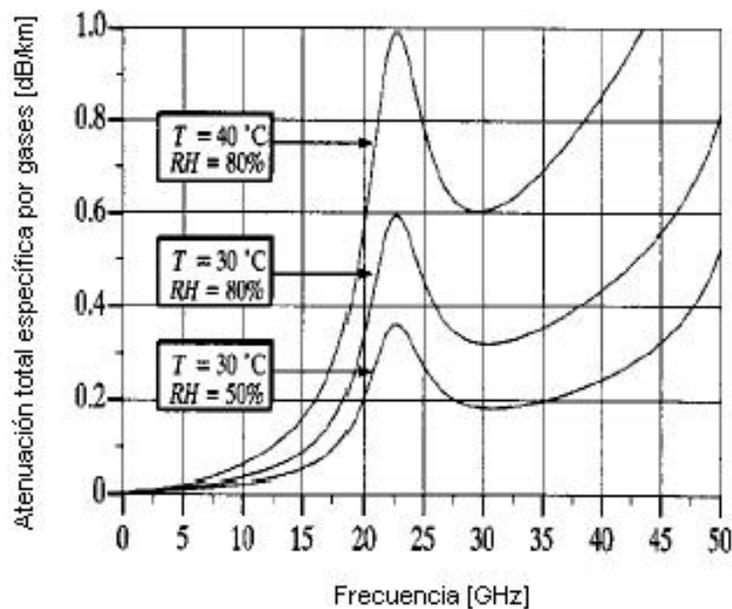


Figura 3.7 Atenuación total específica debida a gases vrs frecuencia.

Precipitación

El efecto de la precipitación, en especial la lluvia, puede ser importancia considerable, dependiendo de la banda de frecuencia y de la intensidad de la precipitación. La dispersión y absorción de las ondas de radio por la lluvia causan atenuación. Aunque todas las frecuencias están sujetas a estos efectos, la atenuación por lluvia es de suma importancia para las frecuencias que se encuentran por arriba de los 10 [GHz]. La atenuación específica puede ser obtenida de gráficos especiales en los que se ilustra la interdependencia de la atenuación en [dB/km] y la frecuencia en [GHz].

La atenuación causada por la lluvia puede ser evaluada introduciendo un factor de reducción, que toma en consideración el tamaño de las nubes en el enlace de radio, determinando así una longitud de plano efectiva, multiplicando la longitud actual del enlace por el factor de reducción.

Se debe de señalar que el índice de precipitación es un parámetro muy dependiente de la locación geográfica del enlace. Para efectos de planeamiento de redes, la Tierra está dividida en 16 diferentes zonas para las cuales se pueden obtener diferentes índices¹.

La atenuación total debida a la precipitación puede ser calculada de la siguiente forma:

$$A_R = \gamma_R \cdot d_{eff} \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

donde:

A_R = Atenuación total debida a la precipitación. [dB]

γ_R = Atenuación específica debida a la lluvia. [dB/km]

d_{eff} = Longitud efectiva del enlace. [km]

¹ En el anexo B.4 se encuentra la gráfica de de las diferentes zonas y sus respectivos índices.

La atenuación específica debida a la lluvia se calcula de la siguiente forma:

$$\gamma_R = k_f \cdot R^{\alpha_f} \quad (3.10)$$

donde:

γ_R = Atenuación específica debida a la lluvia.

k_f, α_f = Coeficientes dependientes de la frecuencia.

R = Intensidad de la lluvia. [mm/h]

Los coeficientes k_f y α_f se definen como:

$$k_f = \frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau}{2} \quad (3.11)$$

$$\alpha_f = \frac{k_H \cdot \alpha_H + k_V \cdot \alpha_V + (k_H \cdot \alpha_H - k_V \cdot \alpha_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau}{2 \cdot k_f} \quad (3.12)$$

donde:

θ = Inclinación del enlace.

τ = Ángulo de polarización respecto al plano horizontal.

Los valores de las constantes para las frecuencias de 7 y 15 [GHz] se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 3.1 Valor de constantes utilizadas en el cálculo de la atenuación por lluvia².

Frecuencia [GHz]	k_H	k_V	α_H	α_V
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128

² Los valores de las constantes en esta tabla son obtenidas de la tabla del Anexo B.5.

La longitud efectiva del enlace se calcula de la siguiente forma:

$$d_{eff} = d \cdot r \text{ [km]} \quad (3.13)$$

donde:

d_{eff} = Longitud efectiva del enlace. [km]

d = Longitud real del enlace. [km]

r = Factor de reducción.

El factor de reducción se expresa como:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (3.14)$$

El factor $1/d_0$ se asocia a una intensidad de lluvia del 0.01 % como nivel de referencia. Así d_0 es:

$$d_0 = 35 \cdot e^{-0,015 \cdot R_{0,01}} \quad (3.15)$$

Obstrucción – Difracción

La difracción es el mecanismo responsable de la atenuación por obstáculos. Dependiendo de la forma, el tamaño y de las propiedades eléctricas del obstáculo, así varían los cálculos por pérdidas debidas a la difracción. Las pérdidas por obstrucción se calculan en base a la geometría del enlace y la frecuencia de trabajo utilizada.

En el caso de obstrucciones agudas (obstrucción individual ubicada en medio del enlace), la atenuación se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A_H = 16 + 20 \cdot \log(v) \text{ [dB]} \quad (3.16)$$

donde:

A_H = Atenuación debida a obstrucciones agudas. [dB]

v = Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

La penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel mostrada en la figura 3.8 se calcula por:

$$v = \frac{h_{LOS}}{r_{1F}} \quad (3.17)$$

donde:

v = Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

h_{LOS} = Altura del obstáculo por encima de la línea de vista. [m]

r_{1F} = Radio de la primera zona de Fresnel en el punto de la obstrucción. [m]

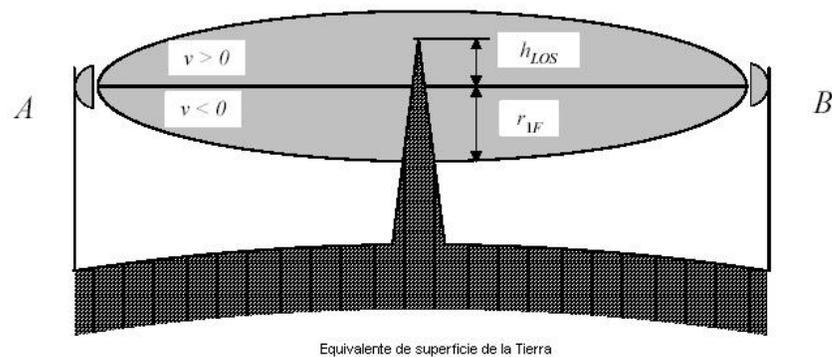


Figura 3.8 Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

La figura 3.9 ilustra algunos valores de pérdidas por obstáculos agudos.

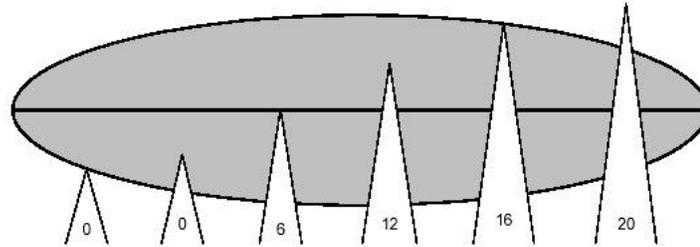


Figura 3.9 Valores típicos de pérdidas debidas a obstáculos agudos.

Diagrama de enlace (*link budget*)

El proceso en el cual se suman y se restan ganancias y pérdidas en un enlace de radio se conoce como balance de potencia. Este balance de potencia puede ser representado por medio de un diagrama de potencia como se muestra en la figura 3.10. Los resultados principales del balance de potencia son el nivel de la señal en el receptor dado en [dBm], las pérdidas del enlace y el margen de desvanecimiento. En la mayoría de las aplicaciones el cálculo de la señal recibida es independiente de la dirección, debido a que por lo general se utilizan enlaces duplex.

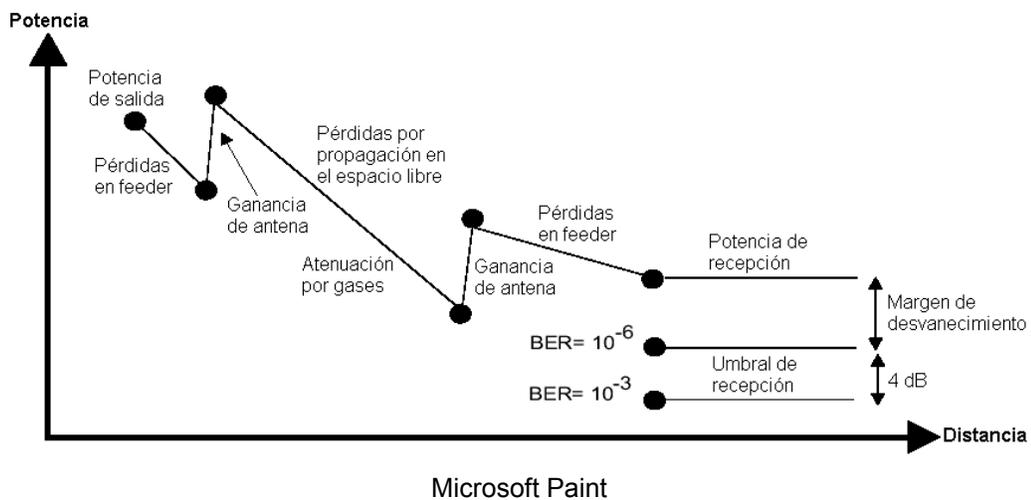


Figura 3.10 Diagrama de potencia.

Las pérdidas del enlace corresponden a la suma de todas las ganancias y pérdidas presentes entre las antenas receptoras y emisoras. Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A_S = L_{SFL} + A_G + A_{OBST} + A_L + \sum A_F - G_{ATx} - G_{ARx} \text{ [dB]} \quad (3.18)$$

donde:

A_S = Pérdidas totales del enlace. [dB]

L_{SFL} = Pérdidas en el espacio libre [dB]

A_G = Atenuación total por gases [dB]

A_{OBST} = Pérdidas debidas a obstáculos en el enlace. [dB]

A_L = Pérdidas adicionales. [dB]

A_F = Pérdidas en los feeders de las antenas. [dB]

G_{ATx} = Ganancia de la antena transmisora. [dBi]

G_{ARx} = Ganancia de la antena receptora. [dBi]

El nivel de señal recibido se calcula como la diferencia entre la potencia de transmisión y las pérdidas totales, como se muestra a continuación:

$$P_R = P_{Tr} - A_S \text{ [dBm]} \quad (3.19)$$

donde:

P_R = Nivel de señal recibido. [dBm]

P_{Tr} = Potencia de transmisión. [dBm]

A_S = Pérdidas totales del enlace. [dB]

3.2.4 Desvanecimiento de los radioenlaces

Un enlace de microondas sufre fluctuaciones de la señal recibida en los diferentes momentos de su funcionamiento, por una u otra causa. Los diferentes aspectos que hacen que la señal no alcance el receptor con un nivel de potencia constante son:

Los fenómenos atmosféricos causan perturbaciones en la señal dependiendo del tipo de fenómeno de que se trate, así como de la frecuencia de funcionamiento del radioenlace.

La señal de entrada recibida varía con el tiempo debido al desvanecimiento. El nivel de señal recibido calculado anteriormente es válido únicamente para períodos de tiempo sin desvanecimiento. El enlace debe de ser dimensionado para proveer un margen lo suficientemente grande para la recepción umbral, margen de desvanecimiento.

Los tipos de desvanecimiento que normalmente se consideran son causados por la precipitación, la propagación multitrayecto y la refracción.

La probabilidad calculada para la presencia de diferentes tipos de desvanecimiento en un enlace por microondas dado se traslada consecuentemente a los factores de calidad y disponibilidad dimensionados por los estándares de la UIT³.

El margen de desvanecimiento se trata del valor en [dB] para las diferentes tasas de error (BER) obtenido como diferencia entre la potencia nominal de recepción y la potencia umbral del receptor.

³ La UIT es la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Esta agencia especializada de las Naciones Unidas, se creada para facilitar cualquier tipo de telecomunicaciones y se divide en tres secciones: la de radiocomunicaciones (UIT-R), la de sistemas de telecomunicación (UIT-T) y la de desarrollo de telecomunicaciones (UIT-D).

La potencia umbral se trata del valor de potencia recibida por el receptor que asegura por ejemplo, tasas de error BER menores a 10^{-3} y 10^{-6} .

Bajo condiciones de no interferencia, el margen de desvanecimiento se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$M = P_R - P_{Tr} \text{ [dB]} \quad (3.20)$$

donde:

M = Margen de desvanecimiento. [dB]

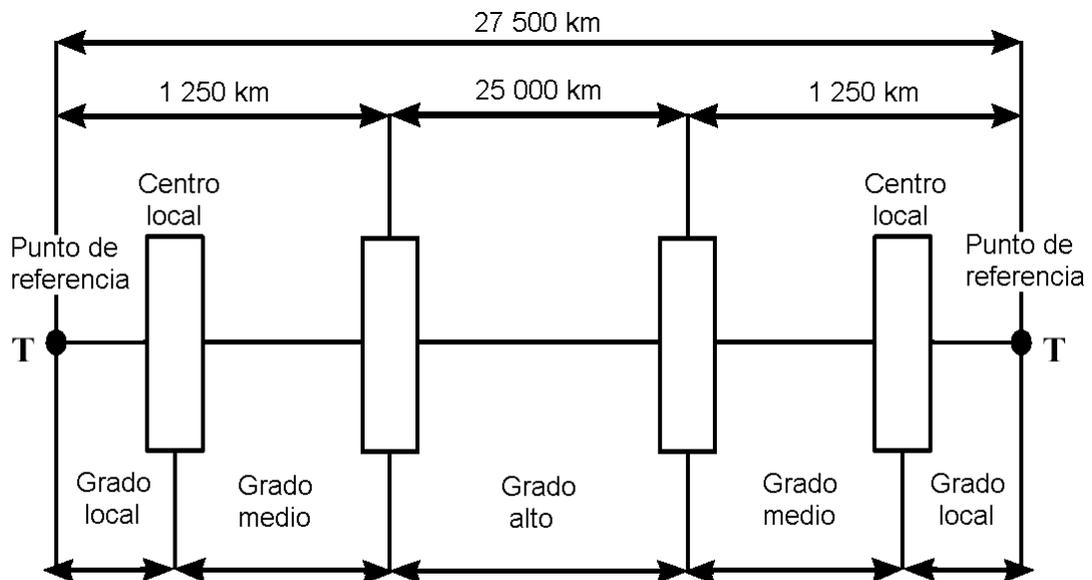
P_R = Nivel de señal recibido. [dBm]

P_{Tr} = Nivel umbral recibido. [dBm]

3.2.5 Predicciones de calidad y disponibilidad

Para el estudio de las degradaciones de la transmisión digital y de los parámetros de funcionamiento se prevén modelos de red de transmisión digital. Se trata de entidades ficticias o hipotéticas, de una longitud y composición definidas y que se usan como referencia para establecer objetivos de disponibilidad, calidad, etc.

Tanto la UIT-T como la UIT-R han determinado estas entidades para los enlaces digitales⁴. En la Recomendación UIT-T G.801 se determina la Conexión Hipotética de Referencia (CHR) cuya longitud total es de 27.500 [km] y se muestra en la figura 3.11.



Microsoft Paint

Figura 3.11 Trayecto hipotético de referencia (CHR).

⁴ Tanto la UIT-R como la UIT-T se encargan de establecer recomendaciones relacionadas con cada una de sus áreas de acción.

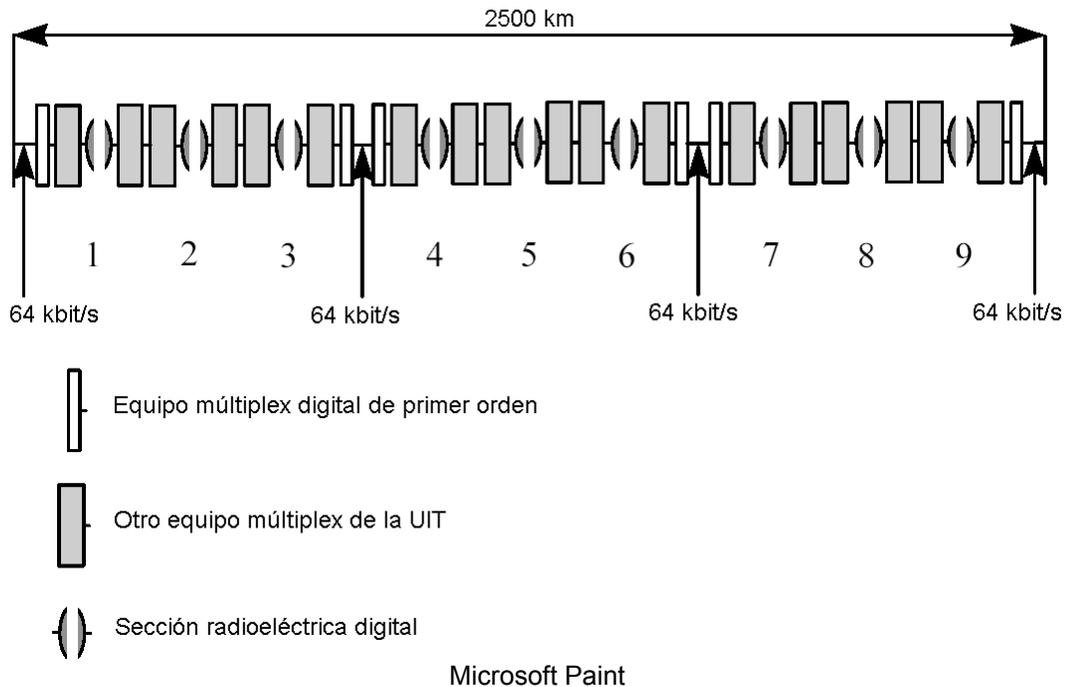


Figura 3.12 Sección radio del trayecto hipotético de referencia.

La recomendación G.821 de la UIT, se aplica en conexiones digitales con una tasa de transmisión de 64 [kBit/s]. En algunas ocasiones se utiliza esta recomendación para tasas de transmisión mayores a 64 [kBit/s].

La recomendación G.821 de la UIT define los siguientes términos de disponibilidad:

- *AT, Available Time* (Tiempo Disponible), este inicia con el primer segundo en un período de 10 segundos consecutivos en el cual cada segundo tiene un BER mejor a 1×10^{-3} .
- *UAT, UnAvailable Time* (Tiempo Indisponible), este inicia cuando el BER en cada segundo es peor que 1×10^{-3} durante 10 segundos consecutivos. Estos segundos se consideran como Tiempo Indisponible.

La recomendación G.821 de la UIT define los siguientes términos de calidad:

- ES, *Errored Second* (Segundos Errados), se define como un segundo que contiene uno o más errores de bits.
- SES, *Severely Errored Second* (Segundos Severamente Errados), se define como un período de un segundo en el cual el BER es peor a 1×10^{-3} . Por consecuencia un SES es también un ES.
- DM, *Degraded Minute* (Minutos Degradados), se define al sustraer el SES del AT y después agrupar los segundos restantes en grupos de 60 (intervalos de un minuto). Cada grupo que contiene un BER peor a 1×10^{-6} se considera como un Minuto Degradado.

La transposición de la UIT-R aplicado a un circuito de radio de 2500 [km] mostrado en la figura 3.12, establece como es previsible, tres grados:

Grado alto: Corresponde a la parte del enlace internacional y aquella parte del enlace nacional de alta capacidad. Las recomendaciones 556, 557, 634 y 695 de la UIT-R hacen referencia a este grado.

Grado medio: Corresponde a gran parte del enlace nacional desde el centro local hasta probablemente el centro internacional. El Grado medio que es el utilizado para los enlaces desarrollados dentro de este proyecto, se subdivide en diferentes secciones (clase 1, clase 2, clase 3 y clase 4). Las recomendación 696 de la UIT-R hace referencia a este grado.

En la tabla 3.2 se resume los valores de BER y Es para cada clase.

Tabla 3.2 Distribución de clases referentes a la normativa UIT-R F.696.

	Clase 1 (280 km)	Clase 2 (280 km)	Clase 3 (50 km)	Clase 4 (50 km)
BER > 10 ⁻³ (SES)	0,006	0,0075	0,002	0,005
BER > 10 ⁻⁶ (DM)	0,045	0,2	0,2	0,5
ES	0,036	0,16	0,16	0,4

Tabla 3.3 Disponibilidad de grado medio para diferentes clases.

Clase)	Distancia [km]	% de Indisponibilidad (UAT)
Clase 1	280	0,033
Clase 2	280	0,05
Clase 3	50	0,05
Clase 4	50	0,1

Grado local: Corresponde al enlace entre el usuario y el centro local. La recomendación 697 de la ITU-R hace referencia a este grado.

En la recomendación G.826 de la UIT se definen los parámetros y características de error para circuitos de velocidad superior a la primaria (E1)⁵, asociados a bloques⁶.

En términos de disponibilidad la recomendación G.826 de la ITU define como:

- AT, *Available Time* (Tiempo Disponible), este inicia con el comienzo de 10 segundos consecutivos sin SES. Estos 10 segundos son considerados como Tiempo Disponible.
- UAT, *UnAvailable Time* (Tiempo Indisponible), este inicia con el comienzo de 10 segundos consecutivos con SES. Estos 10 segundos son considerados como Tiempo Indisponible.

La recomendación G.826 de la ITU define los siguientes términos de calidad:

- EB, *Errored Block* (Bloques Errados), se define como un bloque en el cual uno o más bits son incorrectos.
- ES, *Errored Second* (Segundos Errados), se define como un período de un segundo en el cual uno o más bloques están distorsionados.
- SES, *Severely Errored Second* (Segundos Severamente Errados), se define como un período de un segundo durante el cual 30% o más de los bloques transmitidos están distorsionados.

⁵ Un E1 es equivalente a 2.048 [kBit/s],

⁶ Un bloque se define como un conjunto de bits consecutivos asociados con un trayecto, donde pueden los bits consecutivos estar o no contiguos en el tiempo)

3.2.6 Planeamiento de frecuencias

La UIT-R es la encargada, a través de las recomendaciones que edita y publica, de especificar los diseños generales de establecimiento de los canales en las distintas bandas. A este efecto, se definen:

- Frecuencia central de la banda, frecuencia respecto a la que se define la separación de las frecuencias dúplex de los canales.
- Separación transmisión/recepción, más conocida como separación dúplex.
- Separación de canal adyacente, donde los canales inmediatamente circundantes al que nos ocupa se definen a veces como de la misma u ortogonal polarización. Nótese que entre canales adyacentes suele existir un espacio denominado de guarda como protección ante interferencias.
- Número de canales a alojar en cada rango de frecuencias según la capacidad o ancho de banda de los canales transportados.

En el caso de los equipos Mini-Link 15-E de Ericsson el rango de frecuencias de trabajo se presenta entre los 14,4 y los 15,35 [GHz].

En este rango de frecuencias se sitúan las sub-bandas 23 y 27 permitidas para el establecimiento de radioenlaces en el área metropolitana por parte de la empresa Ericsson⁷. En los denominados sitios A o terminal cercana se transmite en la sub-banda 23 y se recibe en la sub-banda 27. Por otra parte los denominados sitios B o extremo lejano se transmite en la sub-banda 27 y se recibe en la sub-banda 23.

Los enlaces analizados presentan capacidades de tráfico máximas de 8 E1. Para estas capacidades la UIT-R F.363-3 recomienda un espaciamiento entre frecuencias de transmisión de 14 [MHz], lo que permite un tráfico de información sin errores.

⁷ En el Anexo B.6 se muestran las sub-bandas utilizadas en el planeamiento de frecuencias para los equipos Mini-Link de Ericsson.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Con el objetivo de definir y reconocer el problema fue que organizaron entrevistas con los encargados de brindarle mantenimiento a la red celular TDMA de la empresa. Al mismo tiempo se realizaron una serie de mediciones preliminares en las cuales se evidenciaron diferencias posibles respecto a los valores teóricos y recomendados por estándares internacionales.

La definición de metas y restricciones generales para la solución, se hizo por medio de la investigación de los estándares nacionales e internacionales que existen para la implementación de redes celulares (radioenlaces), el estudio del proceso de diseño de enlaces y la determinación de los principales factores externos a la red que afectan el desempeño del equipo de transmisión de microondas, todos reflejados en el Marco Teórico.

4.2 Obtención y análisis de información

La información expuesta en el marco teórico concerniente al estudio del problema y a su solución se deriva de búsquedas en Internet y consultas en diferentes tipos de manuales proporcionados por la empresa Ericsson (diseño, instalación, planeamiento, mantenimiento, etc.)

Se investigó en literatura sobre la forma de interconexión por medio de microondas entre sitios, diferentes factores y en que medida afectan el desempeño de éste tipo de equipo, tipo de averías que se presentan y cómo se solucionan comúnmente

Se realizó una búsqueda de información acerca de diferentes programas destinados al diseño de radio y mantenimiento de radioenlaces con el fin de facilitar el análisis teórico de los mismos.

Se realizaron entrevistas a personas con experiencia en el diseño, instalación, mantenimiento y operadores de la red en general. El contacto con empleados de la empresa encargados de la red celular hizo posible una retroalimentación en forma oral de suma importancia la cual sirvió para orientar el sentido de la investigación y el diseño de los radioenlaces.

Para conocer acerca del equipo de transmisión Mini-Link y su funcionamiento se realizaron recorridos por las estaciones base bajo estudio. Para la evaluación de radioenlaces se compararon los datos teóricos derivados a partir del diseño, los recomendados por el fabricante y las normas internacionales y los obtenidos a partir de mediciones con software especializado.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Así como en las dos secciones anteriores, el procedimiento seguido para el planteamiento de la solución estuvo basado en la investigación acerca del cómo diseñar y optimizar una red de radioenlaces. Aquí se vio y analizó la posibilidad de trabajar con diferentes tipos software debido a las diversas ventajas y desventajas que presentan todos y cada uno de ellos.

Se consultó con empleados encargados del diseño de radioenlaces en forma constante, lo que ayudó a la hora de escoger las diferentes herramientas de diseño y análisis de enlaces microondas.

En todo momento se buscó que la solución al problema se generara a partir de los procedimientos que se apegaran más a la realidad del sistema, en otras palabras, los cambios realizados en la solución fueron orientados a la optimización de resultados.

4.4 Implementación de la solución

La implementación de la solución se hizo por medio de la elaboración de cálculos teóricos por medio de simulaciones en el software MLPERF y el uso de fórmulas en las cuales se hacen sustituciones de valores paso a paso. Los cálculos hechos por estos dos métodos se apegan estrictamente a estándares tanto nacionales como internacionales.

A lo largo de esta implementación fue necesario modificar la solución inicialmente propuesta debido a los cambios realizados en el problema y su solución. Estos cambios estuvieron relacionados principalmente con el establecimiento del grupo de estaciones base en las cuales esta basado el proyecto.

La documentación y las exposiciones son los dos principales medios de difusión por los cuales se dan a conocer los resultados de este proyecto.

4.5 Reevaluación y rediseño

Muchos de los cálculos necesarios para predecir el comportamiento y desempeño de redes inalámbricas, requieren de constantes iteraciones con cifras difíciles de manejar por lo que fue necesario evaluar la posibilidad de realizar cálculos tanto de forma manual como por medio de un software especializado.

El uso de herramientas sofisticadas en el planeamiento y diseño de radio enlaces se hace cada vez más frecuente en el área de la telefonía celular. El software TEMS CellPlanner de Ericsson es un ejemplo de este tipo de software.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Dentro de lo que denominamos como planteamiento y estudio, el paso inicial y fundamental para el diseño de un radioenlace genérico es el correcto emplazamiento de las instalaciones (sitios, radio bases, torres) sobre la cartografía a escala adecuada, a fin de tener la perspectiva global de cómo es la red.

El área metropolitana (San José) se seleccionó estratégicamente debido a la existencia de un *cluster*⁸ definido y por la importancia y disponibilidad del equipo en estas estaciones base existentes. También se tomó en cuenta la cercanía de los enlaces entre sí, en el área metropolitana y la existencia de torres en cada uno de ellos.

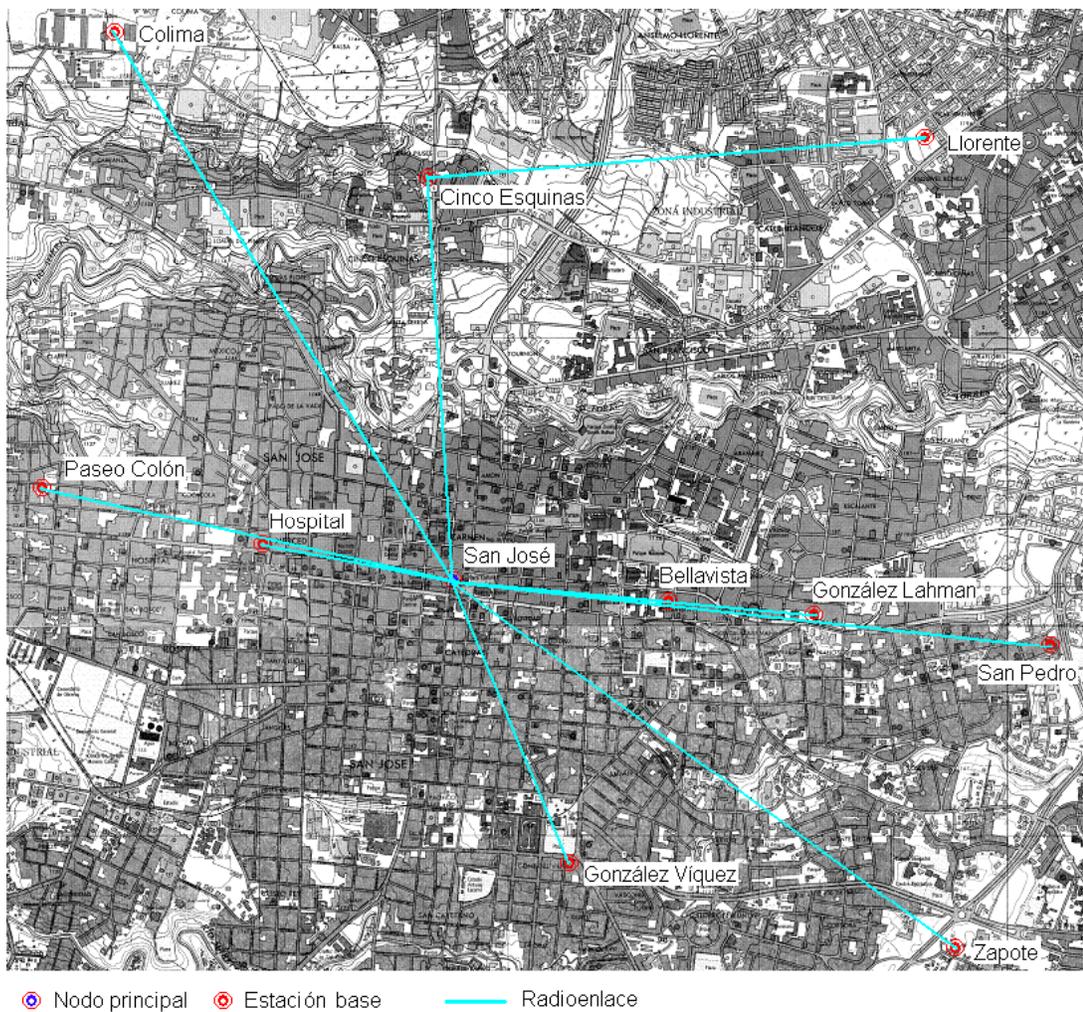
Lo ideal, cuando se desea hacer un análisis geográfico para el diseño de radio enlaces, es contar con una herramienta precisa que permita cargar en un computador información relacionada con el terreno, las edificaciones, la vegetación y el clima de una región determinada.

En el caso del área metropolitana donde se sitúan las estaciones base bajo estudio se eligió una cartografía de escala 1:10000 (Ver figura 5.1). En esta escala se tiene visualización de todos y cada uno los enlaces (como se muestra en las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11) ya que estos presentan distancias relativamente cortas (menores a 2,6 [km]).

⁸ Un *cluster* se define como un grupo de estaciones base interconectadas por medio de radioenlaces a un nodo principal.

Con las estaciones base localizadas en la hoja cartográfica, se realiza estudio teórico de despejamiento del haz radioeléctrico respecto del perfil topográfico del terreno. Esto se hace en forma manual y da como resultado el perfil del enlace.

La existencia de elementos que interfieren en la trayectoria de propagación de la señal radioeléctrica en el camino entre el transmisor y el receptor implica que no toda la señal emitida alcanzará su destino. En concreto, se producirá el fenómeno de la difracción en estos obstáculos, y por consiguiente se producirá una pérdida de la señal asociada a lo que se denomina pérdida de difracción por obstáculos.



Adobe Photoshop

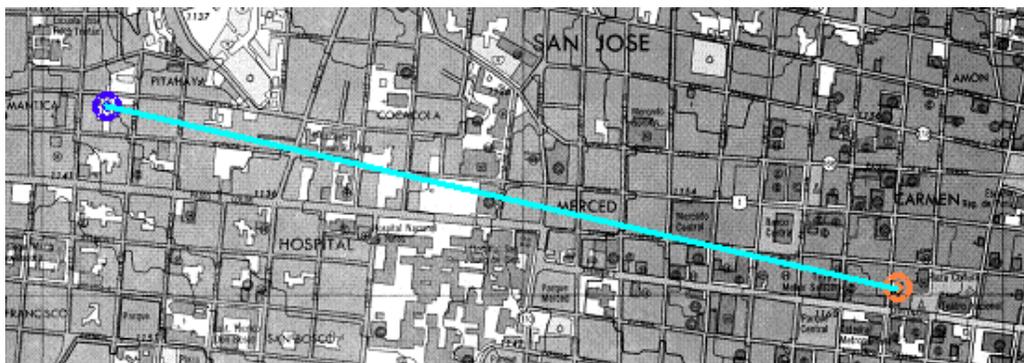
Figura 5.1 Mapa de la ciudad de San José con la ubicación de estaciones base y radioenlaces.



Site A: San José Site B: Cinco Esquinas

Adobe Photoshop

Figura 5.2 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Cinco Esquinas.



Site A: San José Site B: Paseo Colón

Adobe Photoshop

Figura 5.3 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Paseo Colón.



○ Sitio A: San José ○ Sitio B: Colima

Adobe Photoshop

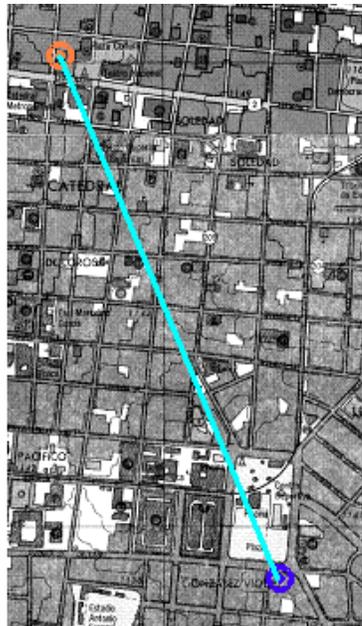
Figura 5.4 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Colima.



📍 Sitio A: San José 📍 Sitio B: Zapote

Adobe Photoshop

Figura 5.5 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Zapote.



📍 Sitio A: San José 📍 Sitio B: González Víquez

Adobe Photoshop

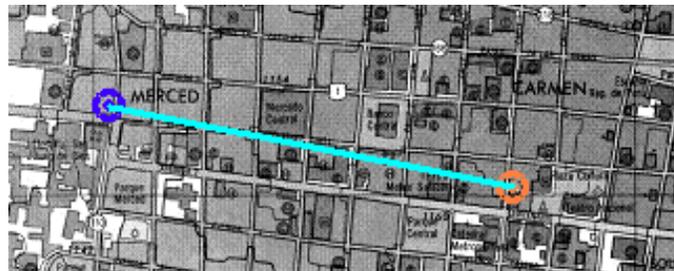
Figura 5.6 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y González Víquez.



○ Sitio A: San José ○ Sitio B: González Lahman

Adobe Photoshop

Figura 5.7 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y González Lahman.



○ Sitio A: San José ○ Sitio B: Hospital

Adobe Photoshop

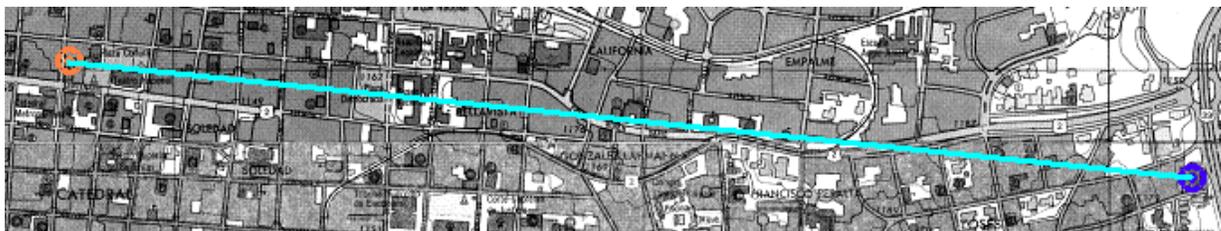
Figura 5.8 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Hospital.



○ Sitio A: San José ○ Sitio B: Bellavista

Adobe Photoshop

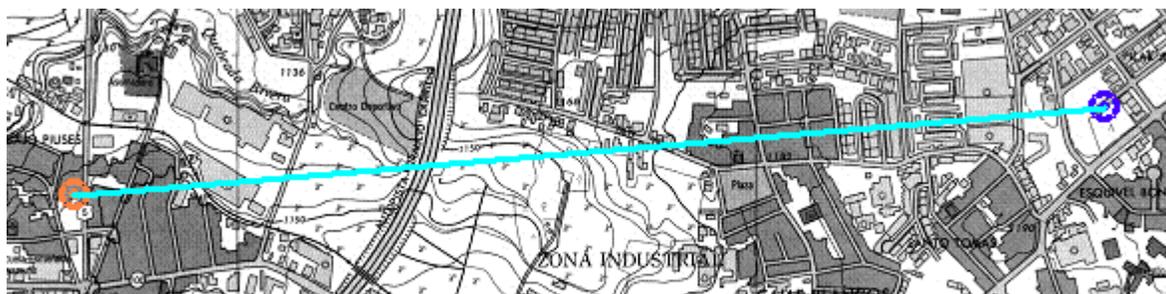
Figura 5.9 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y Bellavista.



○ Sitio A: San José ○ Sitio B: San Pedro

Adobe Photoshop

Figura 5.10 Ubicación geográfica de radioenlace entre San José y San Pedro.



○ Sitio A: Cinco Esquinas ○ Sitio B: Lorente

Adobe Photoshop

Figura 5.11 Ubicación geográfica de radioenlace entre Cinco Esquinas y Lorente.

5.1.1 Descripción de sitios

El tráfico del *cluster* o grupo de estaciones base mencionadas converge en un nodo principal o *Hub* el cual se encuentra en el sitio llamado San José central (ver figura 5.1). En el caso de los enlaces definimos las terminales como uno de los lados entre los cuales se establece un enlace de microondas. Diferentes terminales pueden compartir un mismo sitio geográfico como se ve en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Sitios pertenecientes al *cluster* bajo estudio.

Terminal	Nombre del sitio
SJO2	San José central
SJO3	
SJO4	
SJO7	
SJO9	
SJ10	
SJ19	
5ES2	Cinco Esquinas
5ES3	
PCO2	Paseo Colón
COL2	Colima
ZAP2	Zapote
GVI2	González Víquez
GOL2	González Lahman
HOS1	Hospital
BEVI	Bellavista
SPD2	San Pedro
LLO1	Llorente

Todos los sitios que se encuentran en este *cluster* pertenecen al área metropolitana, en un radio de 1,5 [km]. (ver figura 5.1).

A continuación se presenta información general de los sitios como coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar (msnm), altura de edificaciones, torres o monopolos sobre los cuales se encuentran los equipos de transmisión así como fotos de los mismos.

5.1.2 Descripción de enlaces

En las tablas que se presentan a continuación se concentra la información relevante acerca de todos los enlaces. Se muestran datos generales sobre los sitios A y B como se le denominan al extremo cercano y lejano del enlace, así como datos relacionados con la transmisión y las antenas. La información en estas tablas permite realizar cálculos teóricos que serán desarrollados más adelante.

Entre los datos generales están los nombres de los sitios, los códigos de las terminales, la longitud y latitud de cada sitio, así como la altura sobre el nivel del mar y la longitud del enlace (distancia entre sitios A y B).

Entre los datos relacionados con la transmisión están el tipo de sistema o configuración⁹, la capacidad del enlace (cantidad de E1), las frecuencias de transmisión y recepción en los sitios y las potencias de transmisión¹⁰.

Los datos de las antenas utilizadas en cada enlace como el tamaño, la ganancia y la polarización son factores sumamente importantes en el establecimiento de enlaces¹¹.

Con la ayuda de la cartografía presentada y la información acerca de las alturas en las que se ubican las antenas de transmisión por microondas se puede elaborar los denominados perfiles de enlace o terreno que se muestran en las figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21. El perfil del enlace aparte de brindar una idea de cómo se distribuye el terreno entre los sitios A y B contribuye al estudio teórico del despejamiento del haz radioeléctrico (“rayo” que transporta la información).

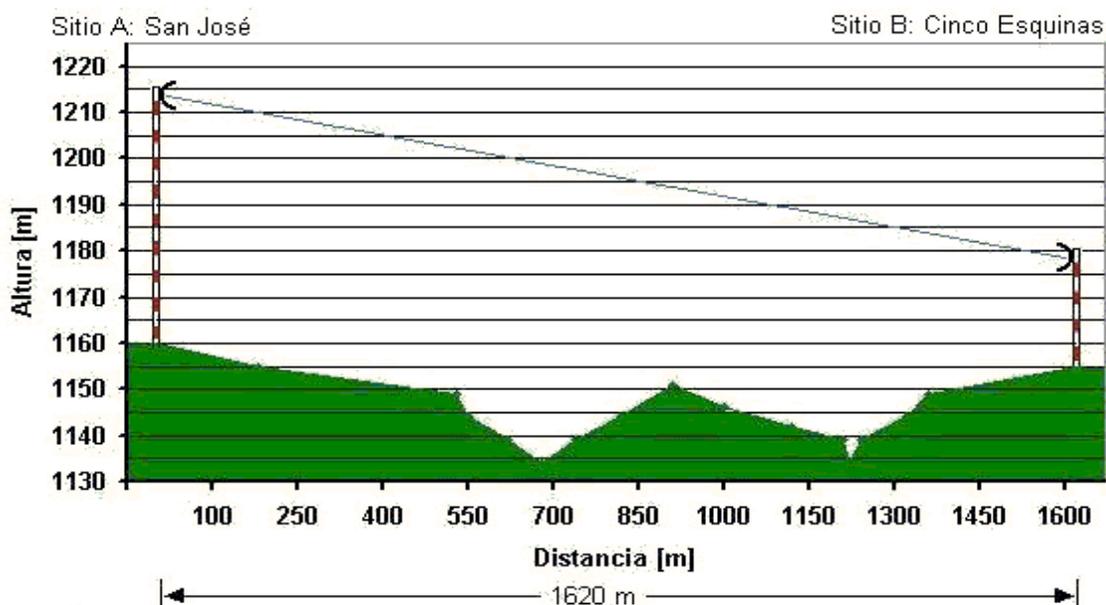
⁹ Los diferentes tipos de configuración de los sistemas, se describen en la sección 5.2 de la Descripción de hardware.

¹⁰ El establecimiento de frecuencias de transmisión y recepción se detalla en la sección 5.1.3.

¹¹ En la sección 5.2 de Descripción de hardware se detallan las características más importantes de las antenas.

Tabla 5.2 Información enlace SJO2-5ES2 (San José Central – Cinco Esquinas)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Cinco Esquinas
Código o terminal del sitio	SJO2	5ES2
Latitud de sitio	09° 55' 59,60"	09° 56' 57,73"
Longitud de sitio	84° 04' 41,00"	84° 04' 51,62"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1174
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	20 – 33
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	1,62	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	2 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14767	15187
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15187	14767
Potencia de salida en sitio [dBm]	25	25
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,6	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	36,6	
Polarización	Vertical	

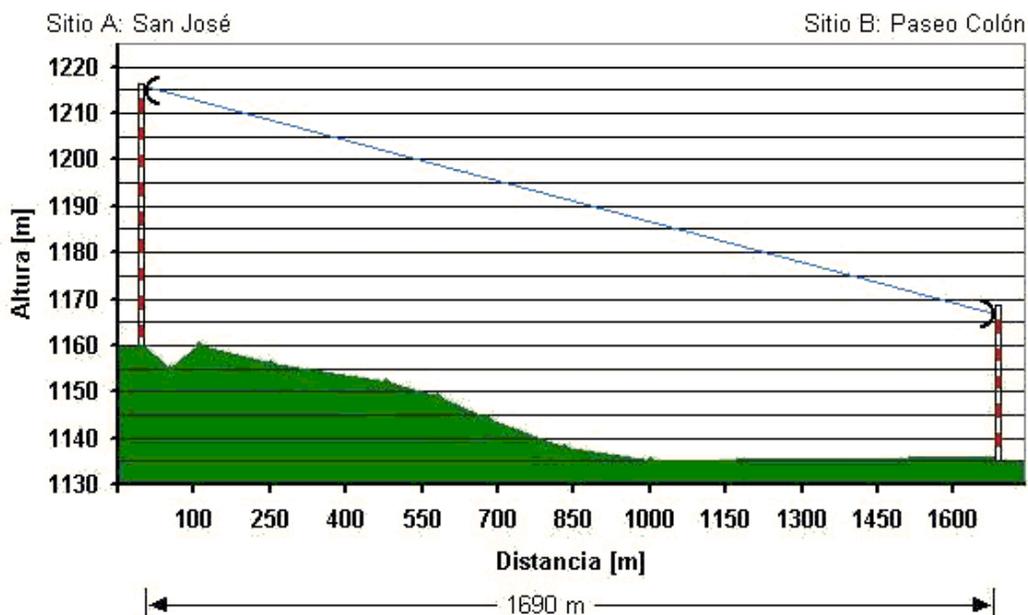


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.12 Perfil de enlace San José Central – Cinco Esquinas.

Tabla 5.3 Información Enlace SJO4-PCO2 (San José Central – Paseo Colón)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Paseo Colón
Código o terminal del sitio	SJO4	PCO2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 56' 13.10"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 05' 35.00"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1201
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	31
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	1,69	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	2 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	7442	7603
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	7603	7442
Potencia de salida en sitio [dBm]	15	10
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,6	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	31	
Polarización	Vertical	

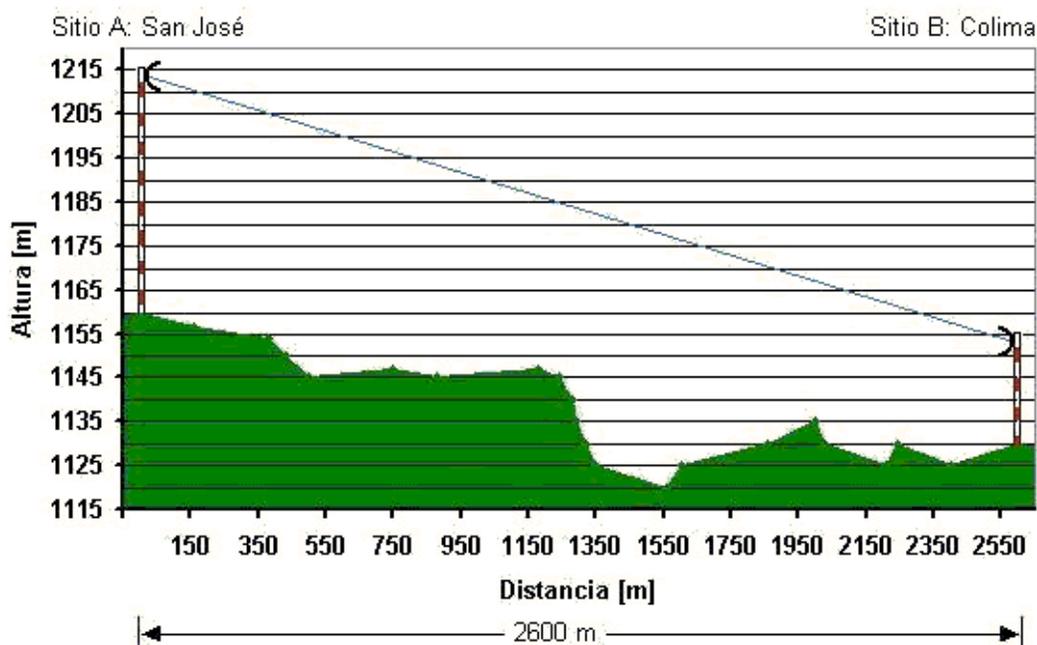


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.13 Perfil de enlace San José – Paseo Colón.

Tabla 5.4 Información Enlace SJO7-COL2 (San José Central – Colima)

	Sitios	
Datos Generales	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Colima
Código o terminal del sitio	SJO7	COL2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 57' 13.30"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 05' 20.60"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1162
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	14-25-38
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	2,6	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	4 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14739	14816
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	14816	14793
Potencia de salida en sitio [dBm]	20	20
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

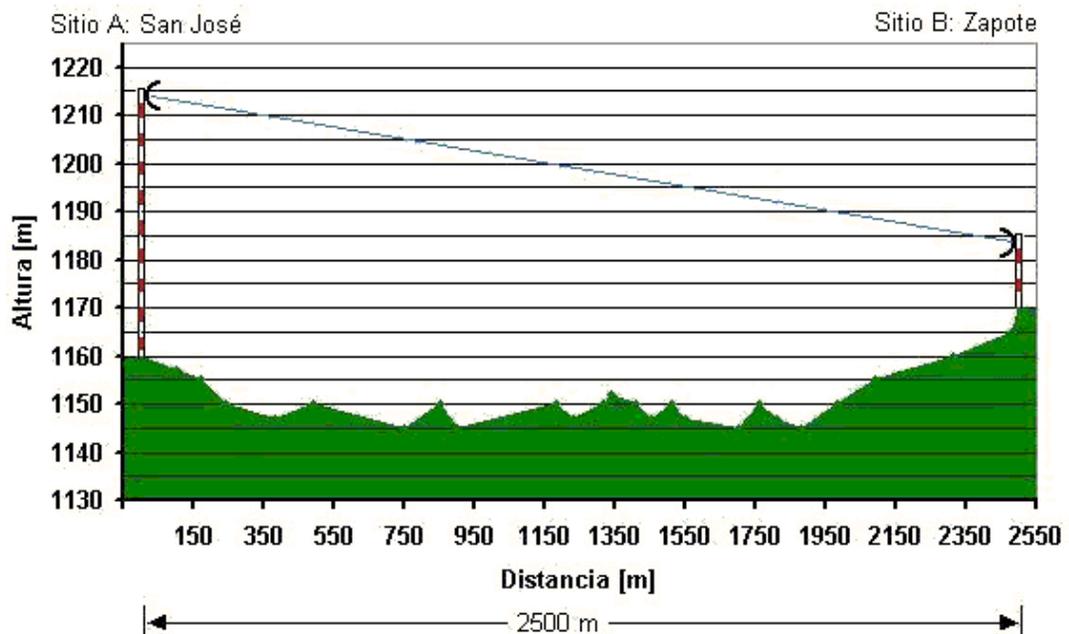


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.14 Perfil de enlace San José Central – Colima.

Tabla 5.5 Información Enlace SJO9-ZAP2 (San José Central – Zapote)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Zapote
Código o terminal del sitio	SJO9	ZAP2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 55' 12.20"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 03' 33.80"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1184
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	13 – 22
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	2,5	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	4 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14788	15209
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15209	14788
Potencia de salida en sitio [dBm]	10	10
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

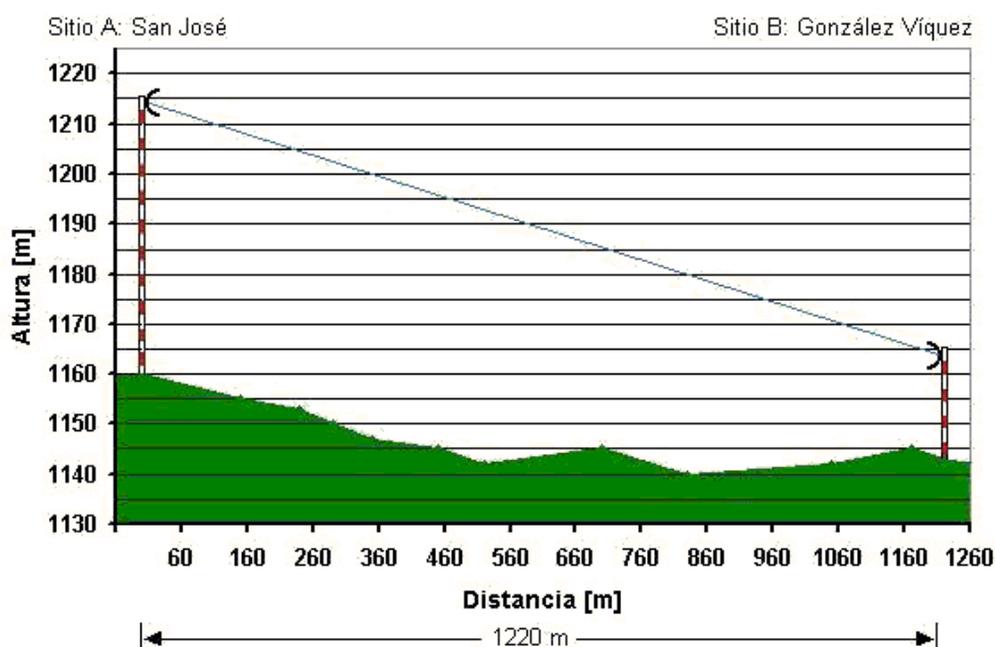


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.15 Perfil de enlace San José Central – Zapote.

Tabla 5.6 Información Enlace SJ10-GVI2 (San José Central – González Víquez)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	González Víquez
Código o terminal del sitio	SJ10	GVI2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 55' 23.30"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 04' 26.50"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1155
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	22
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	1,22	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	3 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14746	15166
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15166	14746
Potencia de salida en sitio [dBm]	15	15
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

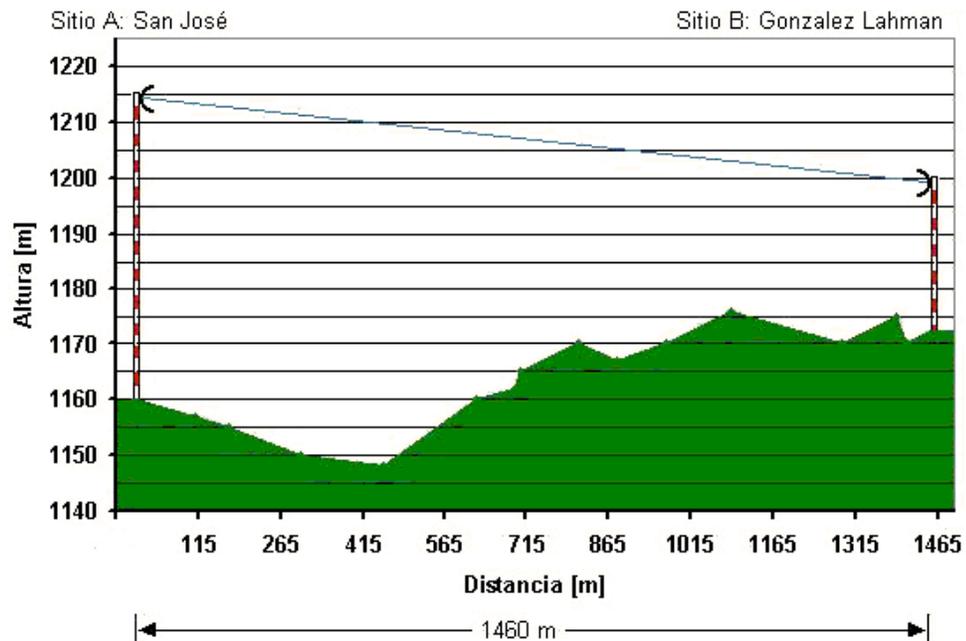


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.16 Perfil de enlace San José Central – González Víquez.

Tabla 5.7 Información Enlace SJ13-GOL2 (San José Central – González Lahman)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	González Lahman
Código o terminal del sitio	SJ13	GOL2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 55' 55.60"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 03' 51.30"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1202
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	27
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	1,46	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	3 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14746	15166
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15166	14746
Potencia de salida en sitio [dBm]	15	15
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

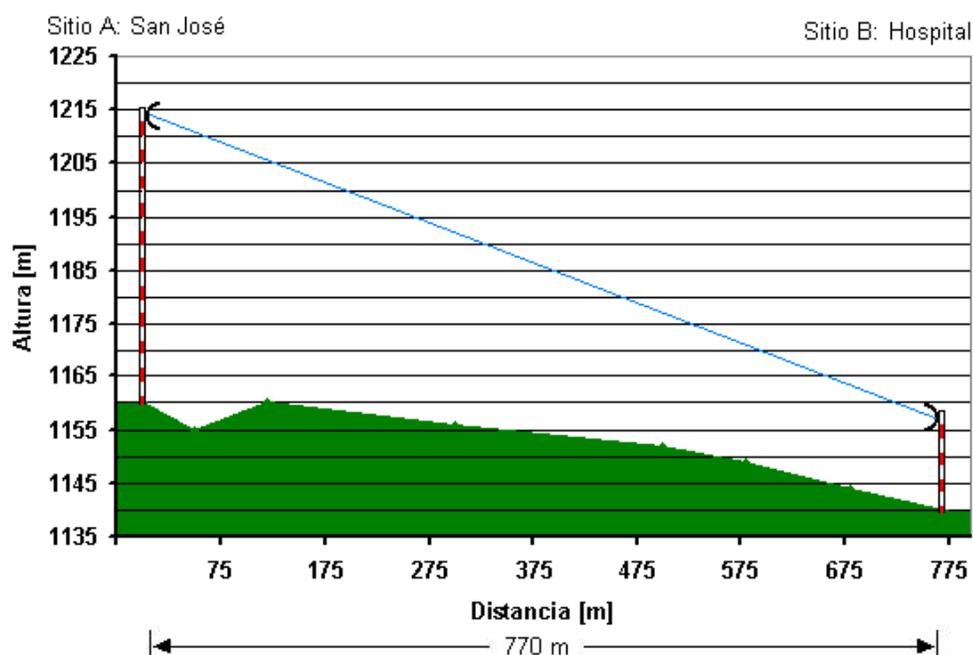


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.17 Perfil de enlace San José Central – González Lahman.

Tabla 5.8 Información Enlace SJ14-HOS1 (San José Central – Hospital)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Hospital
Código o terminal del sitio	SJ14	HOS1
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 56' 05.00"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 05' 05.00"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1193
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	18
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	0,77	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	3 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14746	15166
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15166	14746
Potencia de salida en sitio [dBm]	15	15
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

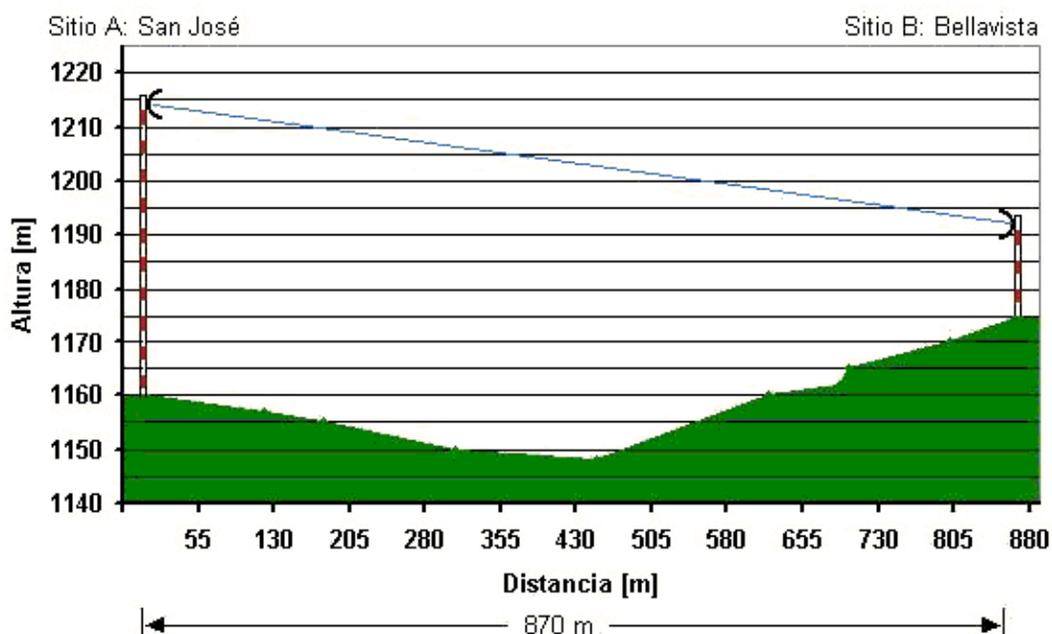


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.18 Perfil de enlace San José Central – Hospital.

Tabla 5.9 Información Enlace SJ19-BEVI (San José Central – Bellavista)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	Bellavista
Código o terminal del sitio	SJ19	BEVI
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 55' 57.20"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 04' 13.00"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1179
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	18
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	0,87	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	4 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14795	15215
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15215	14795
Potencia de salida en sitio [dBm]	10	10
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

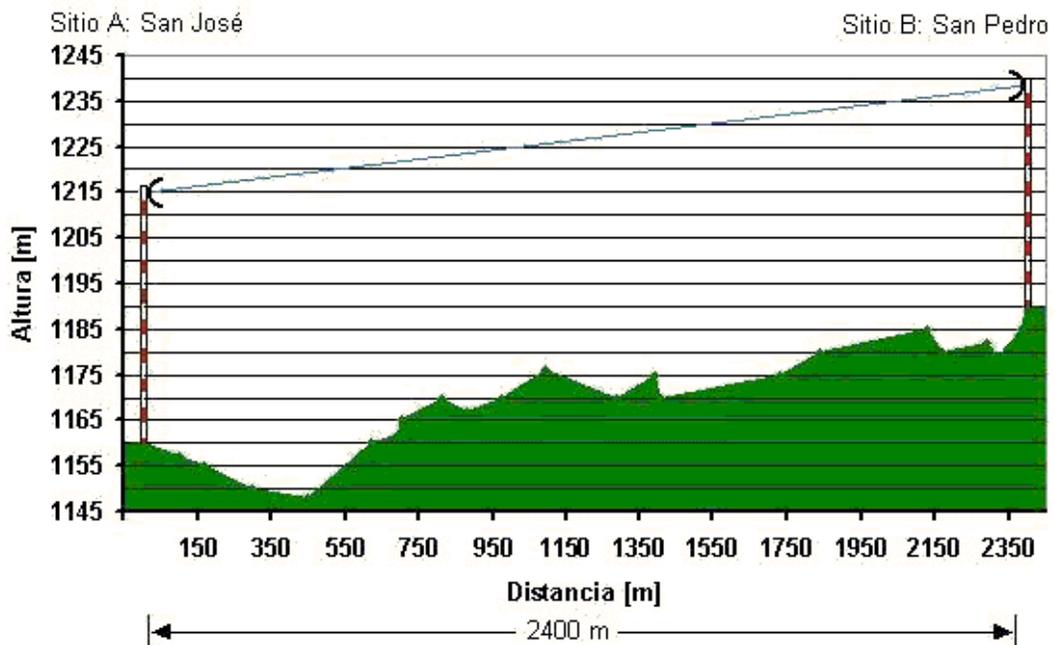


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.19 Perfil de enlace San José Central Bellavista.

Tabla 5.10 Información Enlace SJO3-SPD2 (San José Central – San Pedro)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	San José Central	San Pedro
Código o terminal del sitio	SJ03	SPD2
Latitud de sitio	09° 55' 59.60"	09° 55' 51.90"
Longitud de sitio	84° 04' 41.00"	84° 03' 22.40"
Altitud de sitio [msnm]	1120	1243
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	55	49
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	2,4	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	8 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	14733	15153
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	15153	14733
Potencia de salida en sitio [dBm]	15	15
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	

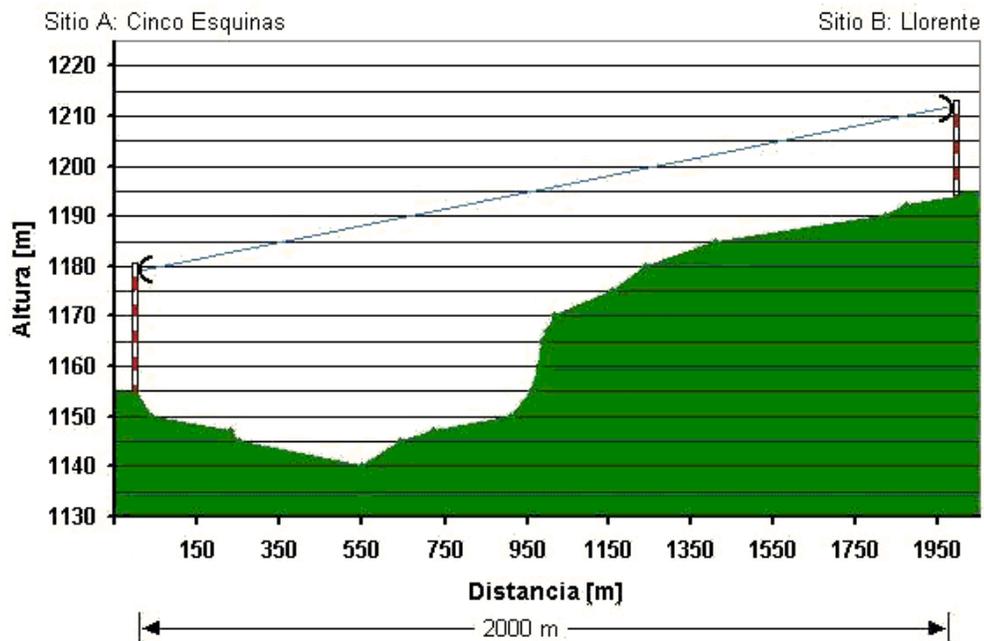


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.20 Perfil de enlace San José Central – San Pedro.

Tabla 5.11 Información Enlace LLO1-5ES2 (Llorente – Cinco Esquinas)

Datos Generales	Sitios	
	Sitio A	Sitio B
Nombre de sitio	Llorente	Cinco Esquinas
Código o terminal del sitio	LLO1	5ES2
Latitud de sitio	09° 57' 41.60"	09° 56' 57.73"
Longitud de sitio	84° 04' 01.90"	84° 04' 51.62"
Altitud de sitio [msnm]	1153	1174
Altura de la antena en la torre del sitio [m]	18	20 – 33
Distancia de enlace entre sitio A y B [km]	2	
Datos relacionados con transmisión		
Tipo de sistema	1+1	
Capacidad del enlace	2 E1	
Frecuencia de transmisión sitio [MHz]	15180	14760
Frecuencia de recepción sitio [MHz]	14760	15180
Potencia de salida en sitio [dBm]	20	20
Atenuación adicional en sitio [dB]	0	0
Datos de antenas		
Tamaño de la antena en el sitio [m]	0,3	
Ganancia de antena en sitio [dBi]	32,1	
Polarización	Vertical	



Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura 5.21 Perfil de enlace Cinco Esquinas – Llorente.

5.1.3 Relación entre elementos de la solución

El planeamiento de frecuencias, las pérdidas y el desvanecimiento son elementos que se relacionan por medio de los objetivos de calidad y disponibilidad dentro del estudio realizado.

Dentro de cada uno de estos elementos se detallan fenómenos que se presentan dependiendo de las circunstancias entorno al enlace. El dimensionamiento de estos fenómenos se puede llevar a cabo por medio de cálculos.

5.1.3.1 Balance de potencia

El esquema que se muestra en la figura 5.22, expone de una forma simplificada pero suficientemente completa el concepto de balance de potencia.

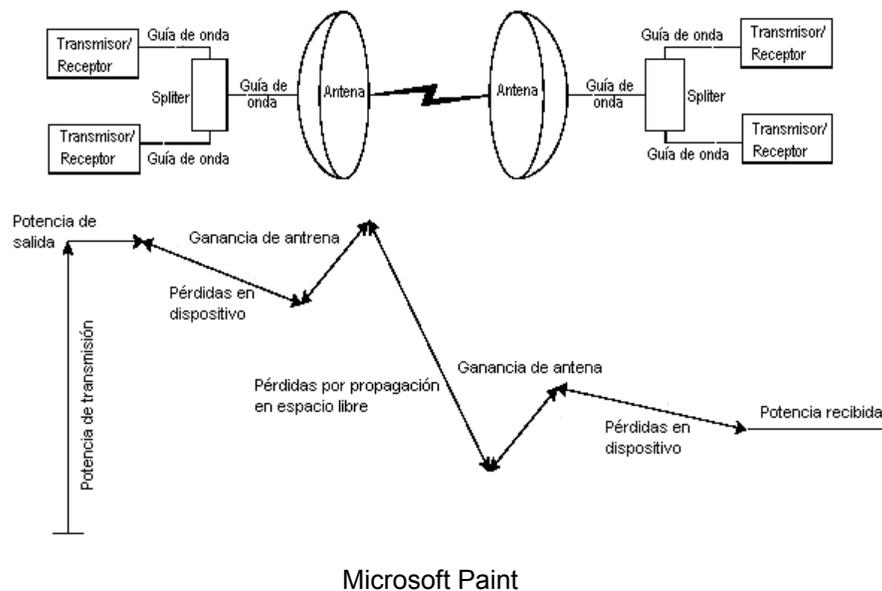


Figura 5.22 Diagrama de referencia utilizado para la explicación del balance de potencia.

En el diagrama de la figura 5.22 se involucran términos como el de potencia de transmisión o de salida, ganancia de antenas, pérdidas en dispositivos, potencia recibida, etc., los cuales son tratados a continuación.

Potencia de transmisión (P_T)

Los bloques de transmisión/recepción que se muestran en la parte superior de la figura 5.22 tanto a la izquierda como a la derecha representan las unidades de radio o RAU. Estos dispositivos son los encargados de entregar la potencia hasta la antena de transmisión y recibir la misma en el extremo lejano antes de pasar por la antena de recepción¹².

Las potencias de transmisión con las que trabajan los equipos Mini-Link actualmente se muestran en la tabla 5.12. Las potencias tanto en el extremo cercano como en el extremo lejano de los enlaces San José – Cinco Esquinas, San José – Colima y Cinco Esquinas – Llorente se controlan por medio de unidades RAU de 15-E¹³ HP (*Hi Power*) lo que permite ajustar valores de salida por encima de los 20 [dBm]. En los extremos del enlace San José – Paseo Colón se encuentran unidades RAU de 7-E¹⁴ (banda de frecuencia de 7 [GHz]), las cuales trabajan en un rango de potencia de 1 a 21 [dBm]. Para el resto de enlaces se tienen trabajando unidades RAU 15-E (banda de frecuencia de 15 [GHz]) en las cuales se pueden establecer niveles de salida que van desde los 3 a los 18 [dBm].

¹² Las unidades RAU se detallan con mayor detenimiento en el Apéndice A.6.

¹³ El Anexo B.1 se muestran las hojas de datos de las unidades de radio Mini-Link 15-E.

¹⁴ El Anexo B.2 se muestran las hojas de datos de las unidades de radio Mini-Link 7-E.

Tabla 5.12 Potencia de transmisión ajustada en cada uno de los sitios.

Enlace	Sitio	Potencia de Transmisión (P_T) [dBm]
SJO2-5ES2	SJO2	25
	5ES2	
SJO4-PCO2	SJO4	10
	PCO2	
SJO7-COL2	SJO7	20
	COL2	
SJO9-ZAP2	SJO9	10
	ZAP2	
SJ10-GVI2	SJ10	15
	GVI2	
SJ13-GOL2	SJ13	20
	GOL2	
SJ14-HOS1	SJ14	15
	HOS1	
SJ19-BEVI	SJ19	10
	BEVI	
SJO3-SPD2	SJO3	15
	SPD2	
5ES3-LLO1	5ES3	20
	LLO1	

Pérdidas

Pérdidas por propagación en espacio libre (L_{FSL})

En el diseño de radioenlaces, las pérdidas por propagación en el espacio libre representan la principal fuente de pérdidas en un sistema de transmisión punto a punto, por lo que se debe de dedicar una especial atención a este apartado.

Como se vio en el apartado 3.2 del Marco teórico, las pérdidas por propagación en el espacio libre pueden ser calculadas por medio de la ecuación 3.6.

Para ejemplificar el cálculo de las pérdidas por propagación en el espacio libre se toman los valores de distancia y frecuencia o longitud de onda (obtenida por medio de la ecuación 3.1) para el enlace San José – Cinco Esquinas.

$$L_{FSL} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot 1,62}{0,02}\right) = 92,5 + 20 \cdot \log 1,62 + 20 \cdot \log 15 \text{ [dB]}$$

$$L_{FSL} = 120,15 \text{ [dB]}$$

Los valores de pérdidas por propagación en el espacio libre de los diferentes enlaces se resumen en la tabla 5.13.

Tabla 5.13 Pérdidas por propagación en el aire libre para cada enlace.

Enlace	Distancia de enlace (d) [km]	Frecuencia (f) [GHz]	Pérdidas por propagación en el espacio libre (L_{FSL}) [dB]
SJO2-5ES2	1,62	15	120,15
SJO4-PCO2	1,69	7	113,90
SJO7-COL2	2,6	15	124,26
SJO9-ZAP2	2,5	15	123,92
SJ10-GVI2	1,22	15	117,69
SJ13-GOL2	1,46	15	119,25
SJ14-HOS1	0,77	15	113,69
SJ19-BEVI	0,87	15	114,75
SJO3-SPD2	2,4	15	123,57
5ES3-LLO1	2	15	121,98

Pérdidas por gases en la atmósfera

Como se vio en el apartado 3.2 del Marco teórico, las pérdidas por gases en la atmósfera pueden ser calculadas por medio de la ecuación 3.7.

Aquí, A_G representa la atenuación total por gases, γ_o la absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco), γ_w la absorción específica debida a los efectos del vapor de agua y d la distancia del enlace.

La absorción total específica compuesta por el vapor y oxígeno se obtiene por medio de la ecuación 3.8 que se muestra a continuación.

Existen ecuaciones que permiten obtener el valor de cada absorción por separado, sin embargo la figura 3.7 muestra valores de la atenuación específica total por gases (γ_G) para diferentes frecuencias, que puede ser utilizada para simplificar los cálculos.

Los valores de pérdidas por gases en la atmósfera de los diferentes enlaces se resumen en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Pérdidas por gases en la atmósfera para cada enlace.

Enlace	Distancia de enlace (d) [km]	Frecuencia (f) [GHz]	Pérdidas por gases (A_G) [dB]
SJO2-5ES2	1,62	15	0,23
SJO4-PCO2	1,69	7	0,09
SJO7-COL2	2,6	15	0,39
SJO9-ZAP2	2,5	15	0,38
SJ10-GVI2	1,22	15	0,18
SJ13-GOL2	1,46	15	0,22
SJ14-HOS1	0,77	15	0,12
SJ19-BEVI	0,87	15	0,13
SJO3-SPD2	2,4	15	0,36
5ES3-LLO1	2	15	0,30

Pérdidas ocasionadas por la precipitación

En la sección 3.2 del Marco teórico se muestra como calcular la atenuación total debida a la precipitación mediante la siguiente fórmula:

$$A_R = \gamma_R \cdot d_{eff} \text{ [dB]}$$

Aquí, A_R es la atenuación total debida a la precipitación, γ_R es la atenuación específica debida a la lluvia, d_{eff} es la longitud efectiva del enlace.

La atenuación específica se obtiene por medio de la ecuación 3.10 que se muestra a continuación.

$$\gamma_R = k_f \cdot R^{\alpha_f}$$

Para ejemplificar el cálculo de las pérdidas por gases en la atmósfera se toma el valor de distancia y la frecuencia para el enlace San José – Cinco Esquinas.

Con los valores de constantes que se muestran en la tabla 3.1, y los valores de 0° y 90° mencionados anteriormente los valores de los coeficientes resultan de la siguiente forma:

$$k_f = 0,0335$$

$$\alpha_f = 1,12835$$

Así, con los coeficientes obtenidos anteriormente y un índice de precipitación para un 0,01 % del tiempo de 145¹⁵, la atenuación específica es:

$$\gamma_R = 9,20 \text{ [dB/km]}$$

Para obtener el valor de la atenuación, también es necesario el cálculo de la longitud efectiva del enlace por medio de la ecuación 3.13.

Aquí la longitud relativa (d_{eff}), se calcula por medio de la longitud real del enlace y un factor de reducción.

Para el enlace San José-Cinco Esquinas los cálculos para la obtención del factor de reducción se muestran a continuación:

$$d_0 = 3,976$$

Además,

$$r = 0,711$$

¹⁵ Este valor se obtiene por medio de la figura que se muestra en el Anexo B.4)

Así, el valor de la longitud efectiva es:

$$d_{eff} = 1,152 \text{ [km]}$$

Finalmente, la atenuación ocasionada por la precipitación en el enlace San José-Cinco Esquinas es:

$$A_R = 10,598 \text{ [dB]}$$

Los valores de atenuación por precipitación de los diferentes enlaces se resumen en la tabla 5.15.

Tabla 5.15 Atenuación por precipitación para cada enlace.

Enlace	Distancia de enlace (d) [km]	Frecuencia (f) [GHz]	Atenuación por precipitación (A_L) [dB]
SJO2-5ES2	1,62	15	10,6
SJO4-PCO2	1,69	7	1,98
SJO7-COL2	2,6	15	14,46
SJO9-ZAP2	2,5	15	14,12
SJ10-GVI2	1,22	15	8,58
SJ13-GOL2	1,46	15	9,82
SJ14-HOS1	0,77	15	5,93
SJ19-BEVI	0,87	15	6,56
SJO3-SPD2	2,4	15	13,76
5ES3-LLO1	2	15	12,24

Atenuación por guías de onda o *feeders* (A_F)

La tabla 12 del Anexo B.3 presenta las atenuaciones en las guías de onda que son utilizadas en los equipos Mini-Link tanto para 7 [GHz] como para 15 [GHz].

Para los enlaces que trabajan a 15 [GHz] la atenuación por guías de onda es de 0.7 [dB] por cada 0,9 [m], mientras que para el caso de 7 [GHz] la atenuación es de 0,3 [dB] por cada 0,9 [m].

La longitud de los *feeders* utilizados en cada estación base es de aproximadamente 1.8 [m], por lo que las pérdidas por *feeders* en un radioenlace son de:

$$A_F = 2,8 \text{ [dB]}$$

Zonas de Fresnel

Como se describe en el apartado 3.2 del Marco teórico, las zonas de Fresnel son elipsoides que rodean la trayectoria entre el transmisor y el receptor.

Para ejemplificar el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel, se toman los valores de distancias y frecuencia para el enlace Son José – Cinco Esquinas. Aquí se hacen los cálculos para un punto M colocado a la mitad de la distancia del enlace.

$$r_1 = 2,84 \text{ [m]}$$

El radio de la primera zona de Fresnel esta en función de la distancia del Sitio A (extremo cercano) al Sitio B (extremo lejano) del enlace (ver figura 5.48), la distancia entre cualquier punto M al elipsoide y la frecuencia. La primera zona de Fresnel contiene la mayor cantidad de potencia destinada al receptor por lo que se considera como la esencial para los cálculos.

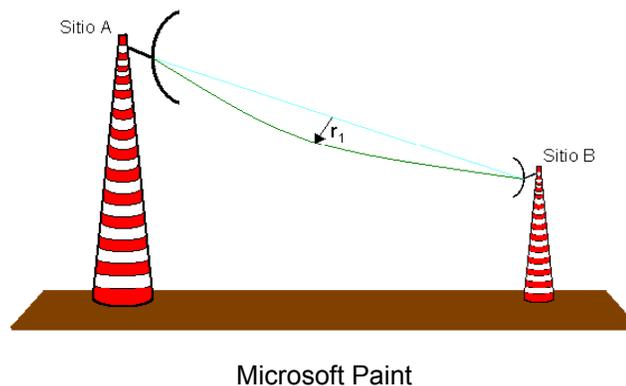


Figura 5.24 Zonas de Fresnel en un enlace por microondas.

Los radios para la primera zona de Fresnel de los diferentes enlaces se resumen en la tabla 5.16.

Tabla 5.16 Radio de la 1ª zona de Fresnel a la mitad de la distancia para cada enlace.

Enlace	Distancia de enlace (d) [km]	Frecuencia (f) [GHz]	Mitad de distancia de enlace (d _A) [km]	Radio de la primera zona de Fresnel a mitad de la distancia (r ₁) [m]
SJO2-5ES2	1,62	15	0,81	2,84
SJO4-PCO2	1,69	7	0,845	4,25
SJO7-COL2	2,6	15	1,3	3,60
SJO9-ZAP2	2,5	15	1,25	3,53
SJ10-GVI2	1,22	15	0,61	2,47
SJ13-GOL2	1,46	15	0,73	2,70
SJ14-HOS1	0,77	15	0,385	1,96
SJ19-BEVI	0,87	15	0,435	2,08
SJO3-SPD2	2,4	15	1,2	3,46
5ES3-LLO1	2	15	1	3,16

Consideramos que para la propagación radioeléctrica no es suficiente que exista un despejamiento simple del rayo directo entre origen y destino. Es también necesario que exista un cierto margen alrededor de esta línea de visión directa que esté despejado.

En muchos casos se tiene que para que el enlace pueda ser aprobado la distancia medida C_L en el punto M debe ser mayor o igual a un 60 % del valor del radio de la primera zona de Fresnel, sino el enlace debe ser descartado y se debe buscar otro punto para ubicar la antena.

La distancia de despejamiento puede ser calculada por medio de la ecuación 3.4 como se vio en el apartado 3.3 del Marco teórico. Sin embargo el uso de esta ecuación no fue necesario, debido a que este despejamiento es confirmado por medio de los perfiles de enlace mostrados en las figuras en el Apéndice A.4.

En el caso de los radioenlaces bajo estudio, el criterio en cuanto al despejamiento es diferente al del 60 %. Para todos los enlaces se toma como prioridad que el radio de Fresnel debe de estar 100 % despejado a lo largo de todas y cada una de las trayectorias.

En las figuras que se muestran en el Apéndice A.5 se observa con claridad la no presencia de obstáculos a lo largo de los enlaces¹⁶. En el caso de las figuras se observa la longitud del radio de Fresnel a lo largo de la distancia entre sitios A y B para todos los enlaces.

¹⁶ En el Apéndice A.5 se muestran fotografías que comprueban la línea de vista (LOS) en los diferentes enlaces.

Potencia de recepción (P_R)

La Potencia de recepción (P_R) depende de los parámetros de los componentes del sistema los cuales son constantes en el enlace, depende también de las pérdidas del espacio libre, las pérdidas por gases en la atmósfera, las pérdidas por precipitación y las pérdidas por obstrucciones. Debido a la propagación en el espacio se produce la disminución de la misma potencia ya que este parámetro no es constante, varía con la frecuencia y con la distancia. La figura 5.22 muestra los componentes de un sistema de transmisión y los parámetros que influyen en la potencia recibida (P_R) del sistema.

Los diferentes componentes de un sistema de transmisión poseen características que influyen en la obtención de la potencia P_R del sistema, las ecuaciones 3.18 y 3.19 de la sección 3.2 del Marco teórico muestra de que parámetros depende la P_R ; se toman en cuenta para el cálculo de P_R , la potencia transmitida o de salida, la ganancia tanto de la antena receptora (G_{ARX}) como de la transmisora (G_{ATX}) y las pérdidas de los dispositivos en este caso de los *feeders* (A_F) (son cables coaxiales o guías de onda entre el equipo trasmisor y la antena), se incluyen también en este cálculo las pérdidas en el espacio libre (L_{SFL}) y la atenuación que presentan tanto los gases (A_G) como la lluvia (A_L). Debido a la no existencia de obstáculos en la línea de vista de los diferentes obstáculos es que omiten los cálculos referentes a las pérdidas por obstáculos (A_{OBST}) de todo tipo.

Para ejemplificar el cálculo de la potencia de recepción, se toma en cuenta todas las ganancias y pérdidas involucradas en el enlace San José – Cinco Esquinas. Se hacen cálculos de potencia de recepción con y sin el efecto de la precipitación con el fin de cuantificar su presencia.

Sin precipitación, la potencia de recepción en el enlace San José – Cinco Esquinas es:

$$P_R = -24,98) \text{ [dBm]}$$

Sin precipitación, la potencia de recepción en el enlace San José – Cinco Esquinas es:

$$P_R = -35,58 \text{ [dBm]}$$

En la tabla 5.17 se muestran todos los niveles de recepción para cada uno de los enlaces.

Tabla 5.17 Información relevante en el cálculo teórico de la potencia de recepción para cada uno de los enlaces.

Enlace	Pérdidas por propagación en el espacio libre (L _{FSL}) [dB]	Pérdidas por gases en la atmósfera (A _G) [dB]	Pérdidas por feeders (A _F) [dB]	Pérdidas por lluvia (A _L) [dB]	Potencia de transmisión (P _T) [dBm]	Ganancia de antena transmisora /receptora (G _A) [dBi]	Potencia de recepción sin precipitación (P _R) [dBm]	Potencia de recepción con precipitación (P _R) [dBm]
SJO2-5ES2	120,15	0,23	2,8	10,6	25	36,6	-24,98	-35,58
SJO4-PCO2	113,90	0,09	1,2	1,98	10	31	-43,19	-45,17
SJO7-COL2	124,26	0,39	2,8	14,46	20	32,1	-43,25	-57,71
SJO9-ZAP2	123,92	0,38	2,8	14,12	10	36,6	-43,9	-58,02
SJ10-GVI2	117,69	0,18	2,8	8,58	15	36,6	-32,47	-41,05
SJ13-GOL2	119,25	0,22	2,8	9,82	20	32,1	-38,07	-47,89
SJ14-HOS1	113,69	0,12	2,8	5,93	15	32,1	-37,41	-43,34
SJ19-BEVI	114,75	0,13	2,8	6,56	10	32,1	-43,48	-50,04
SJO3-SPD2	123,57	0,36	2,8	13,76	15	32,1	-47,53	-61,29
5ES3-LLO1	121,98	0,30	2,8	12,24	20	32,1	-40,88	-53,12

5.1.3.3 Sobrealcance (Overreach)

El sobrealcance u *overreach* que puede tener una señal es sumamente importante en el análisis y diseño de enlaces de microondas, debido a que el mismo puede ser el causante de interferencia con otros sitios.

Para hacer cálculos de sobrealcance, se utilizaron las mismas fórmulas que fueron necesarias en la obtención de niveles de recepción a una distancia (d).

En el diseño se propone calcular la potencia recibida en un sitio hipotético ubicado a una distancia de dos veces la longitud del enlace. Los resultados de esta simulación se encuentran en la tabla 5.18.

Los niveles de potencia obtenidos en la tabla 5.18 no toman en cuenta las pérdidas por gases, precipitación, obstrucción, ni las causadas por los *feeders*.

Tabla 5.18 Potencia de recepción al doble de la distancia para los diferentes enlaces.

Enlace	Distancia de enlace (d) [km]	Frecuencia (f) [GHz]	Doble de la distancia (2·d) [km]	Potencia de recepción para el doble de la distancia ($P_{R,2-d}$) [dBm]
SJO2-5ES2	1,62	15	3,24	-31,9
SJO4-PCO2	1,69	7	3,38	-44,4
SJO7-COL2	2,6	15	5,2	-49,9
SJO9-ZAP2	2,5	15	5	-59,7
SJ10-GVI2	1,22	15	2,44	-48,5
SJ13-GOL2	1,46	15	2,92	-50
SJ14-HOS1	0,77	15	1,54	-44,4
SJ19-BEVI	0,87	15	1,74	-50,5
SJO3-SPD2	2,4	15	4,8	-54,4
5ES3-LLO1	2	15	4	-47,8

5.1.3.4 Desvanecimiento en los radioenlaces

El margen de desvanecimiento puede ser calculado por medio de la ecuación 3.20. En esta ecuación, M representa el margen de desvanecimiento, P_R la potencia de recepción y P_{Tr} el nivel *threshold* o umbral.

Para ejemplificar el cálculo del margen de desvanecimiento, se toman los valores de potencia de recepción del enlace San José – Cinco Esquinas y el nivel umbral anteriormente mencionado.

$$M = 45,02 \text{ [dB]}$$

En la tabla 5.19 se muestra el margen de desvanecimiento obtenido para cada uno de los enlaces, tomando en cuenta las potencias de recepción mostradas en la tabla 5.17.

Tabla 5.19 Potencias de recepción y márgenes de desvanecimiento para cada enlace.

Enlace	Potencia de recepción sin el efecto de la precipitación (P_R) [dBm]	Margen de desvanecimiento sin el efecto de la precipitación (M) [dB]	Potencia de recepción con el efecto de la precipitación (P_R) [dBm]	Margen de desvanecimiento tomando en cuenta las pérdidas por precipitación (M) [dB]
SJO2-5ES2	-24,98	45,02	-35,58	34,42
SJO4-PCO2	-43,19	26,81	-45,17	24,83
SJO7-COL2	-43,25	26,75	-57,71	12,29
SJO9-ZAP2	-43,9	26,1	-58,02	11,98
SJ10-GVI2	-32,47	37,53	-41,05	28,95
SJ13-GOL2	-38,07	31,93	-47,89	22,11
SJ14-HOS1	-37,41	32,59	-43,34	26,66
SJ19-BEVI	-43,48	26,52	-50,04	19,96
SJO3-SPD2	-47,53	22,47	-61,29	8,71
5ES3-LLO1	-40,88	29,12	-53,12	16,88

5.1.3.5 Objetivos de calidad y disponibilidad

Los diferentes grados en la clasificación que se hace a partir del trayecto hipotético de referencia (CHR) tienen aplicaciones diferentes.

El grado local se utiliza en redes que operan entre los abonados y las estaciones locales a velocidades menores a 2 [Mbit/s], los circuitos de grado medio son los que operan entre la estación local y la red nacional y los circuitos de grado alto son aquellos que se presentan en enlaces de larga distancia como por ejemplo las conexiones satelitales.

Los objetivos de calidad a los cuales se centra la atención son el SES y el DM descritos en la recomendación G.821 y en otro parámetro denominado como *Residual Bit Errors* (RBER) el cual refleja de forma indirecta el BER. Esta determinación se debe a que la mayoría de los enlaces no trabajan con velocidades de transmisión altas. En enlaces cortos, el cumplimiento de menos de un bit con error por cada mil bits transmitidos asegura un nivel de calidad adecuado.

La herramienta MLPERF descrita en la sección de Descripción de software permite estimar los minutos, segundos, bits y bloques con error dentro de una transmisión. Las simulaciones para cada uno de los enlaces expuestos se encuentran en el Apéndice A.4. De estas simulaciones se extraen valores de cero por ciento para SES y DM en todos los enlaces. Además un RBER de $1 \cdot 10^{-12}$.

Para enlaces que operan a frecuencias menores a 15 [GHz], la atención debe ser centrada en la disponibilidad del enlace más que en la calidad de la transmisión.

La propagación de ondas de radio, fallas de hardware, tiempos de reset después de reparaciones y problemas de interferencia con las frecuencias son algunos de los factores considerados cuando se dimensiona una red amparada por las recomendaciones de la UIT.

Suele utilizarse con mayor frecuencia el término de indisponibilidad que el de disponibilidad, esto porque facilita el análisis al sumar todas las contribuciones de indisponibilidad, para luego hacer el cálculo de la disponibilidad total del sistema.

Por medio de las simulaciones se obtienen porcentajes de indisponibilidad total, indisponibilidad por lluvia e indisponibilidad por hardware para un período de un año.

En los enlaces con una capacidad de transmisión de 2 [Mbit/s] la indisponibilidad por precipitación es de 0,00084 % al año y la indisponibilidad por hardware es 0,00028 % al año, lo que equivale a un total de 0,00112 % al año. En minutos, esta indisponibilidad total se convierte en 5,9 minutos por año.

En los enlaces con una capacidad de transmisión entre 4 y 8 [Mbit/s] la indisponibilidad por precipitación es de 0,00084 % al año y la indisponibilidad por hardware es 0,00094 % al año, lo que equivale a un total de 0,00178 % al año. En minutos, esta indisponibilidad total se convierte en 9,4 minutos por año.

5.1.3.6 Planificación de frecuencias

Es ahora cuando nos preocuparemos de ver cuál es la disposición correcta de las frecuencias utilizadas en los diferentes extremos de un radioenlace, es decir, lo que se conoce como planificación frecuencial, cuyos fines últimos son la optimización del uso del espectro y sobre todo la eliminación de las interferencias.

Un espaciamiento de 14 [MHz] como la recomendada por la UIT-R F.363-3 implica en el diseño un máximo de 8 portadoras de transmisión y recepción, denominadas en el planeamiento como A, B, C, D, E, F, G, H y A', B', C', D', E', F', G', H' como se muestra en las tablas 5.18 y 5.19.

Tabla 5.20 Planeamiento de frecuencias para la banda de 15 [GHz] y la sub-banda 23.

Banda de operación [GHz]	Sub-banda	Canal	Separación duplex [MHz]	Frecuencia central de transmisión [MHz]	Frecuencia central de recepción [MHz]
15	23	A	420	14726	15146
		B		14740	15160
		C		14754	15174
		D		14768	15188
		E		14782	15202
		F		14796	15216
		G		14810	15230
		H		14824	15244

Tabla 5.21 Planeamiento de frecuencias para la banda de 15 [GHz] y la sub-banda 27.

Banda de operación [GHz]	Sub-banda	Canal	Separación duplex [MHz]	Frecuencia central de transmisión [MHz]	Frecuencia central de recepción [MHz]
15	27	A'	420	15146	14726
		B'		15160	14740
		C'		15174	14754
		D'		15188	14768
		E'		15202	14782
		F'		15216	14796
		G'		15230	14810
		H'		15244	14824

En el caso de los equipos Mini-Link 7-E de Ericsson el rango de frecuencias de trabajo se presenta entre los 7,1 y los 7,7 [GHz].

El caso del enlace San José - Paseo Colón es especial, ya que es el único que establece en la banda de frecuencias de 7 [GHz] por lo que existe relativa libertad en el establecimiento de frecuencias de transmisión y recepción para este enlace.

Las frecuencias de transmisión y recepción de 7442 y 7603 [MHz] establecidas en un inicio por la empresa son las mismas denominadas en el proyecto como X y X' como se muestra en la tabla 5.22.

Con respecto a los puntos anteriores es que se propone un plan de frecuencias para la red TDMA del área metropolitana. El diseño que se ve resumido en las tablas 5.20, 5.21 y 5.22 prevé todo tipo de interferencias entre señales adyacentes como lo establecen las normas de la UIT.

Tabla 5.22 Planeamiento final de frecuencias.

Enlace	Sitio	Banda	Sub-banda	Canal
SJO2-5ES2	SJO2	15	23	C
	5ES2	15	27	C'
SJO4-PCO2	SJO4	7	41	X
	PCO2	7	45	X'
SJO7-COL2	SJO7	15	23	G
	COL2	15	27	G'
SJO9-ZAP2	SJO9	15	23	F
	ZAP2	15	27	F'
SJ10-GVI2	SJ10	15	23	B
	GVI2	15	27	B'
SJ13-GOL2	SJ13	15	23	D
	GOL2	15	27	D'
SJ14-HOS1	SJ14	15	23	E
	HOS1	15	27	E'
SJ19-BEVI	SJ19	15	23	A
	BEVI	15	27	A'
SJO3-SPD2	SJO3	15	23	H
	SPD2	15	27	H'
5ES3-LLO1	5ES3	15	23	B
	LLO1	15	27	B'

5.2 Descripción de hardware

Este proyecto no presenta implementación de hardware debido a que los elementos que componen la red TDMA a la cual presta mantenimiento Ericsson de Costa Rica ya se encuentran instalados y funcionando.

Sin embargo es muy importante conocer las partes que constituyen los equipos de radio o equipos Mini-Link ubicados en las estaciones base, de tal modo que sea posible conocer componentes clave que ayuden a la manipulación de los equipos de transmisión y por ende el mejor desempeño de los enlaces por microondas. En el Apéndice A.5 se encuentra una descripción detallada de los bloques esenciales que componen un radioenlace.

5.3 Descripción de software

Existen dos etapas muy marcadas del proyecto en las cuales se tiene contacto con herramientas de software. La primera etapa se da por medio del uso de la herramienta MLPERF de la firma Ericsson; este software es un medio sumamente útil en el planeamiento y en el análisis de diferentes tipos de enlaces. Esta herramienta es capaz de tomar en cuenta parámetros de acuerdo con la realidad geográfica y climática además de variables netamente eléctricas o electrónicas y predecir de una manera confiable el desempeño de los enlaces que usan equipo Mini-Link.

A continuación se detallan los pasos utilizados en la simulación de enlaces:

En la ventana inicial o ventana de equipo, se introducen el nombre del enlace y número de revisión del enlace. Además, se selecciona el tipo de equipo a utilizar (dependiendo de la frecuencia y el tipo de radio).

En la siguiente ventana o ventana de datos, se introduce la distancia del enlace así como la Latitud y la Longitud dependiendo de la ubicación de los sitios en la Tierra. Para Costa Rica se utilizan los valores 9 en Latitud y -84 en Longitud.

Otros datos importantes a introducir, son los siguientes:

Gradiente de refracción (dN_1): Este valor puede ser obtenido en la figura del Anexo B.5. Para la zona en que esta ubicado nuestro país este valor se toma como -120 .

Forma del terreno: Este parámetro se define como una desviación estándar de la altura del terreno en un área determinada con cierta resolución. A no contar información precisa sobre este dato, se introduce un valor de cero de acuerdo con lo estipulado con la recomendación P.530-9 de la ITU-R.

Altitud de la antena más baja: Este parámetro se introduce dependiendo del sitio a menor altura (con respecto al nivel del mar) con forme a cada enlace. Los valores utilizados en este apartado se muestran en el apartado 5.1.1 de la descripción de sitios.

Intensidad de la lluvia: El valor de la intensidad de lluvia para diferentes regiones se muestra en la figura del Anexo B.4. Para la zona en que esta ubicado nuestro país este valor se toma como 145.

Tiempo estimado de reparación (MTTR): El tiempo estimado de reparación es un parámetro que se refiere al tiempo que tarda un equipo Mini-Link en ser reparado desde el momento en que se produce un fallo. En el caso de la empresa Ericsson de Costa Rica, este valor se toma en 6 horas como promedio.

Configuración del equipo: Como se detalló en la sección de descripción de hardware, el equipo puede ser configurado como 1+1 ó como 1+0. De otra forma, este puede estar como con protección (hot standby) ó sin protección (no redundante). Todos los enlaces administrados por la empresa se encuentran en configuración 1+1 con el fin de prevenir errores en la transmisión a la hora de que se producen las fallas.

Versión de equipo de radio: En la descripción de hardware también se detalló como los equipos pueden ser montados ya sea como todo al interior, todo al exterior o con unidades partidas. Las unidades Mini-Link que funcionan en los diferentes sitios se encuentran todas en versión partida.

Polarización de antena: Como se vio anteriormente existen dos tipos de polarización en las antenas, a saber la vertical y la horizontal. Por ser Costa Rica un país con alta precipitación es que se opta por polarizar las antenas de todos los sitios en forma vertical, lo que hace que la señal sea atenuada en menor intensidad por las gotas de agua presentes en la atmósfera.

Niveles de multiplexación: De acuerdo con la capacidad de tráfico del enlace, así se designan los tres niveles de multiplexación existentes (0, 1 y 2). Un nivel de cero se utiliza cuando la capacidad del enlace es de 2 y hasta 4 [Mbit/s], el nivel de uno se designa a capacidades de 8 y 16 [Mbit/s], el último nivel se utiliza en capacidades mayores a las anteriores. Los enlaces SJO2-5ES2, SJO4-PCO2, SJO7-COL2, SJO9-ZAP2, SJ10-GVI2, SJ13-GOL2 y LLO1-5ES2 presentan todos un nivel 0 de multiplexación, en tanto los enlaces SJ14-HOS1, SJ19-BEVI y SJO3-SPD2 presentan todos un nivel 1 de multiplexación.

Potencia de salida: Como fue detallado en secciones anteriores, la potencia de salida es un factor de suma relevancia en los diseños de enlaces. El software MSM permite ingresar niveles de potencia transmitida que se encuentran en la tabla 5.12.

Tipo de antena: El tipo de antena está determinado por el tamaño y el estilo de la misma. Existen antenas de 0,3 [m], 0,6 [m], 1,2 [m] y 1,8 [m]; además de antenas de alto desempeño (HP), estándar (Std) y compactas (Comp). Dependiendo de la frecuencia de operación de los equipos del tipo de antena, así es la ganancia de la misma. En el apartado de descripción de sitios se muestran los tipos de antenas utilizadas para cada enlace.

Atenuación adicional del transmisor: En algunos casos se agregan atenuaciones adicionales a la salida de los transmisores con el fin de prevenir el sobrealcance de la señal. En este caso se optó por mantener la atenuación adicional en cero, además, de ser necesario corregir el sobrealcance, lo más recomendable es disminuir los niveles de potencia de salida de los transmisores.

Una segunda etapa se presenta mediante el uso de software MSM (*Mini-Link Network Manager*) de la firma Ericsson también instalado en un computador. Por medio de este software se pueden realizar pruebas de calidad para los enlaces entre las estaciones base, que van desde la obtención del nivel de potencia recibido hasta

la detección de errores por fallas en la transmisión. Este mismo software también es utilizado a la hora de la instalación de equipo, por medio de este equipo se programan los valores de frecuencia a los cuales trabajan los equipos, los niveles de potencia de salida en las RAU y la configuración de los equipos de radio.

En la figura 5.25 se muestra un diagrama de la conexión del computador con el software MSM y la unidad de servicio (SAU) por medio de un cable serie RS-232.

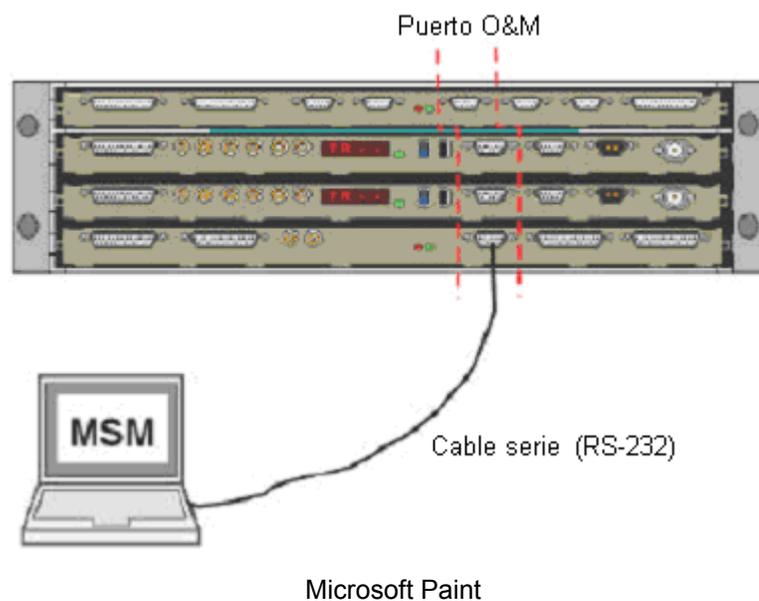


Figura 5.25 Conexión de equipo para obtención de información por medio del software MSM.

Los resultados de las mediciones en las que se utilizó el software MSM se detallan en la sección a continuación.

Capítulo 6: Análisis y resultados

6.1 Resultados

Tras realizar cálculos teóricos, es necesario llevar a cabo una de las etapas finales que se plantean en el diseño de radioenlaces, como lo es la ejecución de pruebas.

Por medio del software MSM descrito en la sección anterior es posible llevar a cabo mediciones en tiempo real de los niveles de potencia de recepción en cada una de las unidades RAU, potencia de transmisión para los transmisores activos y frecuencias de transmisión y recepción para cada uno de los sitios.

Las figuras que se muestran a continuación son en realidad la interfaz o las ventanas de información que se pueden obtener al conectar el computador con el software MSN al nodo central llamado San José.

En la tabla 6.1 que se presenta a continuación se resume la información obtenida para cada uno de los enlaces expuestos en las diferentes ventanas que se muestran en el Apéndice A.7.

Tabla 6.1 Resumen de información obtenida para cada uno de los enlaces por medio del software MSM de Ericsson.

Enlace	Sitio	Banda/Su b-banda	Configuración	Potencia de transmisión [dBm]		Potencia de recepción [dBm]		Frecuencia de transmisión [MHz]	Frecuencia de recepción [MHz]
				Radio 1 (Ra1)	Radio 2 (Ra2)	Radio 1 (Ra1)	Radio 2 (Ra2)		
SJO2-5ES2	SJO2	15/23	(1+1)	25	Standby	-54,7	-61,0	14767	15187
	5ES2	15/27	(1+1)	Standby	25	-31,7	-48,5	15187	14767
SJO4-PCO2	SJO4	7/41	(1+1)	Standby	10	-46,6	-44,7	7442	7603
	PCO2	7/45	(1+0)	10	Standby	-49,7	-44,7	7603	7442
SJO7-COL2	SJO7	15/23	(1+1)	20	20	-46,3	-47,2	14739	15159
	COL2	15/27	(1+1)	Standby	10	-47,3	-47,2	15159	14739
SJO9-ZAP2	SJO9	15/23	(1+1)	Standby	Standby	-47,7	-48,4	14788	15208
	ZAP2	15/27	(1+1)	10	15	-46,0	-36,2	15208	14788
SJ10-GVI2	SJ10	15/23	(1+1)	Standby	Standby	-44,0	-37,2	14746	15166
	GVI2	15/27	(1+1)	15	Standby	-36,9	-41,0	15166	14746
SJ13-GOL2	SJ13	15/23	(1+1)	10	Standby	-41,9	-39,4	14753	15173
	GOL2	15/27	(1+1)	10	Standby	-42,5	-38,6	15173	14753
SJ14-HOS1	SJ14	15/23	(1+1)	10	Standby	-39,1	-40,3	14774	15194
	HOS1	15/27	(1+1)	10	10	-39,8	-50,7	15194	14774
SJ19-BEVI	SJ19	15/23	(1+1)	Standby	Standby	-52,2	-37,1	14795	15215
	BEVI	15/27	(1+1)	10	Standby	-50,0	-38,6	15215	14795
SJO3-SPD2	SJO3	15/23	(1+1)	15	Standby	-	-	14733	15153
	SPD2	15/27	(1+1)	15	Standby	-	-	15153	14733
5ES3-LLO1	5ES3	15/23	(1+1)	20	Standby	-47,0	-44,7	14760	15180
	LLO1	15/27	(1+1)	20	Standby	-47,5	-48,6	15180	14760

6.2 Análisis

Una vez estimados los valores teóricos y realizadas las pruebas a los diferentes enlaces, se procede con el análisis de los resultados.

El balance de potencia que se describe en la sección 5.1.3.1 se establece con el fin de calcular el nivel de potencia de recepción en los diferentes sitios, bajo condiciones libres de desvanecimiento (sin tomar en cuenta la lluvia y la propagación multitrayecto). El balance contiene la sumatoria de todas las pérdidas y las amplificaciones que perciben las señales al propagarse del transmisor al receptor (desde el sitio A hasta el sitio B o viceversa).

Una parte importante en la administración de recursos de radio es controlar los niveles de potencia usados en los transmisores, esto se hace para asegurar que cada estación base transmite la potencia más baja necesaria. En la tabla 5.12 se muestran los niveles de potencia reales transmitidos en cada sitio, los cuales no superan los valores proporcionados por el fabricante¹⁷. Aquí se debe de tomar en cuenta la desviación de ± 2 [dB] que presentan los equipos Mini-Link.

Por otro lado, las pérdidas por propagación en el espacio libre y las pérdidas por gases en la atmósfera y las pérdidas en las guías de onda o *feeders* siempre están presentes en un enlace, mientras que las pérdidas por reflexión, precipitación y obstáculos no siempre lo están. En este estudio se da una mayor importancia a aquellas pérdidas que siempre están presentes en un enlace.

Las ondas electromagnéticas son atenuadas cuando existe una propagación de las mismas entre dos puntos separados geoméricamente uno del otro. Esta atenuación

¹⁷ Los niveles de potencia máximos para los diferentes equipos Mini-Link de Ericsson se encuentran en la tabla 2 del Anexo B.3.

es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias y proporciona las pérdidas en el espacio libre (L_{FSL}).

Este tipo de pérdidas siempre están presentes en una transmisión y dependen de la distancia de los enlaces (d) y de la frecuencia de transmisión (f), como se muestra en la ecuación 3.2 del Marco teórico.

En la tabla 5.13, se muestran los diferentes valores de pérdidas en el espacio libre (F_{FSL}) obtenidos de forma experimental mediante el uso de la ecuación 3.6. En la Figura 3.6 se puede apreciar que mientras exista un aumento de la frecuencia las pérdidas en el espacio aumentan, todo esto para la misma distancia de enlace, por otro lado de la misma ecuación 3.2 se deduce el hecho de que a mayor frecuencia la potencia recibida disminuye y por lo tanto las pérdidas aumentan. Conforme los cambios de frecuencia sean menores el aumento de pérdidas es menor.

El cálculo de pérdidas por gases en la atmósfera para un enlace puede tornarse tan complicado como se desee, sin embargo el aporte que puede brindar esta información no es muy elevado.

Los componentes gaseosos y la temperatura de la atmósfera influyen en la propagación de las ondas de radio, absorbiendo energía y produciendo variaciones en el índice de refracción. Sin embargo para los diferentes enlaces tratados, las pérdidas por gases no superan los 0.39 [dB], como se muestra en la tabla 5.14.

La contribución de pérdidas que se le atribuye a la precipitación no se incluye inicialmente dentro del balance de potencia, sin embargo posteriormente se toma en cuenta con el fin de observar como afecta la misma en el nivel de potencia recibido.

La atenuación por lluvia aumenta con la frecuencia en forma drástica como se puede observar en la tabla 5.15. Entre los enlaces SJO4-PCO2 y SJO2-5ES2 la diferencia es de prácticamente 8 [dB].

El dato de la intensidad de lluvia presente en el Anexo B.4 está dado para tiempos de muestreo largos como por ejemplo un año, estos valores en algunos casos no son aplicables para el cálculo de la atenuación.

En Costa Rica existe una diferencia bastante marcada entre la época lluviosa y la época seca. Esto provoca que las pérdidas por precipitación se presenten en forma más marcada durante aproximadamente seis meses.

Como fue mencionado anteriormente, las pérdidas por obstáculos no siempre están presentes en un enlace, pero aunque parezca que un enlace presenta buena línea de vista, los obstáculos pueden atenuar la señal si estos se sitúan lo suficientemente cerca al enlace.

La atenuación por obstáculos puede ser ignorada al comprobarse la no presencia de obstáculos dentro de la primera zona de Fresnel. Un enlace que trabaja a 7 [GHz] como se presenta entre San José y Paseo Colón requiere un mayor despejamiento de la primera zona de Fresnel que otro que trabaja a 15 [GHz] como el que se presenta entre San José y Cinco Esquinas. Para valores de k bajos como el calculado para estos enlaces se debe de presentar mayor atención en el despejamiento de las zonas de Fresnel.

En general, los mapas no son la mejor forma de comprobar la condición de línea de vista en un enlace, debido a que no presenta suficiente información de ubicación y altura de edificaciones, vegetación y otros; sin embargo son herramienta útil mediante los cuales se puede hacer una representación aproximada del perfil del terreno en un enlace.

Si existe un obstáculo en los límites de la primera zona de Fresnel, la onda reflejada tiende a cancelar la onda directa, dependiendo de las amplitudes relativas de cada onda. A efectos prácticos se considera propagación pura por línea de vista (sin atenuación por difracción), si no existen obstáculos dentro de la primera zona de Fresnel. Las demás zonas de Fresnel (segunda, tercera, etc.) tienen mucho menor efecto en cuanto a pérdidas por difracción debido a su contenido de potencia de la señal.

Los radios de la primera zona de Fresnel para los diferentes enlaces que se muestran en la tabla 5.16 no superan los 4,25 [m], lo cual es un valor que permite trabajar con libertad en el diseño.

La (P_R) que se persigue por medio del balance de potencia, disminuye conforme se aumenta la frecuencia de transmisión, la tabla 5.17 muestra los diferentes valores de P_R para los diferentes enlaces. En esta misma tabla se presentan las contribuciones de todas las atenuaciones y todas las ganancias para cada caso. Los niveles de potencia recibidos van desde $-24,98$ [dBm] hasta $-47,53$ [dBm], los cuales permiten una buena recepción de la señal.

Los efectos de la atenuación por precipitación sobre el nivel de potencia recibido son presentados al final de la tabla 5.17 y varían en un rango que va desde $-35,58$ hasta $-61,29$ [dBm]. Estos valores denotan un aumento considerable por precipitación lo cual en la mayoría de los casos puede incrementar la presencia del desvanecimiento.

Los resultados obtenidos en cuanto a los niveles de recepción por medido del software MSM pueden ser comparados con los valores teóricos calculados en la sección 5.1. A excepción de los niveles reales de potencia recibidos en el enlace SJO2-5ES2, todos los niveles para los RAU1 y los RAU2 en los diferentes sitios se encuentra dentro del rango establecido en la tabla 5.17 por los niveles de recepción

teóricos con y sin el efecto de la precipitación. Esto comprueba el modelado matemático utilizado para el diseño de radioenlaces.

Con tabla 6.2 que se presenta a continuación, se pretende comparar el modelo teórico con la realidad de los enlaces, en cuanto al margen de desvanecimiento se refiere.

Tabla 6.2 Margen de desvanecimiento actual y teórico para cada enlace.

Enlace	Margen de desvanecimiento teórico sin el efecto de la precipitación (M) [dB]	Margen de desvanecimiento actual con P_R menor de los radios (M) [dB]	Margen de desvanecimiento actual con P_R mayor de los radios (M) [dB]
SJO2-5ES2	45,02	9	38,3
SJO4-PCO2	26,81	20,3	25,3
SJO7-COL2	26,75	22,7	25,3
SJO9-ZAP2	26,10	21,6	24
SJ10-GVI2	37,53	26	33,8
SJ13-GOL2	31,93	27,5	30,6
SJ14-HOS1	32,59	29,7	31,4
SJ19-BEVI	26,52	17,8	24,9
SJO3-SPD2	22,47	No fue posible realizar la medición	No fue posible realizar la medición
5ES3-LLO1	29,12	21,4	25,3

El margen de desvanecimiento fue medido para ambos radios de la configuración (1+1) de cada enlace. En el funcionamiento normal de los equipos Mini-link, se selecciona para que trabaje el radio que presente mayor nivel de potencia recibida, sin embargo también debemos de tomar en cuenta el menor nivel de potencia recibido, con el fin de prever el desvanecimiento de las señales a causa de la falla de cualquiera de los radios.

En los diseños, por lo general el margen de desvanecimiento necesita estar comprendido entre los 25 y los 40 [dB]. El clima, la topografía y la longitud del enlace son factores decisivos en la sensibilidad del desvanecimiento de un radioenlace por microondas.

Por otro lado, el nivel umbral a un BER de 10^{-6} para los equipos Mini-Link de Ericsson es 4 [dB] mayor que para un BER de 10^{-3} . Esto significa una mayor exigencia del sistema, sin embargo esto se ve compensado con los 20 [dB] de más que prestan las unidades RAU como garantía de umbral¹⁸.

La tabla 5.17 presenta los márgenes de desvanecimiento con y sin el efecto de la precipitación, los cuales están calculados para un valor umbral de -70 [dB] y un BER menor a 10^{-3} .

El desvanecimiento debido a la lluvia, puede ser considerado como insignificante para frecuencias menores a 10 [GHz], lo cual es tomado con relevancia para el enlace San José – Paseo Colón que trabaja a 7 [GHz]. Este enlace no presenta ningún inconveniente en cuanto al margen de desvanecimiento, por lo que los parámetros de transmisión y recepción deben de permanecer de la forma en que están actualmente.

El desvanecimiento ocasionado por la propagación multi-camino puede ser considerado como insignificante para frecuencias mayores a 10 [GHz] en comparación con el desvanecimiento debido a la precipitación, lo cual puede ser observado en la tabla 5.19.

De la tabla 6.2 se puede concluir que algunos casos se hace necesario el aumentar los niveles de potencia de transmisión por cerca de 5 [dB], con en propósito de

¹⁸ La tabla 5 del Anexo B.3 presenta los valores típicos y garantizados para las unidades RAU de Ericsson.

mantener a los enlaces dentro del rango de los 25 a 40 [dB] de margen de desvanecimiento. Este es el caso de los enlaces San José – Zapote y San José - Bellavista.

En el caso del enlace San José – Cinco Esquinas, por el contrario se debe de disminuir el nivel de potencia de transmisión de 25 a 20 [dBm] y realizar un alineamiento de las antenas en ambas terminales del enlace.

En el apartado 5.1.3.3 se realizan cálculos de sobrealcance u *overreach* que se resumen en la tabla 5.18. De esta tabla se puede observar como manteniendo una frecuencia constante, al aumentar la distancia al doble, las pérdidas por propagación en el espacio libre aumentan de acuerdo a $20 \cdot \log(2) = 6$ [dB].

Estos 6 [dB] de diferencia que se presentan al doblar la distancia representan un cuarto de la potencia recibida a la distancia (d).

Debido a la cercanía entre sitios esta diferencia de potencia no podría satisfacer márgenes de trabajo sin interferencia, por lo que en el diseño se recurre a una separación mayor entre sub-bandas de frecuencia adyacentes.

A partir de los cálculos de calidad y indisponibilidad realizados por medio del software MLPERF se puede confirmar lo expuesto en el apartado 5.1.3.5 de que para frecuencias menores a 15 [GHz] y enlaces cortos, menores a 5 [km], existe una mayor relevancia de los efectos de la indisponibilidad sobre los efectos de errores en la transmisión.

Los valores de 0,0 % para el cálculo de los DM y los SES no arrojan dudas sobre la calidad de todos y cada uno de los enlaces. Lo anterior está justificado a las bajos niveles de multiplexación, a las bajas velocidades y capacidades de transmisión, a la

polarización vertical utilizada en los enlaces y a la altura adecuada en la que se ubican cada una de las antenas.

De la tabla 3.3 se tiene que para una clase 3 el porcentaje de indisponibilidad debe ser menor a 0,05 % por año. Los porcentajes obtenidos por medio del software MLPERF son de 0,00112 % y 0,00178 % para los diferentes enlaces, lo cual cumple firmemente con las expectativas de diseño.

El propósito del planeamiento de frecuencias mostrado en el apartado 5.1.3.6, no solo es el de evitar la interferencia, sino también el de mejorar los objetivos de calidad y disponibilidad.

La tabla 6.3 presenta tanto las mediciones como los valores teóricos de recepción y transmisión para cada uno de los enlaces.

Tabla 6.3 Frecuencias actuales y teóricas para cada enlace..

Enlace	Sitio	Frecuencia de transmisión teórica [MHz]	Frecuencia de recepción teórica [MHz]	Frecuencia de transmisión real [MHz]	Frecuencia de recepción real [MHz]
SJO2-5ES2	SJO2	14754	15174	14767	15187
	5ES2	15174	14754	15187	14767
SJO4-PCO2	SJO4	7442	7603	7442	7603
	PCO2	7603	7442	7603	7442
SJO7-COL2	SJO7	14810	15230	14739	15159
	COL2	15230	14810	15159	14739
SJO9-ZAP2	SJO9	14796	15216	14788	15208
	ZAP2	15216	14796	15208	14788
SJ10-GVI2	SJ10	14740	15160	14746	15166
	GVI2	15160	14740	15166	14746
SJ13-GOL2	SJ13	14768	15188	14753	15173
	GOL2	15188	14768	15173	14753
SJ14-HOS1	SJ14	14782	15202	14774	15194
	HOS1	15202	14782	15194	14774
SJ19-BEVI	SJ19	14726	15146	14795	15215
	BEVI	15146	14726	15215	14795
SJO3-SPD2	SJO3	14824	15244	14733	15153
	SPD2	15244	14824	15153	14733
5ES3-LLO1	5ES3	14740	15160	14760	15180
	LLO1	15160	14740	15180	14760

El reuso de frecuencias es uno de los mejores aliados en este tipo de planteamientos. Con esto se logra un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico.

El cambio de polarización es sumamente efectivo para evitar la interferencia entre enlaces que presentan un ángulo de separación pequeño. Sin embargo se prefiere una polarización vertical en todos los casos debido a la atenuación extra que se presenta para la polarización horizontal.

La topología de esta red en forma de estrella como se muestra en la figura 5.3 hace que se presenten problemas relacionados con la interferencia, ya que la mayoría de los enlaces presentan una terminal común. Entre mayor es la cantidad de enlaces, menor es el ángulo de separación entre los mismos.

El establecimiento de las frecuencias de transmisión y recepción teórico mostrado en la tabla 6.3 presenta un mínimo de pérdidas por interferencia entre canales. Por esto se recomienda adoptar las frecuencias de transmisión teóricas presentes en la tabla, con el fin de evitar problemas de interferencia en cada enlace.

6.3 Alcances y limitaciones

Al finalizar el proyecto se lograron alcanzar todos los objetivos planteados al inicio del mismo. El diseño de la red de radioenlaces para el grupo de estaciones base citadas en el proyecto cumple con los estándares de calidad y disponibilidad nacionales e internacionales. Se lograron identificar cuales son los factores externos a la red y en que medida que afectan el desempeño de los radioenlaces.

Además, se lograron determinar una serie de conclusiones y recomendaciones importantes referentes a los niveles de potencia de transmisión, los márgenes de desvanecimiento, la calidad de las señales, las frecuencias de transmisión y recepción, con el fin de optimizar el funcionamiento de todos los radioenlaces. Esta serie de conclusiones y recomendaciones se detallan en el siguiente capítulo.

Sin embargo existen ciertas limitantes que puede tener el proyecto. Entre ellas esta que el plan de radioenlaces diseñado está limitado por un área de estudio, esto quiere decir que los enlaces por microondas fueron analizados únicamente entre los sitios especificados.

Otra de las limitaciones que presenta el proyecto se da con respecto al trazado de los perfiles de enlace, en los cuales no se toma en cuenta el factor de radio de la Tierra de aproximadamente $4/3 = 1,33$ ni la presencia de edificaciones a lo largo del enlace entre los sitios A y B. Estas limitaciones no tienen implicaciones que afecten el estudio de los radioenlaces debido a la corta distancia de los mismos.

El análisis y traslado de datos de las estaciones base a entidades de mayor jerarquía dentro de la arquitectura de la red TDMA, la instalación de equipo de cualquier tipo en las estaciones base, el diseño de todo lo concerniente a la red de radio frecuencia que permite el traslado de la información entre los dispositivos móviles y las estaciones base, no se contemplan dentro del marco lógico del proyecto.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- A excepción del enlace San José – Cinco Esquinas, todos los niveles de potencia recibidos se encuentran dentro de los niveles mínimos de funcionamiento.
- El enlace San José – Paseo Colón que trabaja a 7 [GHz], no presenta ningún inconveniente por desvanecimiento debido a la precipitación, debido a que este fenómeno puede ser considerado como insignificante para frecuencias menores a 10 [GHz].
- El margen de desvanecimiento para los enlaces San José – Zapote, San José – Bellavista y San José – Cinco Esquinas no se encuentran dentro de los niveles de operación adecuados. El resto de los enlaces sí presentan un margen de desvanecimiento recomendable.
- Todos los enlaces estudiados en este proyecto cumplen con las predicciones de calidad y disponibilidad recomendadas por la UIT.
- La red de radioenlaces estudiada no se encuentra conforme a una optimización del espectro radioeléctrico, ya que no establece el reuso de frecuencias.

- Para radioenlaces cortos (menores a 2,5 km) como los que se presentan dentro del valle central para la red celular TDMA es posible el obviar las atenuaciones por gases en la atmósfera. Esto permite simplificar los cálculos para la obtención del nivel de potencia recibido en cada radio base.
- El planeamiento actual con el que funcionan los radioenlaces se encuentra propenso a la interferencia entre señales debido establecimiento incorrecto de frecuencias, esto abonado al sobrealcance que podrían presentar algunos enlaces.
- Todos los enlaces bajo estudio se encuentran libres de atenuaciones ocasionadas por obstáculos. Esto fue establecido por medio del estudio de la línea de vista para cada enlace.

7.2 Recomendaciones

- Se debe de crear una base de datos que contenga información tanto topográfica y como metereológica de las áreas en las cuales se ubican los radioenlaces, esto con el fin de realizar diseños y análisis con elementos que reflejen de forma confiable el entorno en el que se establecen las redes celulares.
- Implementar un sistema de monitoreo en forma remota y de tiempo real que permita observar el comportamiento de parámetros como la potencia de recepción, el margen de desvanecimiento, la calidad y la disponibilidad de los enlaces, de este modo se asegura una intervención temprana en cuanto al proceso de reparación fallas y al ajuste de equipo de transmisión debido al bajo desempeño de los enlaces.
- Para los enlaces San José – Zapote y San José – Bellavista es necesario aumentar los niveles de potencia de transmisión por cerca de 5 [dB], con el propósito de mantener ambos enlaces dentro del rango adecuado de margen de desvanecimiento.
- En las terminales del enlace San José – Cinco Esquinas se debe de hacer un decremento de aproximadamente 5 [dB] en la potencia de transmisión de los equipos Mini-link. Además, se debe de realizar un alineamiento de las antenas en ambas terminales del enlace con el fin de obtener niveles óptimos de recepción y de margen de desvanecimiento.
- Se recomienda adoptar las frecuencias de transmisión y recepción calculadas para los diferentes enlaces. El establecimiento de las frecuencias contenidas en la tabla 6.3 prevén la no interferencia entre enlaces y ayuda a la optimización del espectro radioeléctrico.

Bibliografía

- Ericsson Microwave Systems AB. “Mini-Link e and E Micro Planning and Engineering”, Suecia: 2000.
- Ericsson Microwave Systems AB. “Mini-Link MNM, MSM, MIM Operation Manual”, Suecia: 1996.
- Ericsson Microwave Systems AB. “Mini-Link E Technical Description”, Suecia: 1996.
- Manning, Trevor. “Microwave Radio Transmission Design Guide”, Artech House, E.U.A.: 1999.
- Sendín, Alberto. “Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles”, McGraw Hill, España: 2004.
- Umeyama, Yoshihisa. “Microwave-link propagation path design” (versión 1.2), Japón: 1994.
- “Ericsson” Web <http://www.ericsson.com>
- “Volúmenes del UIT-R” Web <http://www.itu.int>
- “Volúmenes del UIT-T” Web <http://www.itu.int>
- Web <http://www.euromaya.com/glosario>

Apéndices y Anexos

Apéndices

Apéndice A.1 Glosario

Absorción: es la pérdida de calidad en la transmisión de una onda electromagnética o de luz ocasionada por impurezas o por imperfecciones en la atmósfera.

Atenuación: pérdida o reducción de amplitud de una señal, por lo general se expresa en decibeles (dB).

Branching: conjunto de dispositivos que hacen de interfaz entre la salida del equipo y la entrada de antena.

Celda, célula: unidad de área de cobertura de radio frecuencia para sistemas de comunicación inalámbrica.

Cluster: grupo de estaciones base interconectadas por medio de radioenlaces a un nodo principal.

Configuración (1+0): configuración sin protección en la cual se utiliza una única unidad de radio.

Configuración (1+1): la configuración con protección o *hot standby* previene errores en la transmisión a la hora de que se producen las fallas.

Despejamiento: condición que permite la línea vista (LOS) entre un transmisor y un receptor.

Desvanecimiento: término usado en la propagación de señales de radiofrecuencia que describe la pérdida temporal de una señal debido a cambios en las condiciones atmosféricas.

Diagrama de enlace: representación por medio de la cual se puede establecer un balance de potencia.

Difracción: La difracción es el mecanismo responsable de la atenuación por obstáculos.

Dispersión: cambio en la dirección de una partícula por efecto de un choque con otra partícula o con un sistema de partículas.

Disponibilidad: aptitud de un elemento para hallarse en estado de realizar una función requerida en un tiempo determinado o en cualquier instante de un intervalo dado, suponiendo que se facilitan, si es necesario, los recursos externos.

Dúplex: sistema de información capaz de recibir y transmitir simultáneamente dos mensajes.

Duplexor: dispositivo que permite utilizar la antena simultáneamente en los sentidos de transmisión y recepción.

Estación base: receptor/transmisor central de radio que mantiene las comunicaciones con una estación móvil dentro de un área determinada.

Estación móvil (EM): teléfono celular utilizado por abonados o usuarios del sistema.

Ganancia: lo contrario de pérdida. Se obtiene generalmente por la inserción de un amplificador en un circuito de transmisión.

Hub: centrales utilizadas para la transmisión y recepción de voz y datos. Se puede transmitir o recibir vía microondas, con ayuda de un módem para radio y su unidad de radiofrecuencia.

Índice de refracción: razón de las velocidades de propagación de una onda o radiación en dos medios diferentes. Esa razón indica la propagación en que un rayo de la radiación se refracta al pasar de un medio a otro.

Margen de desvanecimiento: índice de desvanecimiento, expresado en [dB], que un receptor de microondas puede aceptar manteniendo una calidad de circuitos aceptable.

MLPERF: herramienta de diseño capaz de predecir de una manera confiable el desempeño de los enlaces que usan equipo Mini-Link de Ericsson.

Mini-Link: Equipo de transmisión por microondas de la firma Ericsson.

Microondas: término con el que se conocen las longitudes de onda del espectro que abarca aproximadamente de 30 a 0.3 [cm], y corresponde a frecuencias comprendidas entre 1 y 100 [GHz].

Módem: término contracción de Modulador y DEModulador, además, es el equipo encargado de pasar de la señal banda base al canal de frecuencia intermedia (FI) correspondiente.

Múltiplex primario: bloque denominado como PCM/MUX, el cual se utiliza siempre que se desee transmitir voz analógica sobre un radioenlace digital.

Múltiplex secundario: bloque denominado MULDEM, porque MULtiplexa y DEMultiplexa los diferentes afluentes E1 en una transmisión por medio de un radioenlace.

Pérdidas en el espacio libre: las pérdidas en el espacio libre son las pérdidas que experimenta un radioenlace espacial puro, donde no existen influencias de la atmósfera ni del terreno.

Perfil de enlace: herramienta utilizada para determinar si un enlace presenta o no obstrucciones a lo largo de una distancia determinada.

Polarización horizontal: tipo de polarización de las ondas, de modo que las líneas de fuerza eléctrica son horizontales, lo que equivale a decir que el plano de polarización magnética es vertical.

Polarización vertical: tipo de polarización de las ondas, de modo que las líneas de fuerza eléctrica de polarización magnética son horizontales.

Propagación en el espacio libre: propagación de una onda electromagnética en un medio dieléctrico ideal homogéneo que se puede considerar infinito en todas las direcciones.

Radioenlace: sistema usado para mantener una comunicación por medio de la radio entre dos puntos específicos mediante el uso de ondas radioeléctricas.

Radio frecuencia: frecuencia a la cual la radiación de energía electromagnética, es superior a las frecuencias acústicas, pero inferior a las de la luz y el calor.

Red celular: conjunto de células radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura a un área de servicio determinada.

Reflexión: fenómeno por el cual una onda que se propaga por un medio e incide sobre otro medio de características distintas, retorna al primero.

Refracción: cambio de dirección que experimenta una onda electromagnética que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferente densidad.

Sitio: lugar geográfico en el cual se sitúan equipos utilizados en el área de transmisión.

Sobrealcance: nivel de potencia que se percibe a distancias mayores a la distancia del enlace.

Terminal: en el caso de los enlaces, las terminales como uno de los lados entre los cuales se establece un enlace de microondas. Diferentes terminales pueden compartir un mismo sitio geográfico.

Transceptor: parte de la sección de radiofrecuencia compuesta del transmisor y el receptor.

Zonas de Fresnel: se definen como elipsoides que rodean la trayectoria entre un transmisor y un receptor.

Apéndice A.2 Abreviaturas

AGC	<i>(Automatic Gain Control)</i> Control automático de ganancia que se relaciona con el nivel de potencia recibido. Puede ser medido a través del puerto de alineación ubicado en la unidades de radio RAU de Ericsson.
AMM	<i>(Access Module Magazine)</i> La AMM provee un mecanismo para el almacenamiento de diferentes unidades de la familia Mini-Link de Ericsson.
AT	<i>(Available Time)</i> Tiempo promedio referido a meses o por un año en el que un enlace está disponible.
BER	<i>(Bit Error Rate)</i> Tasa de bits erróneos en sistemas digitales.
CHR	Conexión Hipotética de Referencia. Se trata de una conexión con extremos a 64 kbp/s a la que se accede a través de un centro de conmutación.
DDU	<i>(DC Distribution Unit)</i> Es un elemento opcional que se usa para la distribución CD primaria para un máximo de cinco MMU ó unidades de ventilación.
DM	<i>(Degraded Minute)</i> Minutos degradados, definidos como un grupo de 60 segundos en el cual el BER supera el valor umbral.
ES	<i>(Errored Second)</i> Los segundos errados o segundos con errores ES permiten evaluar el porcentaje de tiempo de segundos que han tenido al menos un error.
GSM	<i>(Global System for Mobile Communication)</i> Sistema de telecomunicación celular que trabaja a 900 Mhz. También puede tener 1800 [Mhz] y 1900 [Mhz].
HP	<i>(Hi Power)</i> Alta Potencia, referida a un tipo de antena de la familia Mini-Link de Ericsson.
LOS	<i>(Line Of Sight)</i> Línea de vista o despejamiento entre un transmisor y un receptor.

MMU	<i>(MODEM Unit)</i> Unidad que contiene tanto el modulador como el demodulador.
MSM	<i>(Mini-Link Network Manager)</i> Software utilizado en el servicio de equipo MINI-LINK E de Ericsson.
MTTR	<i>(Mean Time To Restore)</i> Tiempo medio para restaurar el servicio.
PCM	<i>(Pulse Coded Modulation)</i> Modulación de impulsos codificados.
QPSK	<i>(Quaternary Phase Shift Keying)</i> Modulación de fase cuaternaria.
QAM	<i>(Quadrature Amplitude Modulation)</i> Modulación de amplitud en cuadratura, basada en la variación de la amplitud de la señal portadora entre una serie de niveles múltiples pero limitados.
RAU	<i>(Radio Access Unit)</i> Unidad de radio instalada en torre para conexión por microondas.
RF	Radio Frecuencia.
SAU	<i>(Service Access Unit)</i> Unidad de Acceso a Servicios de uso adicional.
SES	<i>(Severely Errored Second)</i> Segundos Severamente Errados.
SMU	<i>(Switching Multiplexing Unit)</i> Unidad de Multiplexación por Conmutación.
TDMA	<i>(Time Division Multiple Access)</i> Acceso al medio por división de tiempo, donde se comparte el medio a través de una asignación de intervalos de tiempo a los distintos usuarios.
UAT	<i>(UnAvailable Time)</i> Tiempo promedio referido a meses o por un año en el que un enlace no está disponible.
UIT	<i>(Unión Internacional de Telecomunicaciones)</i> Agencia Especializada de las Naciones Unidas, creada para facilitar cualquier tipo de telecomunicaciones y armonizar las actividades de los Estados miembros en estos campos.
UIT-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sector de Estandarización en Radiocomunicaciones.
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sector de Estandarización en Telecomunicaciones.

Apéndice A.3 Descripción de sitios

San José central

• Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 59.60"

Longitud: 84° 04' 41.00"

• Altitud de sitio: 1120 [msnm]

• Altura de edificio: 45 [m]

• Altura de torre: 18 [m]



Figura A.3.1 Ubicación de estación base central San José.



Figura A.3.2 Antenas para transmisión por microondas en estación base central San José.

Cinco Esquinas

- Coordenadas:

Latitud: 09° 56' 57.73"

Longitud: 84° 04' 51.62"

- Altitud de sitio: 1174 [msnm]

- Altura de torre 42 [m]



Figura A.3.3 Torre ubicada en estación base Cinco Esquinas.

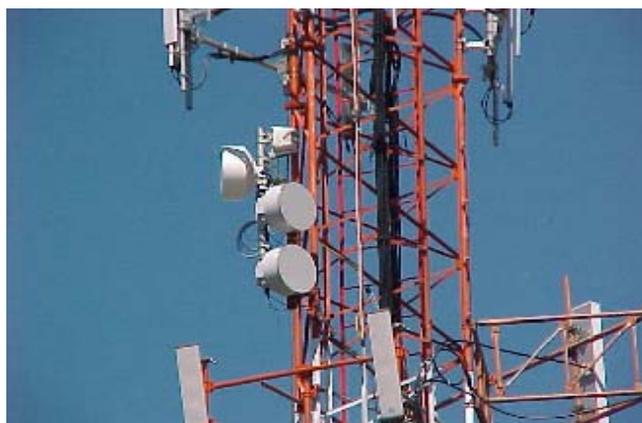


Figura A.3.4 Antenas para transmisión por microondas en estación base Cinco Esquinas.

Paseo Colón

• Coordenadas:

Latitud: 09° 56' 13.10"

Longitud: 84° 05' 35.00"

• Altitud de sitio: 1201 [m]

• Altura de torre: 42 [m]



Figura A.3.5 Torre ubicada en estación base Paseo Colón.



Figura A.3.6 Antenas para transmisión por microondas en estación base Paseo Colón.

Colima

• Coordenadas:

Latitud: 09° 57' 13.30"

Longitud: 84° 05' 20.60"

• Altitud de sitio: 1162 [msnm]

• Altura de torre: 42 [m]



Figura A.3.7 Torre ubicada en estación base Colima.



Figura A.3.8 Antenas para transmisión por microondas en estación base Colima.

Zapote

- Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 12.20"

Longitud: 84° 03' 33.80"

- Altitud de sitio: 1184 [msnm]

- Altura de poste: 30 [m]



Figura A.3.9 Monopolo ubicado en estación base Zapote.



Figura A.3.10 Antenas para transmisión por microondas en estación base Zapote.

González Víquez

- Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 23.30"

Longitud: 84° 04' 26.50"

- Altitud de sitio: 1155 [msnm]

- Altura de poste: 30 [m]



Figura A.3.11 Monopolo ubicado en estación base González Víquez.



Figura A.3.12 Antenas para transmisión por microondas en estación base González Víquez.

González Lahman

- Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 55.60"

Longitud: 84° 03' 51.30"

- Altitud de sitio: 1202 [msnm]

- Altura de poste: 30 [m]



Figura A.3.13 Monopolo ubicado en estación base González Lahman.



Figura A.3.14 Antenas para transmisión por microondas en estación base González Víquez.

Hospital

- Coordenadas:

Latitud: 09° 56' 05.00"

Longitud: 84° 05' 05.00"

- Altitud de sitio: 1193 [msnm]

- Altura de edificio: 22 [m]



Figura A.3.15 Monopolo ubicado en estación base Hospital.



Figura A.3.16 Antenas para transmisión por microondas en estación base Hospital.

Bellavista

• Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 57.20"

Longitud: 84° 04' 13.00"

• Altitud de sitio: 1179 [msnm]

• Atura de poste: 30 [m]



Figura A.3.17 Monopolo ubicado en estación base Bellavista.



Figura A.3.18 Antenas para transmisión por microondas en estación base Bellavista.

San Pedro

• Coordenadas:

Latitud: 09° 55' 51.90"

Longitud: 84° 03' 22.40"

• Altitud de sitio: 1243 [m]

• Altura de torre: 22 [m]

• Altura de edificio: 40 [m]



Figura A.3.19 Torre ubicada en estación base San Pedro.



Figura A.3.20 Antenas para transmisión por microondas en estación base San Pedro.

Llorente

• Coordenadas:

Latitud: 09° 57' 41.60"

Longitud: 84° 04' 01.90"

• Altitud de sitio: 1153 [msnm]

• Altura de torre: 30 [m]

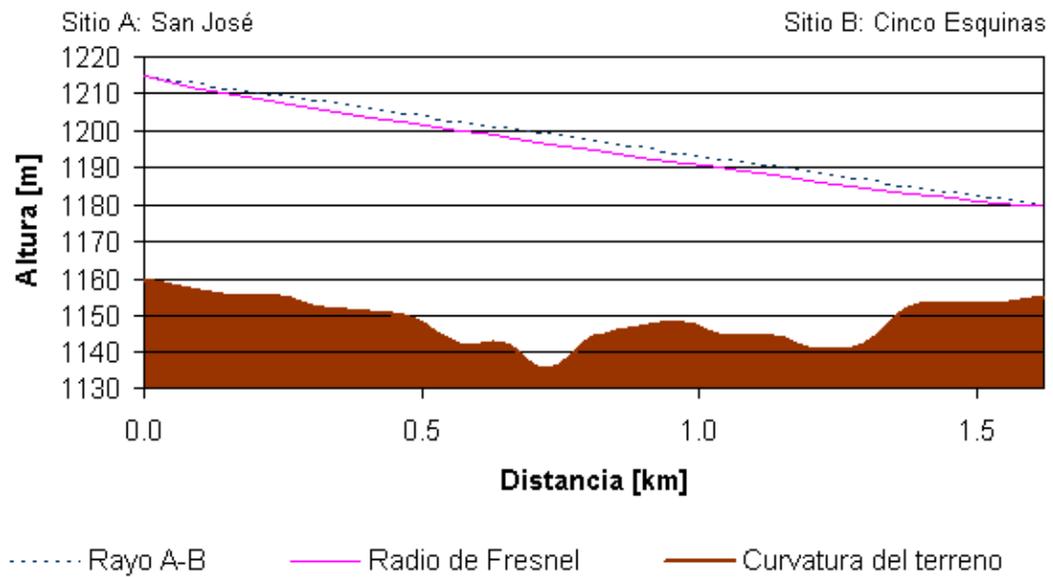


Figura A.3.21 Monopolo ubicado en estación base Llorente.



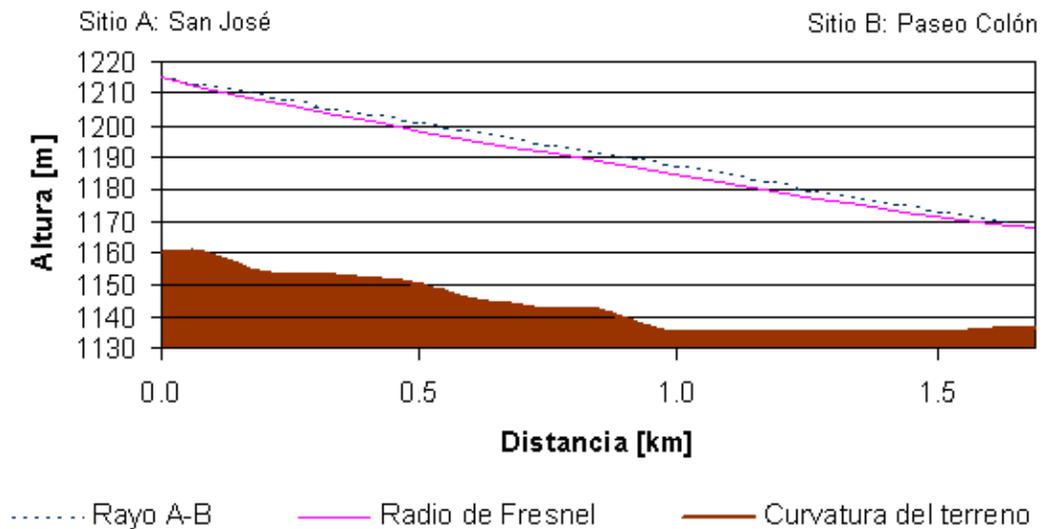
Figura A.3.22 Antenas para transmisión por microondas en estación base Llorente.

Apéndice A.4 Perfiles de enlace con radios de Fresnel



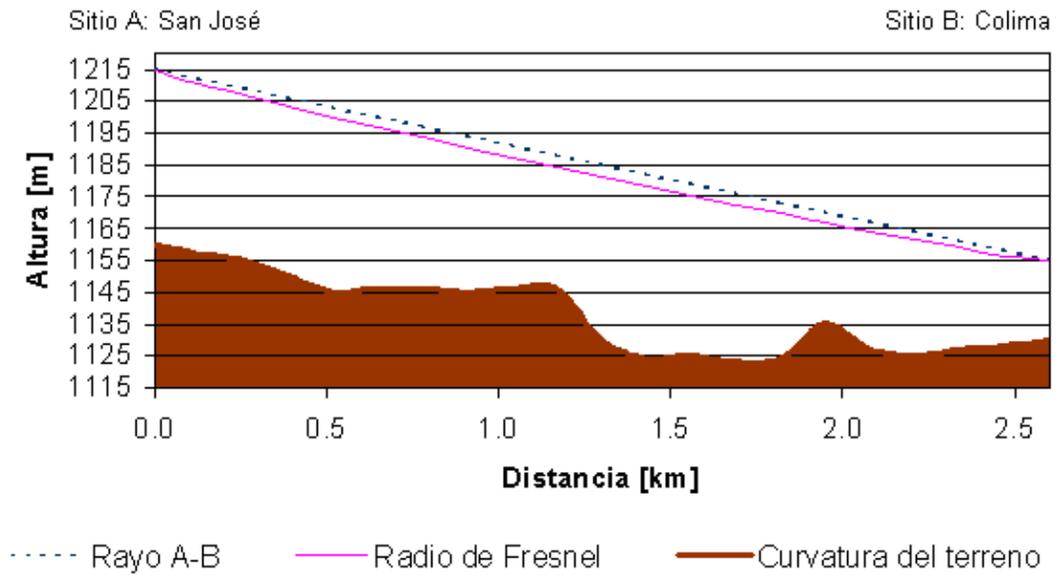
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.1 Perfil de enlace San José-Cinco Esquinas, con radio de Fresnel.



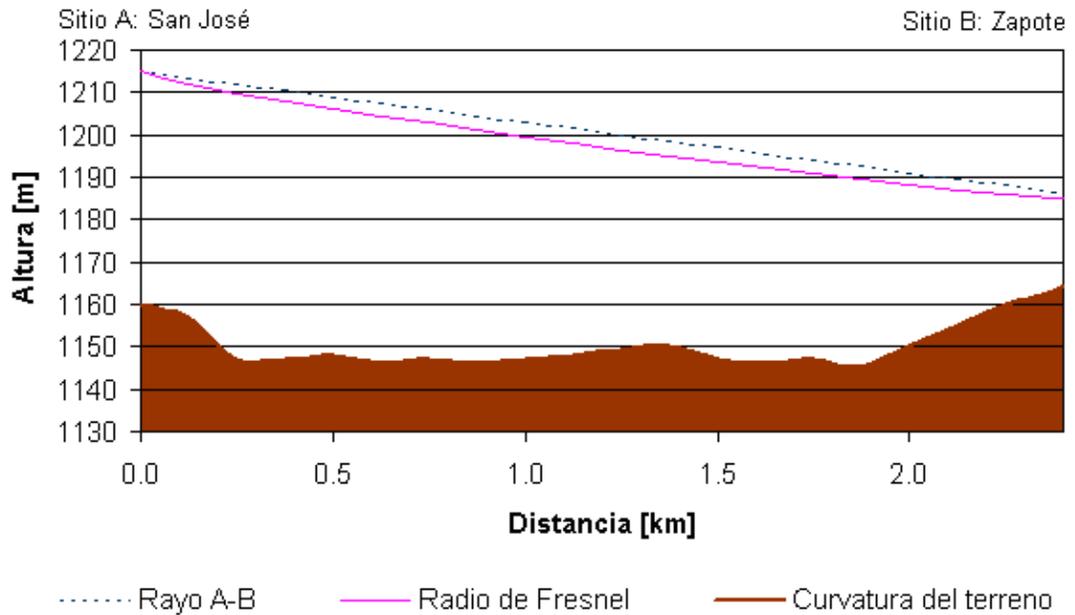
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.2 Perfil de enlace San José-Paseo Colón, con radio de Fresnel.



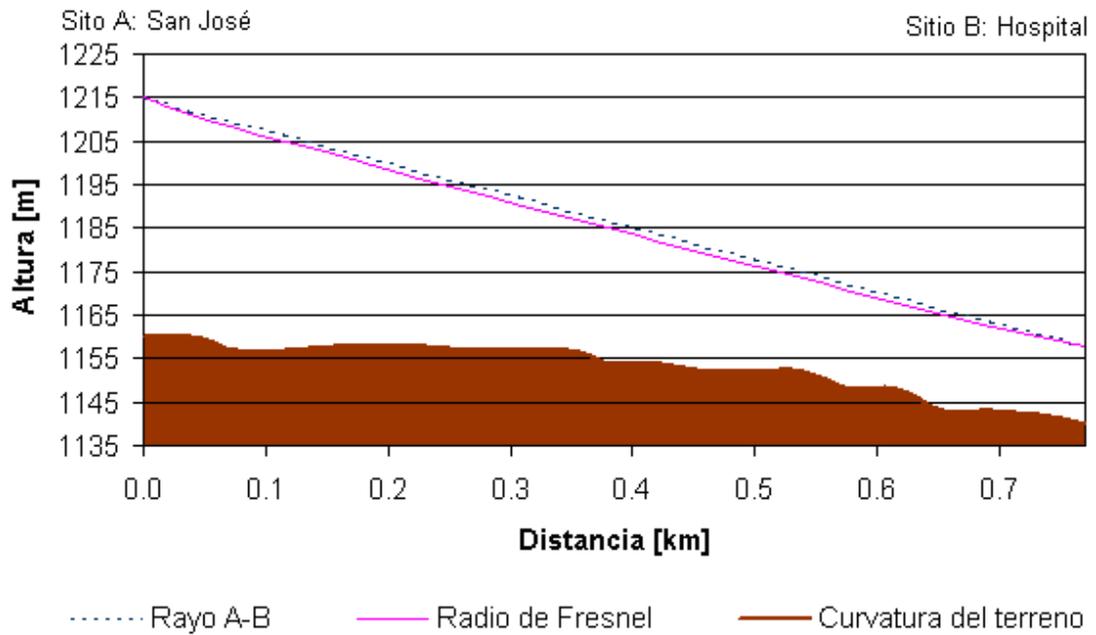
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.3 Perfil de enlace San José-Colima, con radio de Fresnel.



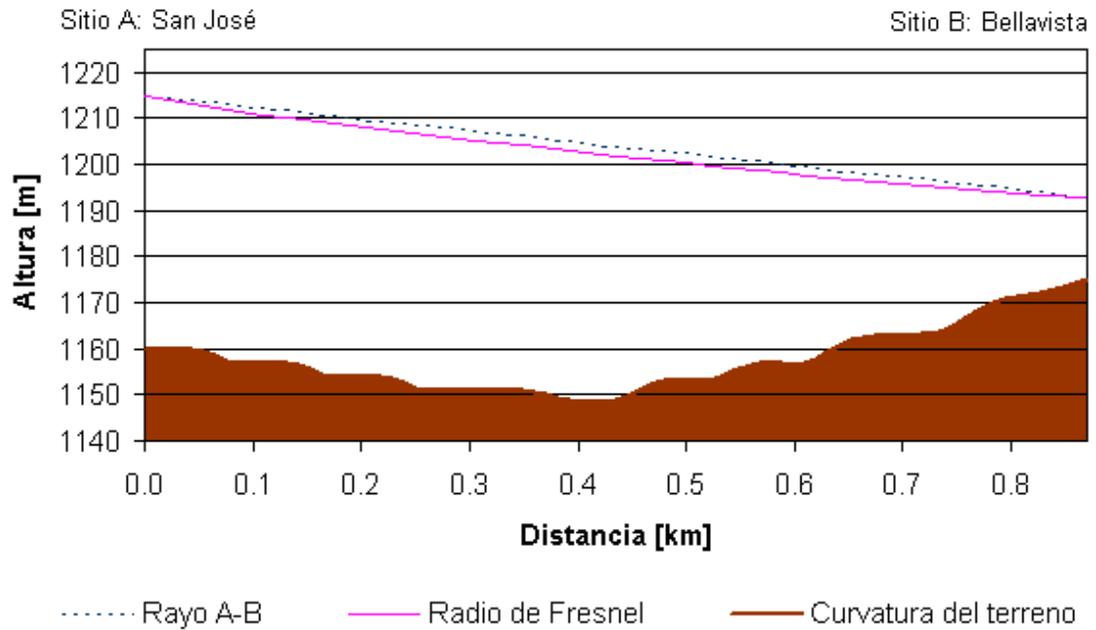
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.4 Perfil de enlace San José-Zapote, con radio de Fresnel.



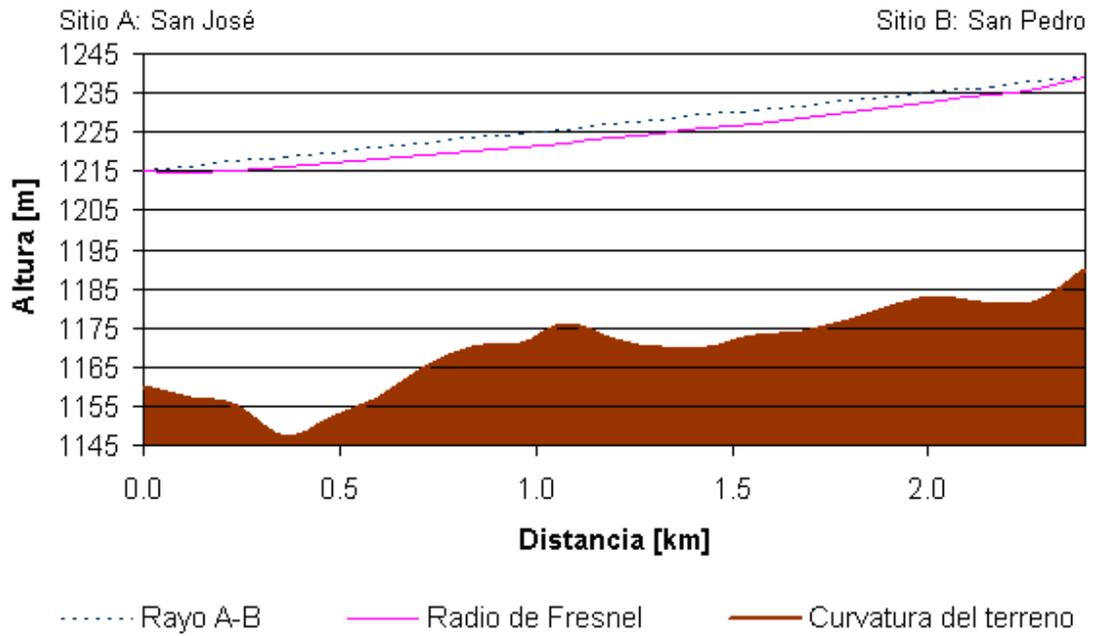
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.7 Perfil de enlace San José-Hospital, con radio de Fresnel.



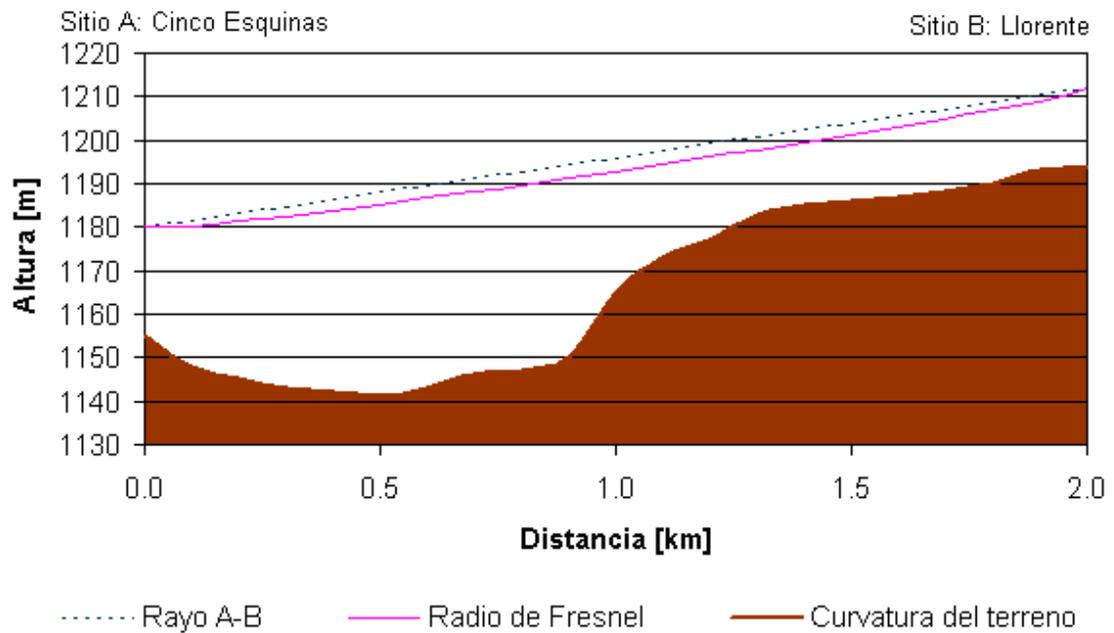
Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.8 Perfil de enlace San José-Bellavista, con radio de Fresnel.



Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.9 Perfil de enlace San José-San Pedro, con radio de Fresnel.

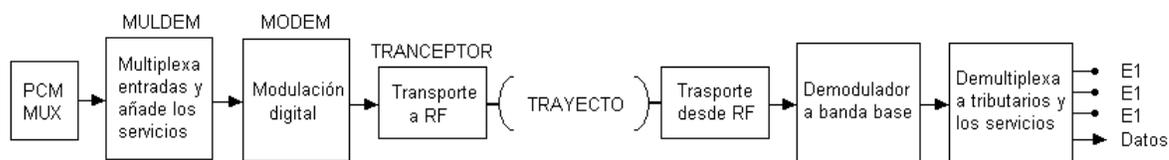


Microsoft Excel, Microsoft Paint

Figura A.4.10 Perfil de enlace Cinco Esquinas-Llorente, con radio de Fresnel.

Apéndice A.5 Descripción de Hardware

Los bloques constitutivos de un enlace típico se presentan en la figura A.5.1 Este diagrama de bloques es representativo para la mayoría de los enlaces. Hay que destacar que en este diagrama la transmisión se sitúa en el lado izquierdo y la recepción en el derecho, aunque se sabe de antemano que las dos radios son de transmisión y recepción, y comparten el mismo sistema radiante por medio de un elemento denominado duplexor.



Microsoft Paint

Figura A.5.1 Diagrama de boques para un enlace típico.

A continuación se describen uno por uno los diferentes bloques mostrados en la figura A.5.1.

Multiplex primario: Este bloque se localiza a la izquierda y se denomina PCM/MUX. Se utiliza siempre que deseemos transmitir voz analógica sobre un radioenlace digital. El proceso que sigue es el de reducir la voz a las frecuencias que existen entre las frecuencias 300 [Hz] y 3.400 [Hz] por medio de un filtrado, para posteriormente digitalizarla en formato PCM (*Pulse Coded Modulation* o Modulación de Impulsos Codificados). El procesado PCM tiene cuatro pasos: muestreado, cuantificación y multiplexación temporal.

Multiplex secundario: Este bloque se denomina MULDEM, porque MULTiplexa y DEMultiplexa los diferentes afluentes E1 de la cadena binaria transmitida.

Modem: El MODEM, término contracción de Modulador y DEModulador, se encargará de los pasos de la señal banda base al canal de frecuencia intermedia (FI) que le corresponda.

Tranceptor: La parte de esta sección de radiofrecuencia compuesta del transmisor y el receptor se denomina tranceptor. En este bloque, lo primero que se encuentra la señal es un amplificador en FI, que es donde sitúa el módem la señal de banda base. Tras ello, a menudo se incluye un predistorsionador al efecto de compensar la distorsión que introduce al amplificador. Véase que existe un mezclador que traslada la señal al canal deseado y un amplificador de potencia que dota de amplificación a la señal que se dirige hacia la antena. Este amplificador lleva un control de CAG (Control Automático de Ganancia o AGC) que le permite extraer un nivel constante con las variaciones de la temperatura del circuito.

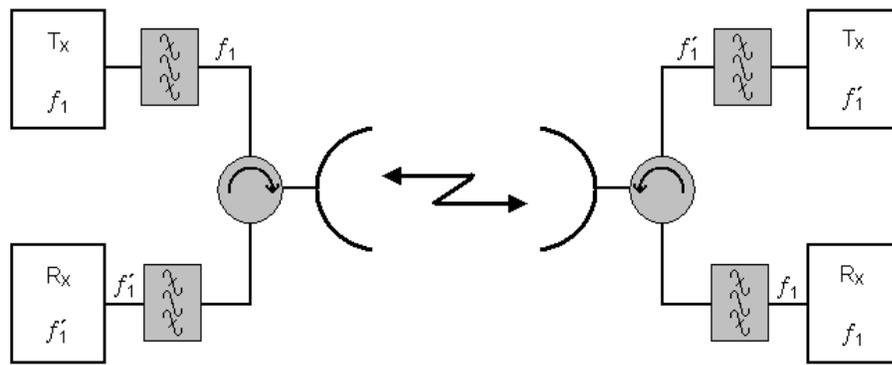
Branching: El bloque de branching es el conjunto de dispositivos que hacen de interfaz entre la salida del equipo y la entrada de antena (y viceversa en sentido recepción). Consta básicamente de filtros, combinadores, aisladores y duplexores. El duplexor es el dispositivo que permite utilizar la antena simultáneamente en los sentidos de transmisión y recepción.

Con respecto a las diferentes combinaciones de *branching* (conjunto de dispositivos que hacen de interfaz entre la salida del equipo y la entrada de antena) que podemos encontrar se tienen las siguientes protecciones en un enlace de radio:

- Sin protección (1+0)

En los equipos Ericsson, esta configuración consiste de una unidad de radio denominada como RAU1, una antena, un AMM 1U, un MMU (estas unidades se detallan más adelante) y un cable coaxial para interconexión.

Por lo general esta configuración se presenta como lo muestra en la figura a continuación:



Microsoft Paint

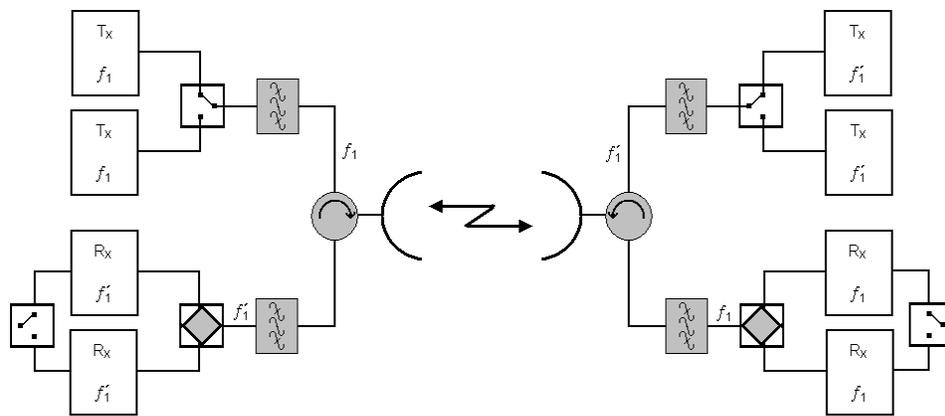
Figura A.5.2 Diagrama de bloques para una configuración 1 + 0.

- Con protección o con protección de anillo (1+1)

En los equipos Ericsson, esta configuración consiste de dos unidades de radio denominadas como RAU1 y RAU2, una o dos antenas, un AMM 2U-3 o un AMM 4U, dos MMU y dos cables coaxiales para interconexión. Las unidades RAU1 y RAU2 en conjunto se encargan de la recepción, sin embargo, en este tipo de configuración la unidad que presente mejor nivel de recepción a la hora de realizarse el tráfico de información es la que en realidad se encuentra en funcionamiento.

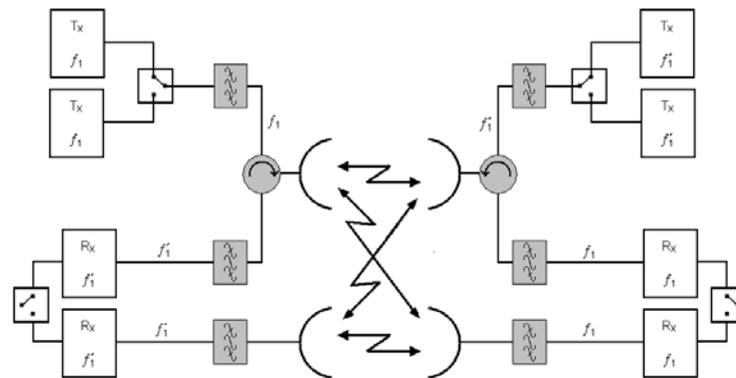
La configuración (1+1) o con protección presenta dos variaciones que son las de isofrecuencia o heterofrecuencia.

Por lo general la configuración en isofrecuencia se presenta como lo muestra en la figura a continuación:



Microsoft Paint
Figura A.5.3 Diagrama de bloques para una configuración 1 + 1 isofrecuencia.

Por lo general la configuración en heterofrecuencia se presenta como lo muestra en la figura a continuación:

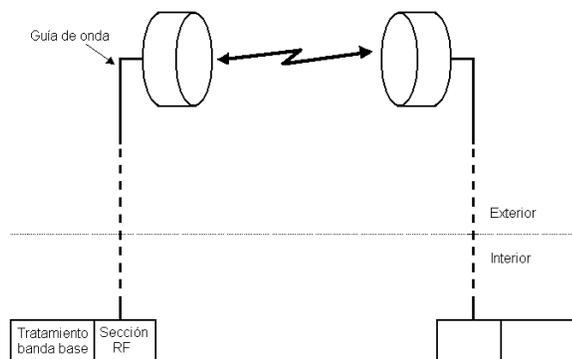


Microsoft Paint

Figura A.5.4 Diagrama de bloques para una configuración 1 + 1 heterofrecuencia.

Además de la clasificación anterior, los equipos de radio se pueden encontrar en tres versiones diferentes.

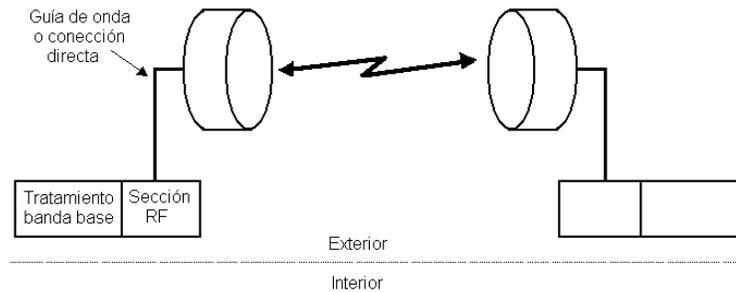
- Versión todo de interior (*all indoor*), donde todo el equipamiento de radio se sitúa generalmente en armarios, en forma de tarjetas modulares para un mejor mantenimiento. Del equipo de radio sale una guía de onda hacia la antena montada sobre la torre.



Microsoft Paint

Figura A.5.5 Modelo de equipo radio en configuración de todo interior.

- Versión todo de exterior (*all outdoor*), en la que todo el equipo se prepara para estar a la intemperie. De esta forma, se reducen las necesidades de espacio acondicionado para albergar equipos.

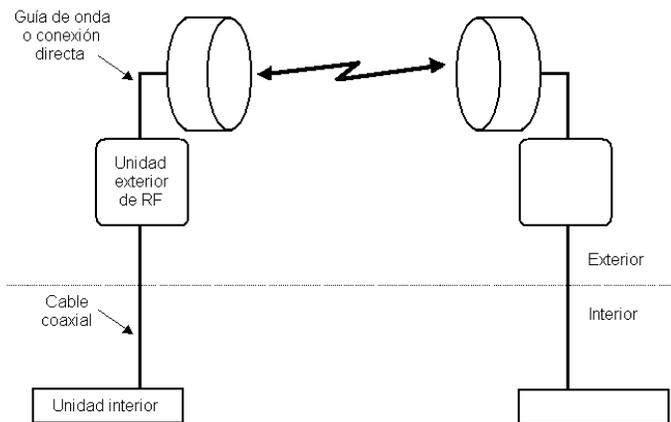


Microsoft Paint

Figura A.5.6 Modelo de equipo radio en configuración de todo exterior.

- Versión partida (*split units*), utilizada en muchos equipos de radio con frecuencias superiores a los 10 [GHz]. Si tenemos en cuenta que los equipos de radio generalmente existe una parte de procesamiento en banda base y otra de procesamiento en radiofrecuencia (RF), donde la primera tiene relación con el procesamiento de la señal antes de ser trasladada en frecuencia, mientras que la de RF tiene que ver con la salida en potencia de la señal situada sobre el canal de RF de interés.

Las versiones partidas colocan en un armario de intemperie separado de la parte de RF y lo sitúan fuera de la caseta, generalmente sobre la torre, y lo más cerca posible de la antena. De este modo, se consigue que las guías que unen la parte de RF con la antena sean de muy pequeña longitud, minimizando de este modo las pérdidas que en ciertos entornos de frecuencias son fundamentalmente limitantes del alcance de los radioenlaces.



Microsoft Paint

Figura A.5.7 Modelo de equipo radio en configuración partida.

Equipo Mini-Link de Ericsson utilizado en las estaciones base analizadas presentan una configuración partida donde existen unidades que se ubican tanto en el interior como en el exterior.

Las unidades que encontramos en el interior son:

- **Access Module Magazine (AMM):** La AMM provee un mecanismo para el almacenamiento de las diferentes unidades. Este módulo puede ser encontrado en diferentes tamaños: AMM 1U, AMM 1U-3, AMM 2U-3 y AMM 4U.
- **Modem Unit (MMU):** Es la interfaz bajo techo con la unidad de radio, contiene el Modulador y el Demodulador. Se necesita 1 MMU por radio.



Microsoft Paint

Figura A.5.8 Unidad MMU utilizada para los procesos de modulación y demodulación.

Dependiendo el tipo de modulación a utilizar así se tienen 2 tipos de MMU:

Modulación C-QPSK:

MMU 2x2:	Se utiliza para 2x2 Mbit/s
MMU 4x2/8:	Se utiliza para 4x2 ó 8 Mbit/s (Incluye un 2/8 MUX)
MMU 2x8:	Se utiliza para 2x8 Mbit/s ó 8x2 Mbit/s con SMU
MMU 34+2:	Se utiliza para 34+2 Mbits/s ó 17x2 Mbit/s con SMU
MMU 2x2 – 34+2:	Tiene capacidad de tráfico variable (configurable por software en 2x2, 4x2/8, 2x8, y 34+2)

Modulación 16 QAM:

MMU 2x8/16:	para 2x8 Mbit/s ó 8x2 Mbit/s con SMU
MMU 34+2/16:	para 34+2 Mbit/s ó 17x2 Mbit/s con SMU

- *Switch Multiplexer Unit* (SMU): Se usa en la protección 1+1 para conmutaciones y/o en Multiplexación o Demultiplexación de canales de 2 Mbit/s.

Dependiendo de la capacidad de tráfico a utilizar se tienen las siguientes unidades:

SMU sw:	Una terminal con configuración protegida 1+1, capacidad de tráfico: 2x2, 4x2/8, 8x2 ó 34+2 Mbit/s.
SMU 8x2:	Una terminal con configuración sin protección 1+0 ó con protección 1+1, capacidad de tráfico variable.
SMU 16x2:	Dos terminales con configuración sin protección 1+0, capacidad de tráfico variable.



Microsoft Paint
Figura A.5.9 Unidad SMU utilizada para los procesos de multiplexación y demultiplexación.

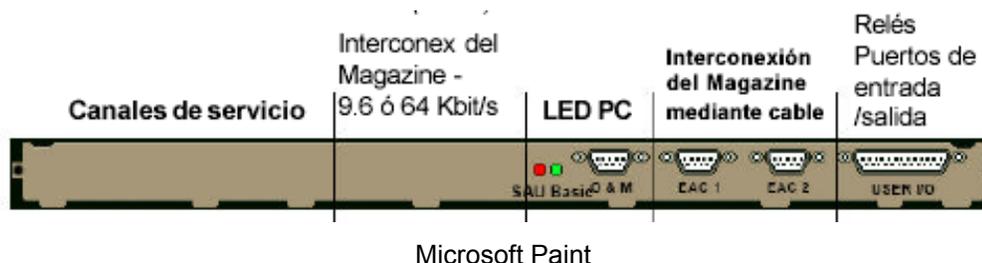
- *Service Access Unit (SAU):* Provee características adicionales como: canales de servicio, entradas y salidas de servicio, y canal de alarma externo.

Los tres tipos de SAU existentes son:

SAU Básico: Dos canales de alarma externos, cuatro interfaces de entrada/salida.

SAU Exp 1: Con funcionalidad básica, dos canales digitales de servicio por terminal de radio y canal de alarma remoto (RAC).

SAU Exp 2: Con funcionalidad básica, un canal de servicio analógico y un RAC.



Microsoft Paint
Figura A.5.10 Unidad SAU, utilizada en aplicaciones adicionales al sistema de servicio.

- *Fan Unit:* Garantiza el enfriamiento necesario de las unidades, se coloca en la parte de arriba de las AMM.
- *DC Distribution Unit (DDU):* Es un elemento opcional que se usa para la distribución CD primaria para un máximo de cinco MMU o unidades de ventilación.

Las unidades que encontramos al aire libre son las siguientes:

- *Radio Unit* (RAU): La RAU genera y recibe la señal y la convierte para ser utilizada bajo un formato usado por el cable de radio.



Microsoft Photoshop, Microsoft Paint

Figura A.5.11 Unidad de radio externa RAU.

Las unidades de radio pueden ser equipadas con antenas individuales o se pueden conectar a una única antena. En el caso de una antena, las dos unidades de radio se conectan por medio de guías de onda a un divisor o splitter, colocado en una antena con polarización única.

- Antena: La antena compacta combina un alto desempeño con bajo consumo de espacio al aire libre. La antena por lo general se instala en forma integrada, pero existe la posibilidad de realizarlo por separado. Las antenas utilizadas en los enlaces que mostrados en la tabla 5.1 son de 0,6 [m] y de 1,2 [m], en algunos casos estándar y en otros de alto desempeño o HP (High Power). La figura A.5.12 muestra diferentes tamaños de antenas fabricadas por la firma Andrew.

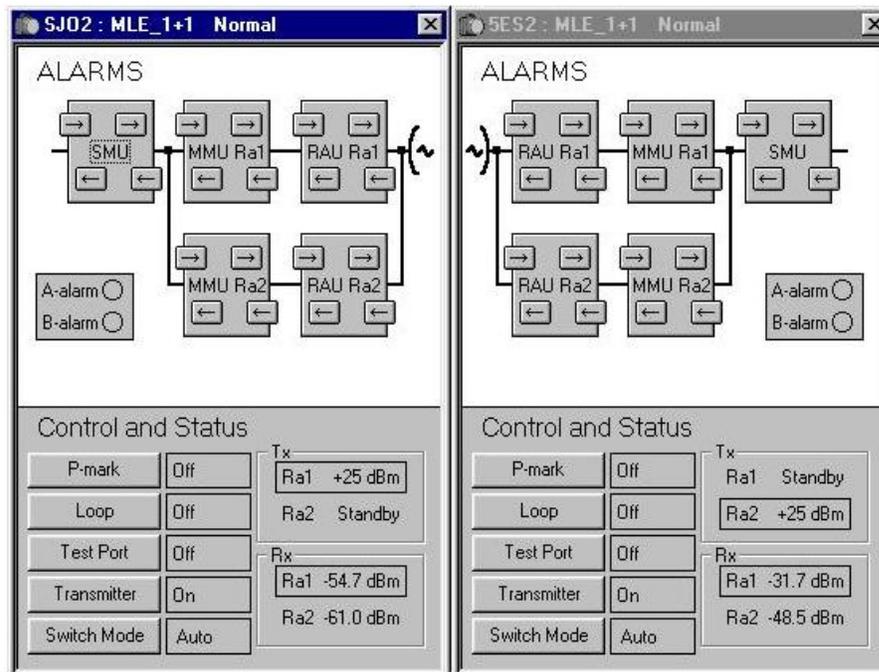


Microsoft Paint

Figura A.5.12 Diferentes tamaños de antenas utilizadas en la transmisión por microondas.

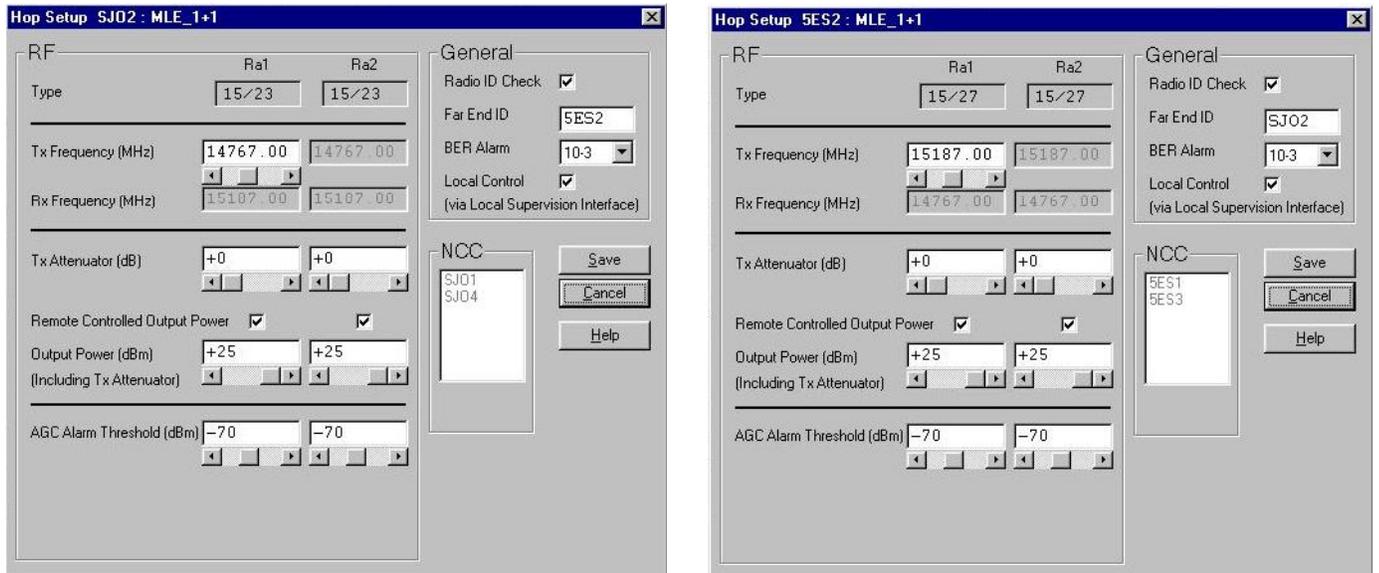
- Cable de radio: El cable de radio que conecta la RAU con la MMU, es un cable coaxial por cual transita tráfico full duplex, voltaje de alimentación CD y tráfico de servicio. Este cable ó como comúnmente se le denomina feeder, adiciona pérdidas tanto en la transmisión como en la recepción, por lo que el estimar un cálculo para la atenuación que presenta es de suma importancia.

Apéndice A.7



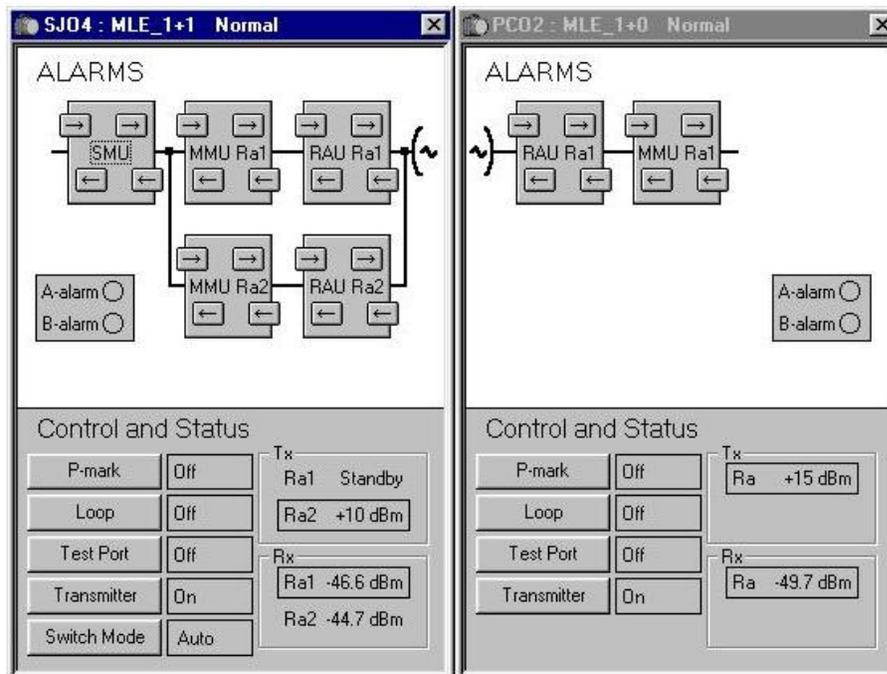
MSM de Ericsson

Figura A.7.1 Interfaz de enlace SJO2-5ES2.



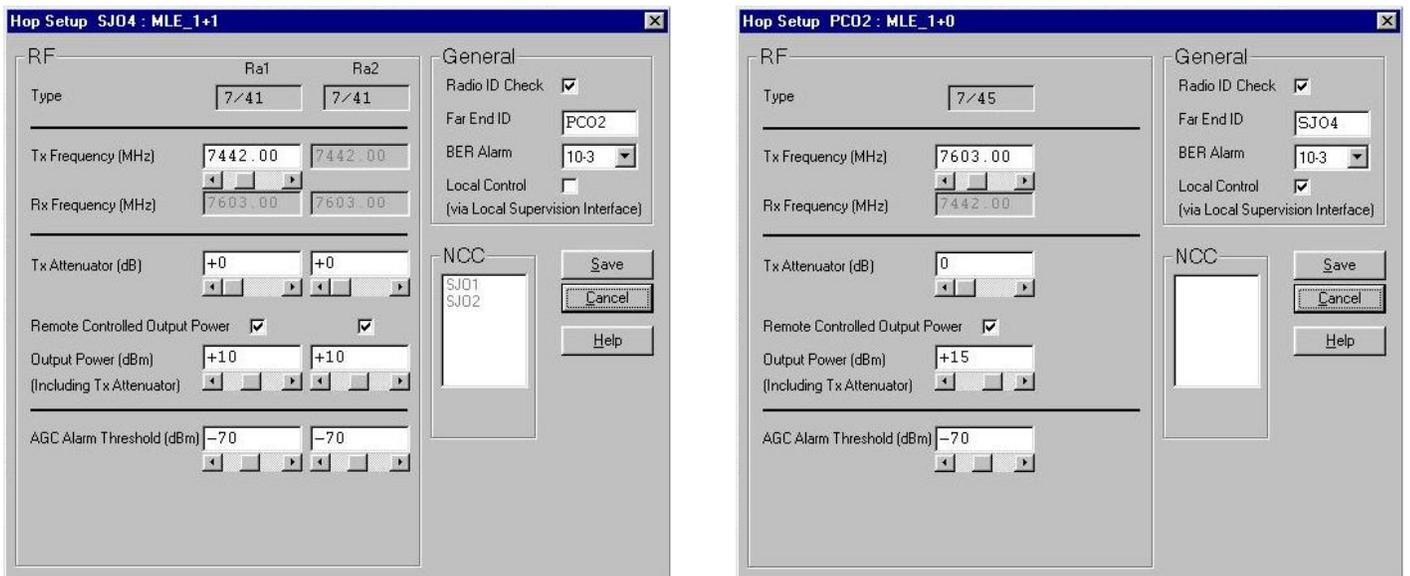
MSM de Ericsson

Figura A.7.2 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJO2-5ES2.



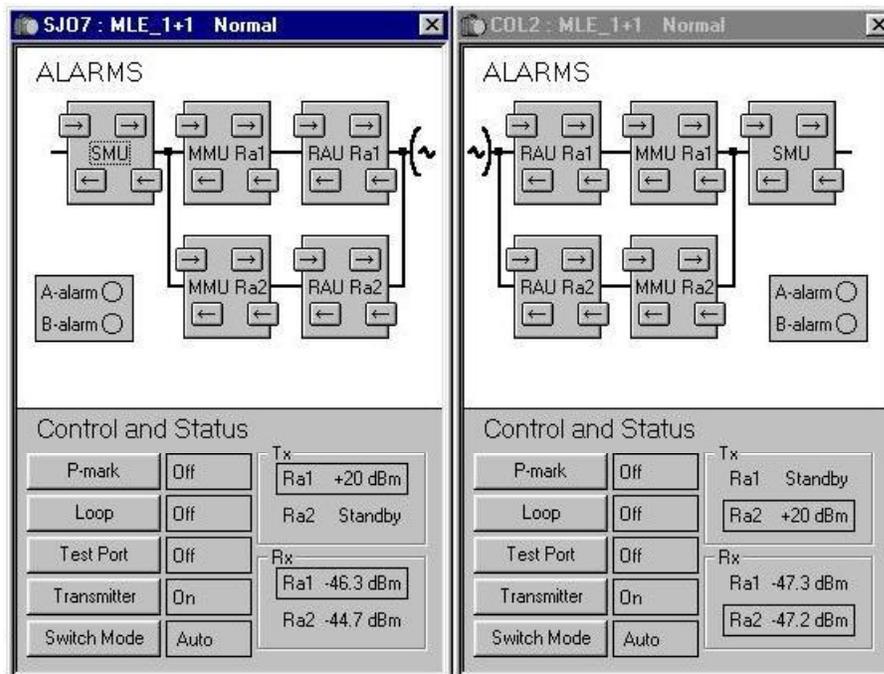
MSM de Ericsson

Figura A.7.3 Interfaz de enlace SJO4-PCO2.



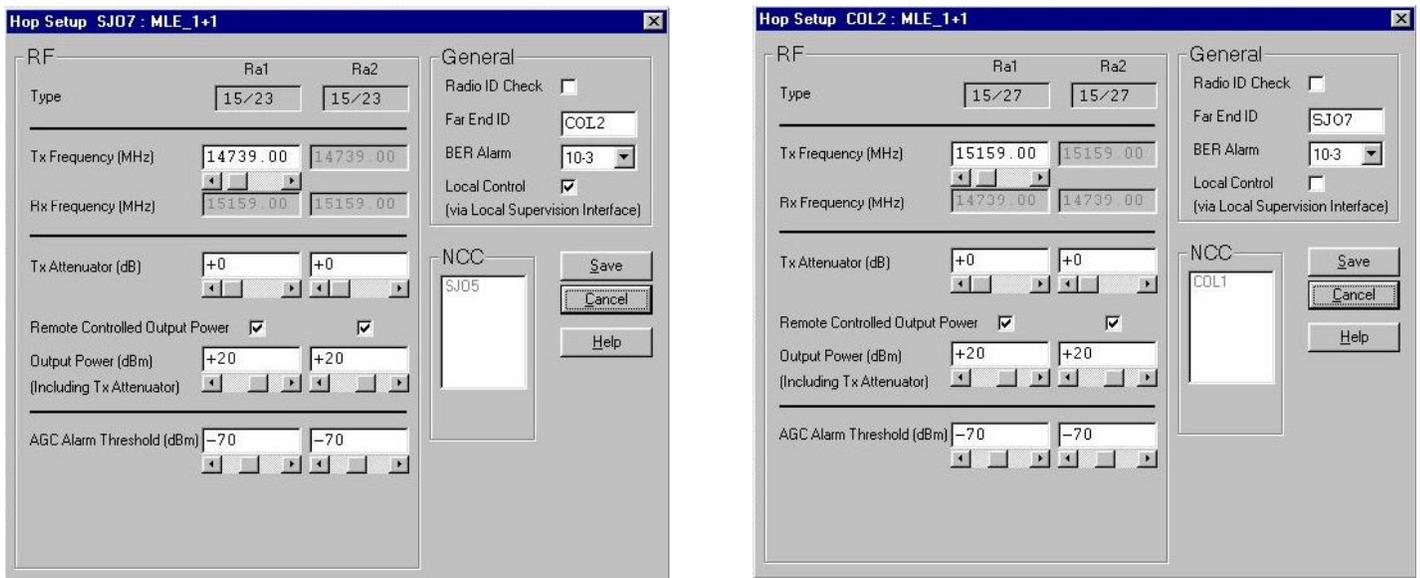
MSM de Ericsson

Figura A.7.4 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJO4-PCO2.



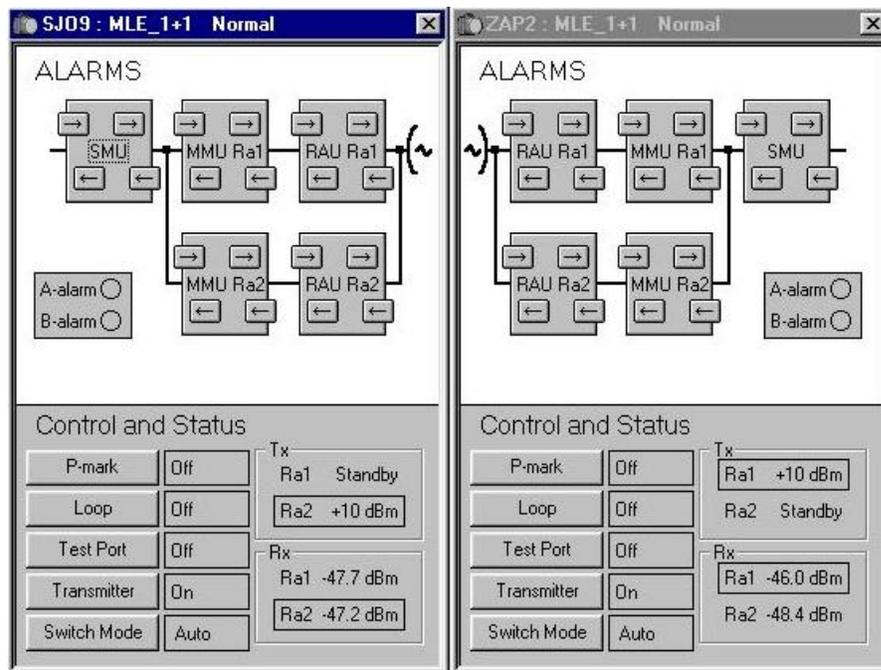
MSM de Ericsson

Figura A.7.5 Interfaz de enlace SJO7-COL2.



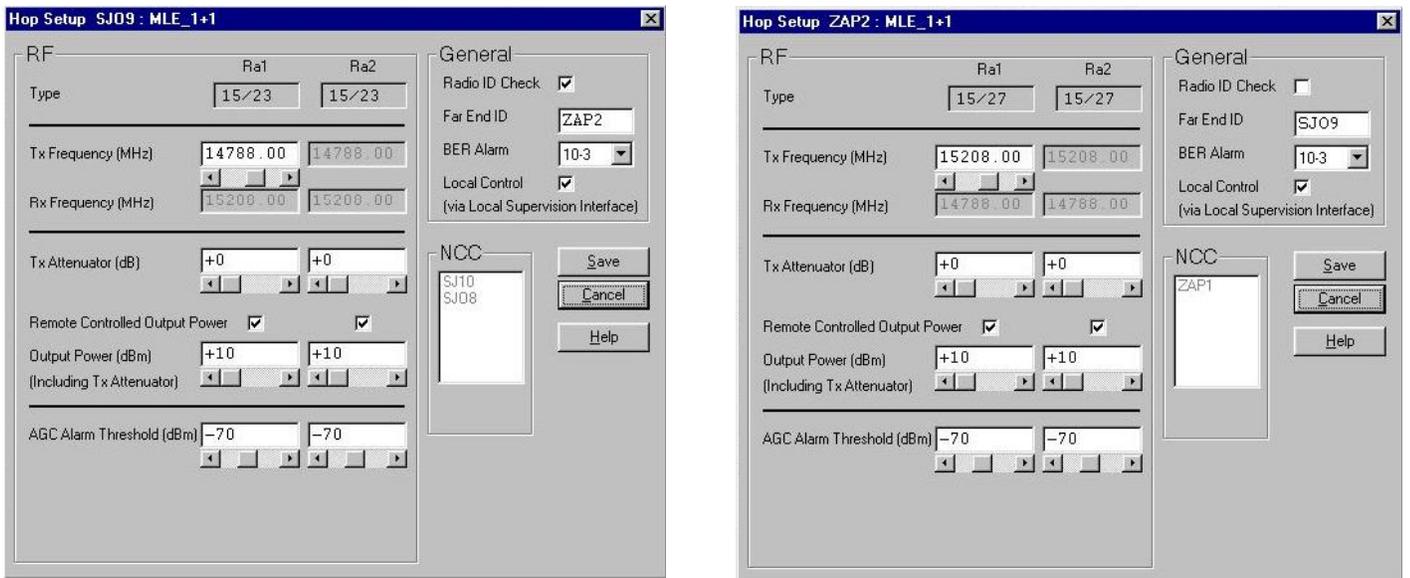
MSM de Ericsson

Figura A.7.6 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJO7-COL2.



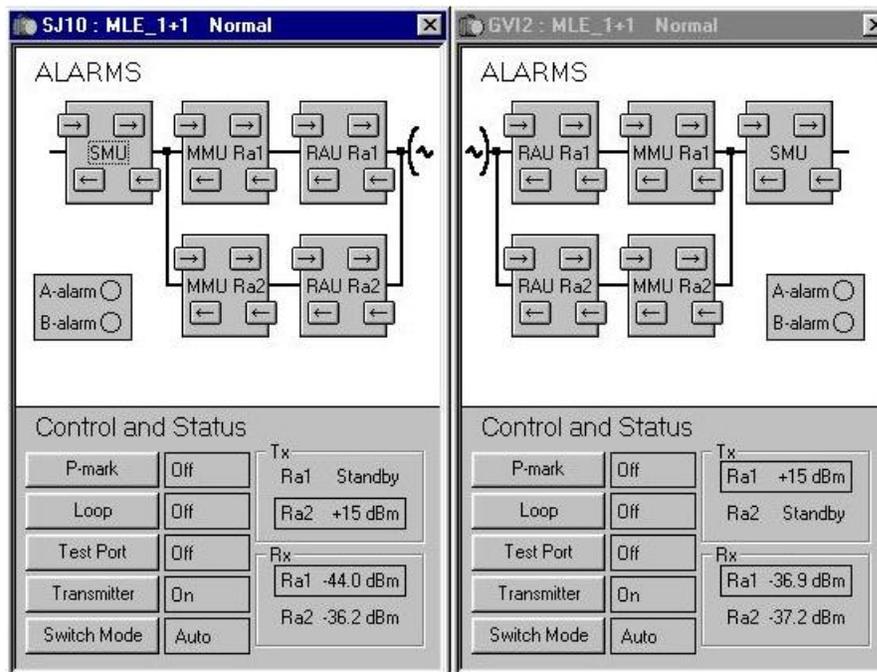
MSM de Ericsson

Figura A.7.7 Interfaz de enlace SJO9-ZAP2.



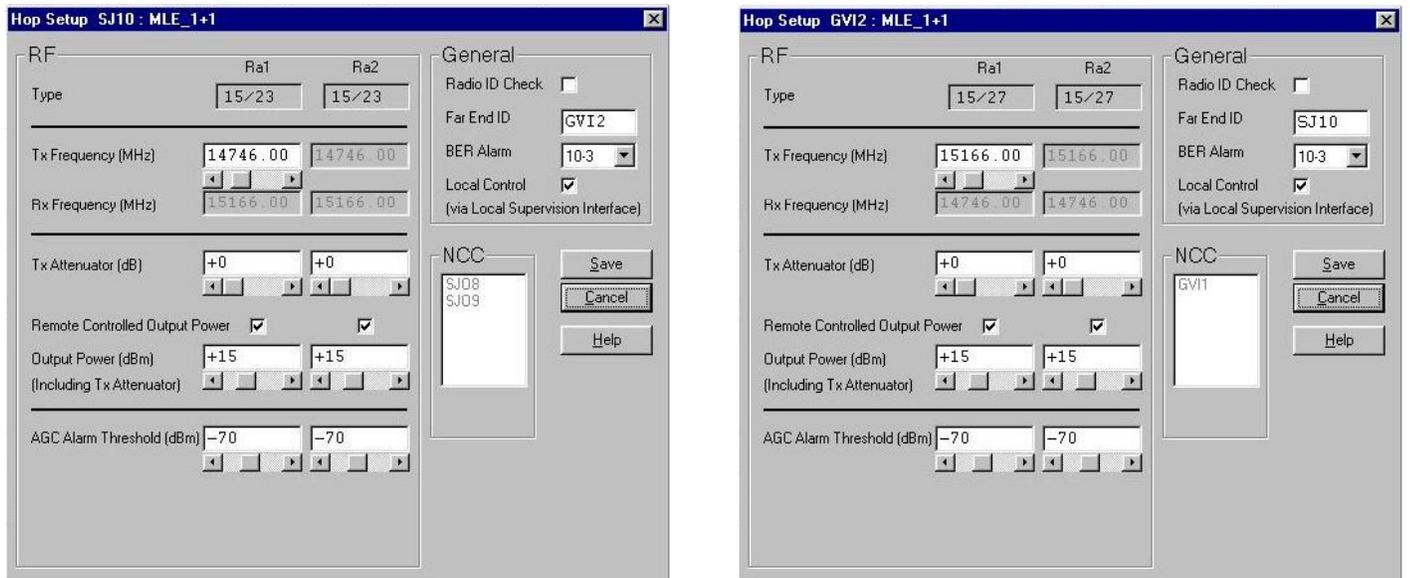
MNM de Ericsson

Figura A.7.8 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJO9-ZAP2.



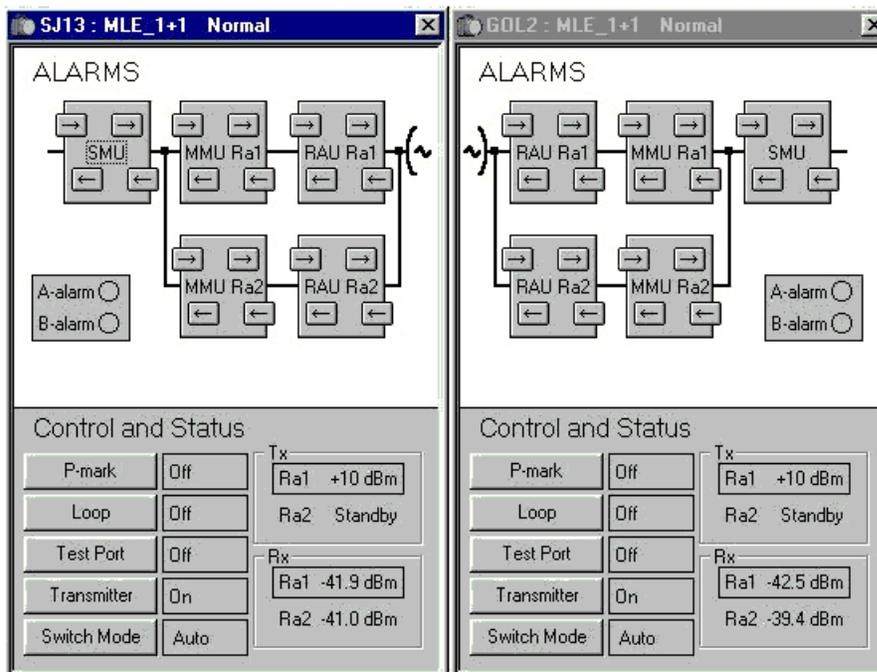
MSM de Ericsson

Figura A.7.9 Interfaz de enlace SJ10-GVI2.



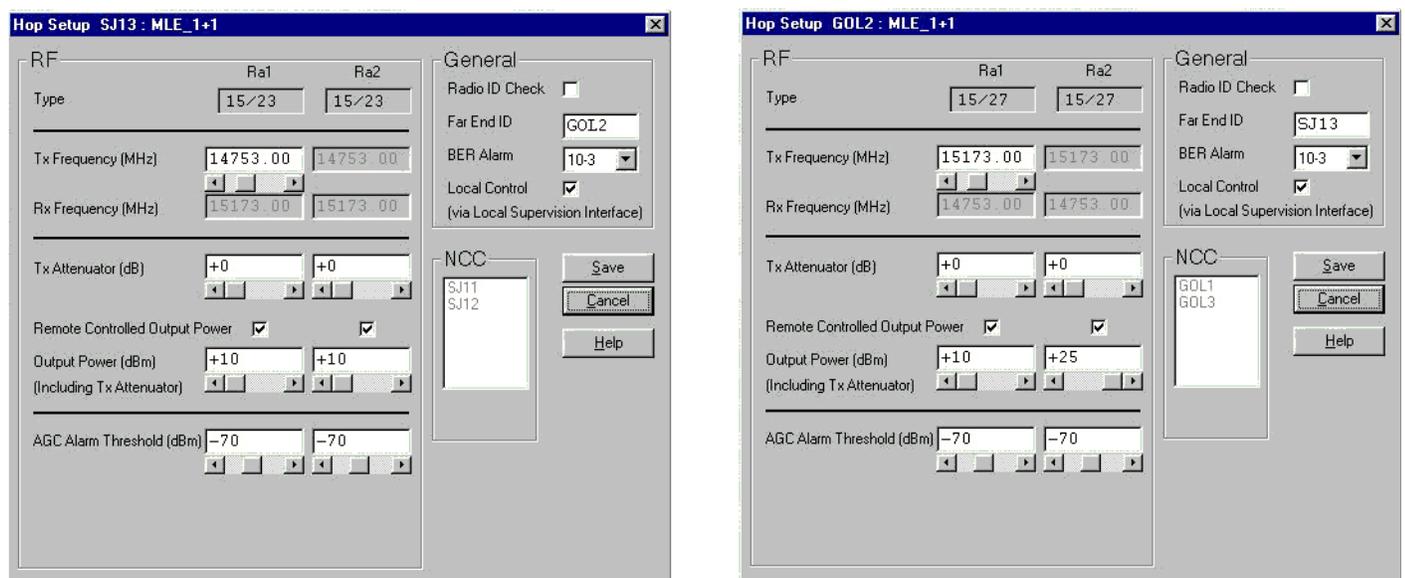
MNM de Ericsson

Figura A.7.10 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJ10-GVI2.



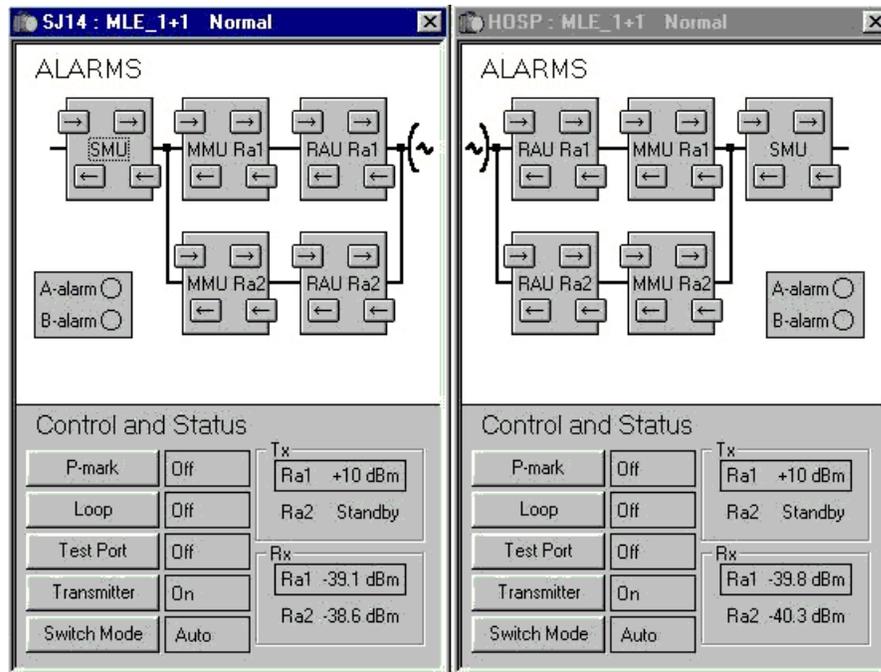
MSM de Ericsson

Figura A.7.11 Interfaz de enlace SJ13-GOL2.



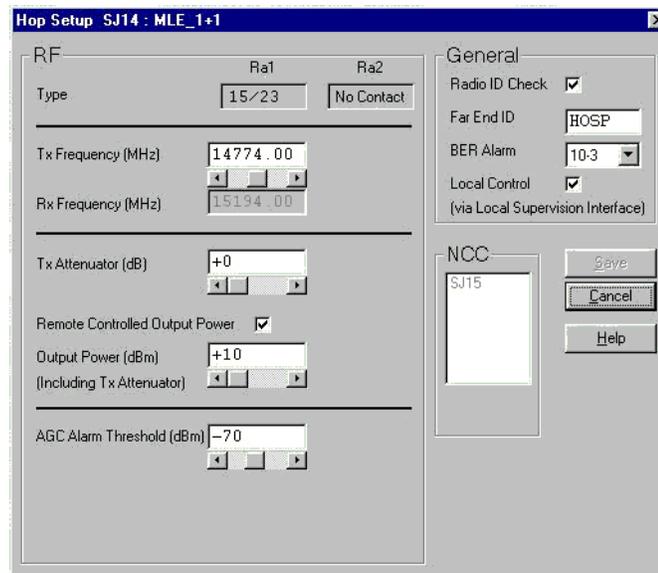
MNM de Ericsson

Figura A.7.12 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJ13-GOL2.



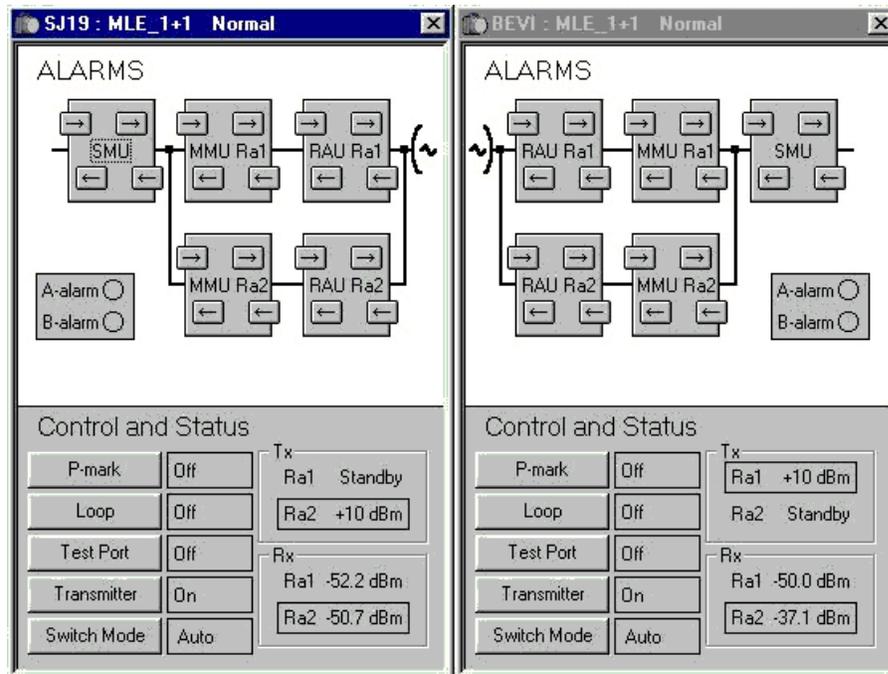
MSM de Ericsson

Figura A.7.13 Interfaz de enlace SJ14-HOSP.



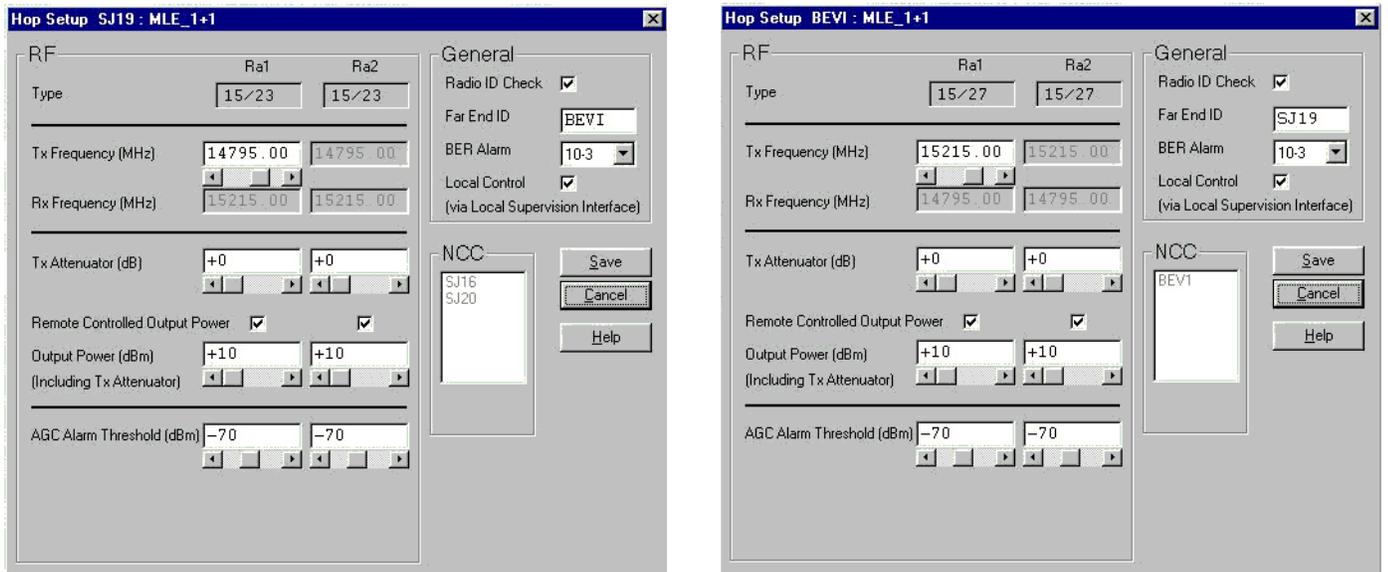
MMN de Ericsson

Figura A.7.14 Interfaz de la terminal SJ14 en el enlace SJ14-HOSP.



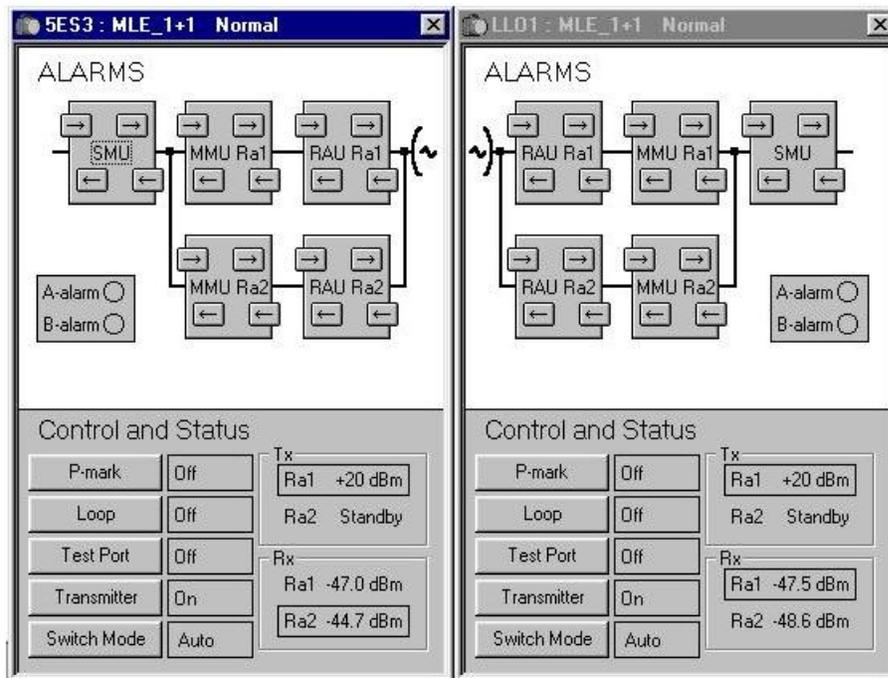
MNM de Ericsson

Figura A.7.15 Interfaz de enlace SJ19-BEVI.



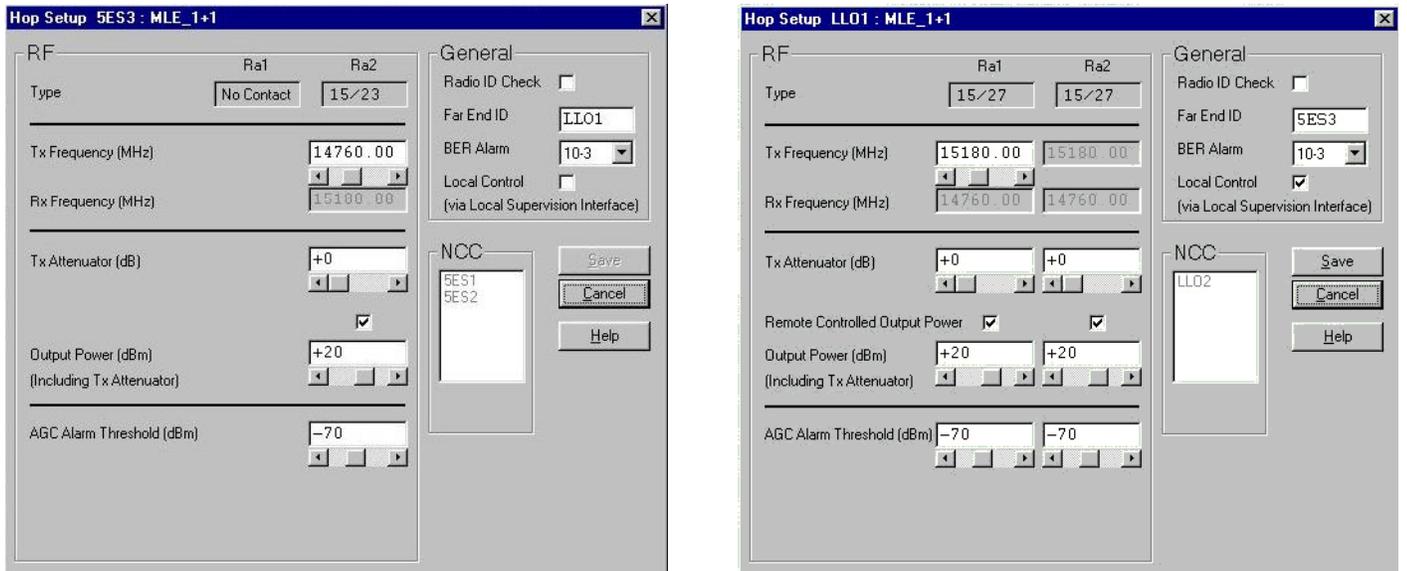
MNM de Ericsson

Figura A.7.16 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace SJ19-BEVI.



MNM de Ericsson

Figura A.7.17 Interfaz de enlace 5ES3-LLO1.



MNM de Ericsson

Figura A.7.18 Interfaz de cada una de las terminales en el enlace 5ES3-LLO1.

Apéndice A.8 Simulación por medio de software MLPERF

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: SJO2-5ES2 from (A) San José to (B) Cinco Esquinas
 Path length (km): 1.62 ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C
 Latitude (deg north): 9.0 Longitude (deg east): -84.0

Outage prediction data
 Refr. gradient (dn1): -200 Altitude of lower ant. (m): 1100 Rain int. (mm/h): 120 MTTR (hours): 6
 Terrain roughness (m): 0 Incl. (mrad): 0
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red.conf.: Hot Standby Polarization: Vertic
 Mounting: Split MUX levels: 0

Radio hop data
 SiteA (Node) SiteB (Term)
 Transmit rate/dev.: 2*2 Mbps
 Transmitter type: High Power
 Output power (dBm): 25 25
 Tx mode: Fixed power Fixed power
 Antenna type: 0.6m HP 0.6m HP

Waveguide att. (dB): 2 2
 Rx ATPC set point (dBm):
 Thr. deg. mp (dB): 0.0 0.0
 Thr. deg. rain (dB): 0.0 0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: no passive repeater

Performance measures
 Based on ITU-T G821

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.1e-20
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Calculate Print Return Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.1 Ventana de diseño de enlace SJO2-5ES2 (San José - Cinco Esquinas)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJO2-5ES2
 from (siteA): San José
 to (siteB): Cinco Esquinas

Equipment
 ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	25.0	25.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	36.6	36.6
Free space loss (dB):	120.1	120.1
Atm. absorption (dB):	0.1	0.1
Rec. ant. gain (dB):	36.6	36.6
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-25.9	-25.9
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	2.35	2.35
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	66.1 /66.1	66.1 /66.1
10-6 fade margin mp/rain (dB):	62.1 /62.1	62.1 /62.1

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.1e-20
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821 Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.2 Ventana de diseño de enlace SJO2-5ES2 (San José - Cinco Esquinas)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: SJO4-PCO2 from (A) San José to (B) Paseo Colón
 Path length (km): 1.69
 Latitude (deg north): 9.0 Longitude (deg east): -84.0
 ML 7/1 C-QPSK R1G/R1C

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): -200 Altitude of lower ant. (m): 1160 Rain int. (mm/h): 120 MTTR (hours): 6
 Terrain roughness (m): 0 Incl. (mrad): 0
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red. conf.: Hot Standby Polarization: Vertic
 Mounting: Split MUX levels: 0

Radio hop data
 SiteA (Node) SiteB (Term)
 Transmit rate/dev.: 2-2 Mbps
 Transmitter type: Standard
 Output power (dBm): 15 10
 Antenna type: 0.6m HP R1A 0.6m HP R1A
 Transm. att. (dB): 1 1
 Waveguide att. (dB): 0 0
 Thr. deg. mp (dB): 0.0 0.0
 Thr. deg. rain (dB): 0.0 0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: no passive repeater

Performance measures
 Based on ITU-T G821
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Calculate Print Return Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.3 Ventana de diseño de enlace SJO4-PCO2 (San José – Paseo Colón)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJO4-PCO2
 from (siteA): San José
 to (siteB) : Paseo Colón

Equipment
 ML 7/1 C-QPSK R1G/R1C

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	15.0	10.0
Transmit att. (dB):	1.0	1.0
Transm. waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Transm. antenna gain (dB):	31.0	31.0
Free space loss (dB):	114.4	114.4
Atm. absorption (dB):	0.0	0.0
Rec. ant. gain (dB):	31.0	31.0
Rec. waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Unfaded receive level (dBm):	-38.4	-43.4
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	2.04	1.92
10-3 threshold (dBm):	-93.0	-93.0
10-6 threshold (dBm):	-89.0	-89.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	54.6 /54.6	49.6 /49.6
10-6 fade margin mp/rain (dB):	50.6 /50.6	45.6 /45.6

Performance/unavailability
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821 Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.4 Ventana de diseño de enlace SJO4-PCO2 (San José – Paseo Colón)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: from (A) to (B)
 Path length (km):
 Latitude (deg north): Longitude (deg east):

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): Altitude of lower ant. (m): Rain int. (mm/h): MTTR (hours):
 Terrain roughness (m): Incl. (mrad): [Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9](#)

Configuration
 Red. conf.: Polarization:
 Mounting: MUX levels:

Radio hop data
 SiteA (Node) SiteB (Term)
 Transmit rate/dev.:
 Transmitter type:
 Output power (dBm):
 Tx mode:
 Antenna type:
 Waveguide att. (dB):
 Rx ATPC set point (dBm):
 Thr. deg. mp (dB):
 Thr. deg. rain (dB):

Passive repeater data
 Passive repeater:

Performance measures
 Based on ITU-T G821
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.5 Ventana de diseño de enlace SJO7-COL2 (San José - Colima)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJO7-COL2
 from [siteA]: San José
 to [siteB]: Colima

Equipment
 ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	20.0	20.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	124.1	124.1
Atm. absorption (dB):	0.1	0.1
Rec. ant. gain (dB):	32.1	32.1
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-43.9	-43.9
Nominal RSSI (AGC) voltage (V):	1.90	1.90
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	48.1 /48.1	48.1 /48.1
10-6 fade margin mp/rain (dB):	44.1 /44.1	44.1 /44.1

Performance/unavailability
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.6 Ventana de diseño de enlace SJO7-COL2 (San José - Colima)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: SJO9-ZAP2 from (A) San José to (B) Zapote
 Path length (km): 2.5
 Latitude (deg north): 9.0 Longitude (deg east): -84.0
 ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): -200 Altitude of lower ant. (m): 1105 Rain int. (mm/h): 120 MTTR (hours): 6
 Terrain roughness (m): 0 Incl. (mrad): 0
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red.conf.: Hot Standby Polarization: Vertic
 Mounting: Split MUX levels: 0

Radio hop data
 SiteA (Node) SiteB (Term)
 Transmit rate/dev.: 2*2 Mbps
 Transmitter type: Standard
 Output power (dBm): 10 10
 Tx mode: Fixed power Fixed power
 Antenna type: 0.6m HP 0.6m HP
 Waveguide att. (dB): 2 2
 Rx ATPC set point (dBm):
 Thr. deg. mp (dB): 0.0 0.0
 Thr. deg. rain (dB): 0.0 0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: no passive repeater

Performance measures
 Based on ITU-T G821
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Calculate Print Return Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.7 Ventana de diseño de enlace SJO9-ZAP2 (San José - Zapote)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJO9-ZAP2
 from (siteA): San José
 to (siteB): Zapote

Equipment
 ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	10.0	10.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	36.6	36.6
Free space loss (dB):	123.9	123.9
Atm. absorption (dB):	0.1	0.1
Rec. ant. gain (dB):	36.6	36.6
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-44.7	-44.7
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	1.88	1.88
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	47.3 /47.3	47.3 /47.3
10-6 fade margin mp/rain (dB):	43.3 /43.3	43.3 /43.3

Performance/unavailability
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821 Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.8 Ventana de diseño de enlace SJO9-ZAP2 (San José - Zapote)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: **SJ10-GV12** from (A) **San José** to (B) **González Víquez**
 Path length (km): **1.22**
 Latitude (deg north): **9.0** Longitude (deg east): **-84.0**

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): **-204** Altitude of lower ant. (m): **1165** Rain int. (mm/h): **120** MTTR (hours): **6**
 Terrain roughness (m): **0** Incl. (mrad): **0**
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red. conf.: **Hot Standby** Polarization: **Vertic**
 Mounting: **Split** MUX levels: **0**

Radio hop data

	SiteA (Node)	SiteB (Term)
Transmit rate/dev.	2-2 Mbps	
Transmitter type	Standard	
Output power (dBm)	15	15
Tx mode	Fixed power	Fixed power
Antenna type	0.3m HP	0.3m HP
Waveguide att.(dB)	2	2
Rx.ATPC set point (dBm)		
Thr. deg.mp (dB)	0.0	0.0
Thr. deg.rain (dB)	0.0	0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: **no passive repeater**

Performance measures
 Based on ITU-T G821

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Buttons: Calculate, Print, Return, Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.9 Ventana de diseño de enlace SJ10-GV12 (San José – González Víquez)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
SJ10-GV12
 from (siteA): **San José**
 to (siteB): **González Víquez**

Equipment
ML 15/2 C-QPSK R1A/R1C

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	15.0	15.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	36.6	36.6
Free space loss (dB):	117.6	117.6
Atm. absorption (dB):	0.0	0.0
Rec. ant. gain (dB):	36.6	36.6
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-33.5	-33.5
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	2.16	2.16
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	58.5 /58.5	58.5 /58.5
10-6 fade margin mp/rain (dB):	54.5 /54.5	54.5 /54.5

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 3.4e-28
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821

Buttons: Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.10 Ventana de diseño de enlace SJ10-GV12 (San José – González Víquez)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: SJ13-GOL2 from (A) San José to (B) González Lahman
 Path length (km): 1.46
 Latitude (deg north): 9.0 Longitude (deg east): -84.0

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): -200 Altitude of lower ant. (m): 1200 Rain int. (mm/h): 120 MTTR (hours): 6
 Terrain roughness (m): 0 Incl. (mrad): 0
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red.conf.: Hot Standby Polarization: Vertic
 Mounting: Split MUX levels: 0

Radio hop data

	SiteA (Node)	SiteB (Term)
Transmit rate/dev.	2*2 Mbps	
Transmitter type	Standard	
Output power (dBm)	15	15
Tx mode	Fixed power	Fixed power
Antenna type	0.3m HP	0.3m HP
Waveguide att.(dB)	2	2
Rx ATPC set point (dBm)		
Thr.deg.mp (dB)	0.0	0.0
Thr.deg.rain (dB)	0.0	0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: no passive repeater

Performance measures
 Based on ITU-T G821

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Buttons: Calculate, Print, Return, Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.11 Ventana de diseño de enlace SJ13-GOL2 (San José – González Lahman)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJ13-GOL2
 from (siteA): San José
 to (siteB): González Lahman

Equipment

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	15.0	15.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm.waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm.antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	119.2	119.2
Atm.absorption (dB):	0.1	0.1
Rec.ant.gain (dB):	32.1	32.1
Rec.waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-44.0	-44.0
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	1.90	1.90
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr.degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	48.0 /48.0	48.0 /48.0
10-6 fade margin mp/rain (dB):	44.0 /44.0	44.0 /44.0

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821 Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.12 Ventana de diseño de enlace SJ13-GOL2 (San José – González Lahman)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: from (A) to (B)
 Path length (km):
 Latitude (deg north): Longitude (deg east):

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): Altitude of lower ant. (m): Rain int. (mm/h): MTRR (hours):
 Terrain roughness (m): Incl. (mrad):
[Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9](#)

Configuration
 Red. conf.: Polarization:
 Mounting: MUX levels:

Radio hop data

	SiteA (Node)	SiteB (Term)
Transmit rate/dev.	<input type="text" value="4*2/8 Mbps"/>	
Transmitter type	<input type="text" value="Standard"/>	
Output power (dBm)	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>
Tx mode	<input type="text" value="Fixed power"/>	<input type="text" value="Fixed power"/>
Antenna type	<input type="text" value="0.3m HP"/>	<input type="text" value="0.3m HP"/>
Waveguide att.(dB)	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>
Rx.ATPC set point (dBm)		
Thr. deg. mp (dB)	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
Thr. deg. rain (dB)	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>

Passive repeater data
 Passive repeater:

Performance measures

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.13 Ventana de diseño de enlace SJ14-HOS1 (San José - Hospital)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJ14-HOS1
 from [siteA]: San José
 to [siteB]: Hospital

Equipment

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	15.0	15.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	113.6	113.6
Atm. absorption (dB):	0.0	0.0
Rec. ant. gain (dB):	32.1	32.1
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-38.4	-38.4
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	2.04	2.04
10-3 threshold (dBm):	-89.0	-89.0
10-6 threshold (dBm):	-85.0	-85.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	50.6 /50.6	50.6 /50.6
10-6 fade margin mp/rain (dB):	46.6 /46.6	46.6 /46.6

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

Performance measure

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.14 Ventana de diseño de enlace SJ14-HOS1 (San José - Hospital)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: **SJ19-BEVI** from (A) **San José** to (B) **Bellavista**
 Path length (km): **87**
 Latitude (deg north): **9.0** Longitude (deg east): **-84.0**

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): **-200** Altitude of lower ant. (m): **1200** Rain int. (mm/h): **120** MTR (hours): **6**
 Terrain roughness (m): **0** Incl. (mrad): **0**
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red. conf.: **Hot Standby** Polarization: **Vertic**
 Mounting: **Split** MUX levels: **1**

Radio hop data

	SiteA (Node)	SiteB (Term)
Transmit rate/dev.	4*2/8 Mbps	
Transmitter type	Standard	
Output power (dBm)	10	10
Tx mode	Fixed power	Fixed power
Antenna type	0.3m HP	0.3m HP
Waveguide att.(dB)	2	2
Rx.ATPC set point (dBm)		
Thr. deg.mp (dB)	0.0	0.0
Thr. deg.rain (dB)	0.0	0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: **no passive repeater**

Performance measures
 Based on ITU-T G821

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

Calculate Print Return Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.15 Ventana de diseño de enlace SJ19-BEVI (San José - Bellavista)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
SJ19-BEVI
 from (siteA): **San José**
 to (siteB): **Bellavista**

Equipment

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	10.0	10.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	114.7	114.7
Atm. absorption (dB):	0.0	0.0
Rec. ant. gain (dB):	32.1	32.1
Rec. waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-44.5	-44.5
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	1.89	1.89
10-3 threshold (dBm):	-89.0	-89.0
10-6 threshold (dBm):	-85.0	-85.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	44.5 /44.5	44.5 /44.5
10-6 fade margin mp/rain (dB):	40.5 /40.5	40.5 /40.5

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821

Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.16 Ventana de diseño de enlace SJ19-BEVI (San José - Bellavista)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: from (A) to (B)
 Path length (km):
 Latitude (deg north): Longitude (deg east):

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): Altitude of lower ant. (m): Rain int. (mm/h): MTTR (hours):
 Terrain roughness (m): Incl. (mrad): [Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9](#)

Configuration
 Red. conf.: Polarization:
 Mounting: MUX levels:

Radio hop data
 SiteA (Node): SiteB (Term):
 Transmitter type:
 Output power (dBm):
 Tx mode:
 Antenna type:
 Wavguide att. (dB):
 Rx ATPC set point (dBm):
 Thr. degr. mp (dB):
 Thr. degr. rain (dB):

Passive repeater data
 Passive repeater:

Performance measures
 Based on ITU-T G821

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.17 Ventana de diseño de enlace SJ03-SPD2 (San José – San Pedro)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 SJ03-SPD2
 from [siteA]: San José
 to [siteB]: San Pedro

Equipment

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	15.0	15.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm. wavguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm. antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	123.5	123.5
Atm. absorption (dB):	0.1	0.1
Rec. ant. gain (dB):	32.1	32.1
Rec. wavguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-48.4	-48.4
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	1.79	1.79
10-3 threshold (dBm):	-89.0	-89.0
10-6 threshold (dBm):	-85.0	-85.0
Thr. degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	40.6 /40.6	40.6 /40.6
10-6 fade margin mp/rain (dB):	36.6 /36.6	36.6 /36.6

Performance/unavailability

SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm

RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise: 1.0e-12
 total: 1.0e-12

Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00094 %/year
 total: 0.00178 %/year
 equal to: 9.4 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.18 Ventana de diseño de enlace SJ03-SPD2 (San José – San Pedro)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path data
 Path: 5ES3-LLO1 from (A) Cinco Esquinas to (B) Lorente
 Path length (km): 2
 Latitude (deg north): 9.0 Longitude (deg east): -84.0

Outage prediction data
 Refr. gradient (dN1): -200 Altitude of lower ant. (m): 1100 Rain int. (mm/h): 120 MTTR (hours): 6
 Terrain roughness (m): 0 Incl. (mrad): 0
 Performance predictions acc. to ITU-R P.530-9

Configuration
 Red. conf.: Hot Standby Polarization: Vertic
 Mounting: Split MUX levels: 0

Radio hop data
 SiteA (Node): SiteB (Term)
 Transmit rate/dev.: 2-2 Mbps
 Transmitter type: High Power
 Output power (dBm): 20 20
 Tx mode: Fixed power Fixed power
 Antenna type: 0.3m HP 0.3m HP
 Waveguide att.(dB): 2 2
 Rx.ATPC set point (dBm):
 Thr.deg.mp (dB): 0.0 0.0
 Thr.deg.rain (dB): 0.0 0.0

Passive repeater data
 Passive repeater: no passive repeater

Performance measures
 Based on ITU-T G821
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Calculate Print Return Budget

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.19 Ventana de diseño de enlace 5ES3-LLO1 (Cinco Esquinas - Lorente)

MINI-LINK Performance and unavailability prediction.

Path
 5ES3-LLO1
 from (siteA): Cinco Esquinas
 to (siteB) : Lorente

Equipment

Link budget

	A to B	B to A
Transmit power (dBm):	20.0	20.0
Transmit att. (dB):	0.0	0.0
Transm.waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Transm.antenna gain (dB):	32.1	32.1
Free space loss (dB):	121.9	121.9
Atm.absorption (dB):	0.1	0.1
Rec.ant.gain (dB):	32.1	32.1
Rec.waveguide loss (dB):	2.0	2.0
Unfaded receive level (dBm):	-41.8	-41.8
Nominal RSSI(AGC) voltage (V):	1.96	1.96
10-3 threshold (dBm):	-92.0	-92.0
10-6 threshold (dBm):	-88.0	-88.0
Thr.degr. mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
10-3 fade margin mp/rain (dB):	50.2 /50.2	50.2 /50.2
10-6 fade margin mp/rain (dB):	46.2 /46.2	46.2 /46.2

Performance/unavailability
 SES (BER 10-3 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 DM (BER 10-6 Performance)
 flat mp: 0.0 %/wm
 select.: 0.0 %/wm
 rain: 0.0 %/wm
 total: 0.0 %/wm
 equal to: 0.0 min/wm
 RBBER
 eqpt.: 1.0e-12
 noise:
 total: 1.0e-12
 Unavailability (BER 10-3)
 rain: 0.00084 %/year
 hardw.: 0.00028 %/year
 total: 0.00112 %/year
 equal to: 5.9 min/year

Performance measure
 Based on ITU-T G821 Return

MLPERF de Ericsson

Figura A.7.20 Ventana de diseño de enlace SJO2-5ES2 (Cinco Esquinas - Lorente)

Apéndice A.7 Información de la empresa

A.7.1 Descripción de la empresa

En el mundo, Ericsson es una compañía que se encarga de proveer sistemas fijos inalámbricos, utilizando para ello los principales estándares establecidos en comunicación inalámbrica. Ericsson fue fundada en 1876, y presta servicios en más de 140 países alrededor del mundo.

Presente en Costa Rica desde principios de los setenta, Ericsson es una empresa que se desarrolla en un área de las telecomunicaciones, que le permite ofrecer a sus clientes soluciones completas y un respaldo total, que abarca desde la consultoría y desarrollo de planes de negocios, el diseño e instalación de las redes, así como la operación, el mantenimiento y la actualización de las mismas.

Con base en una organización enfocada al mercado e integrada por más de 70 empleados a Julio del 2004, de los cuales más del 40 % son especialistas y expertos en comunicaciones, Ericsson Costa Rica es una empresa importante en el área de las comunicaciones, con ventas que alcanzan decenas de millones de dólares anuales. El gerente general de la empresa Ericsson de Costa Rica S.A. es el señor Ricardo Taylor.

Ericsson Costa Rica ofrece una extensa gama de soluciones, productos y servicios para diferentes segmentos de mercado de las telecomunicaciones que abarcan desde los operadores de redes públicas que ofrecen servicios de comunicaciones fijas y móviles, hasta organizaciones y empresas que requieren de redes para sus comunicaciones multimedia, de datos y de voz; así como nuevos proveedores de servicios de Internet y el público en general.

A.7.2 Descripción del departamento

La práctica de graduación se realizara en el departamento de implementación de proyecto. Este departamento está formado por alrededor de 30 personas, entre las cuales hay 15 ingenieros en las áreas de construcción, electrónica y electricidad, y sus funciones están orientadas a la Implementación de Equipo, que como su nombre lo indica, consiste en la formación de grupos coordinados de ingenieros para instalar, configurar, probar y monitorear los sistemas que funcionan en las redes celulares tanto GSM (Global System for Mobile Communication) como TDMA (Time Division Multiple Access); entre estos sistemas se encuentran los de las estaciones base. El coordinador del departamento es el Ingeniero Francisco Chacón, encargado de trabajar con diferentes áreas en la implementación de proyectos.

Anexos

Anexo B.1 Hojas de datos de equipo Mini-Link 15E

Ericsson Microwave Systems AB

Factory test MINI-LINK 15E Radio Unit

Radio unit (RAU): A230019X0S R3D



S/W during test: R5A



Prod. code: RA1501123



Test date: 2001-10-08

Test status: Passed

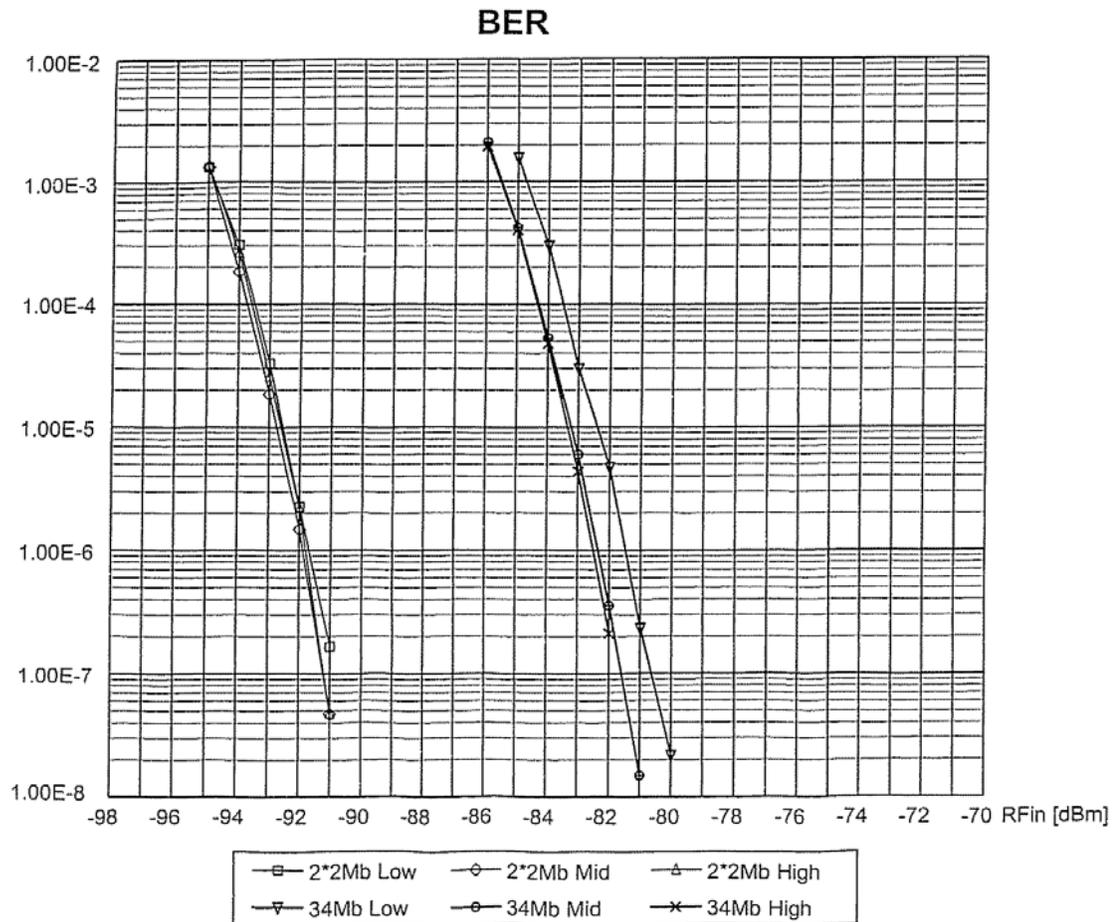
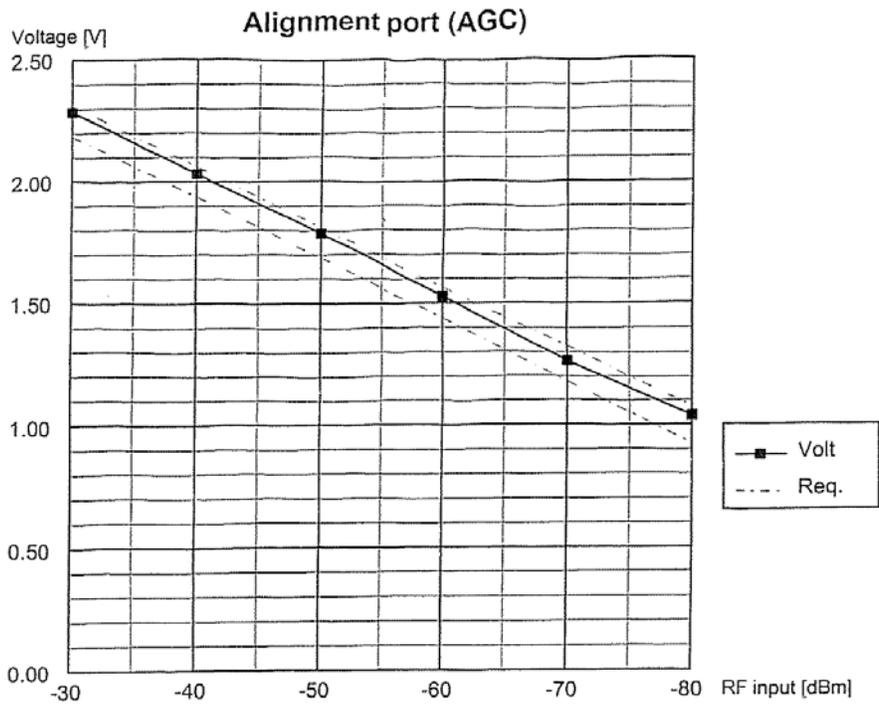
Reference: 1/15241-UKL40101+ REV F

Prod. no: UKL 401 06/23



Electrical test approved EMVTO/MM

Final visual inspection approved EMVTO/MM



Power consumption	Channel		Req	
		mid		Max
Power [W]		36.7		42.0

Output power	low	Channel		Req	
		mid	high	Min	Max
Nominal power (25 dBm)	25.4	25.1	24.6	23.5	26.5
Power -5dB (20 dBm)		19.9		18.5	21.5
Power -10dB (15 dBm)		14.7		13.5	16.5
Power -15dB (10 dBm)	10.3	9.6	9.3	8.5	11.5

RF TX-Frequency	Channel		Req	
		mid	Min	Max
Frequency expected [MHz]		14778.375		
Frequency error [KHz]		17	-75	75

RSSI (AGC) (2*2Mb and 34Mb MMU)	MMU		Req	
	2*2Mb	34Mb	Min	Max
-25 dBm	-23.7	-24.0		
-30 dBm	-28.7	-28.4	-32.0	-28.0
-40 dBm	-38.8		-42.0	-38.0
-50 dBm	-48.7		-52.0	-48.0
-60 dBm	-58.8	-58.4	-62.0	-58.0
-70 dBm	-69.1			
-80 dBm	-78.9			
-90 dBm	-88.7			
-97 dBm	-95.7			

CONTROLS AND ALARMS	Channel		Req	
		mid	Min	Max
TX off control		PASSED		
RF output alarm		PASSED		
RF loop (level) [dBm]		-50		
RF loop (traffic)		PASSED		

Anexo B.2 Hojas de datos de equipo Mini-Link 7E

Ericsson Microwave Systems AB

Factory test MINI-LINK 7E Radio Unit

Radio unit (RAU): A23001J5YJ R1L



S/W during test: R2F



Prod. code: RA701147



Test date: 2002-07-10

Test status: Passed

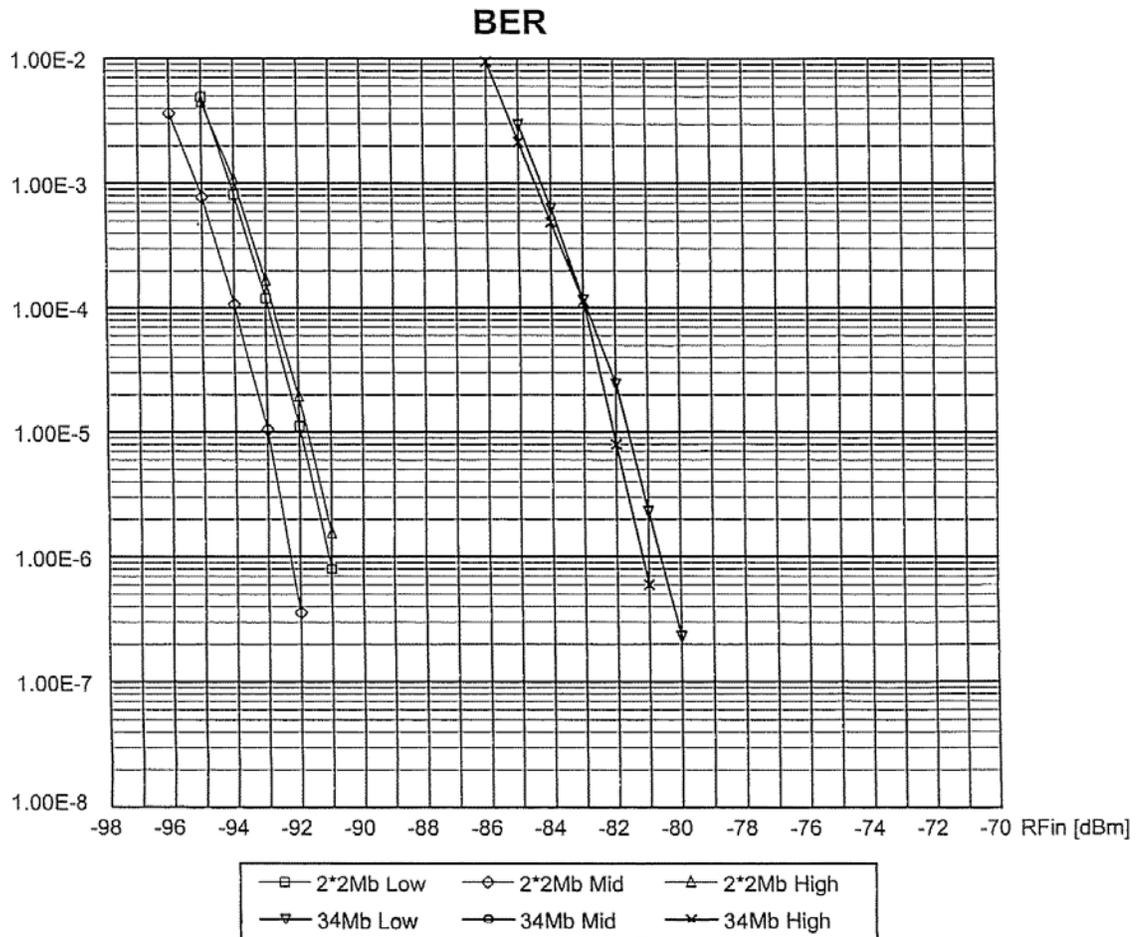
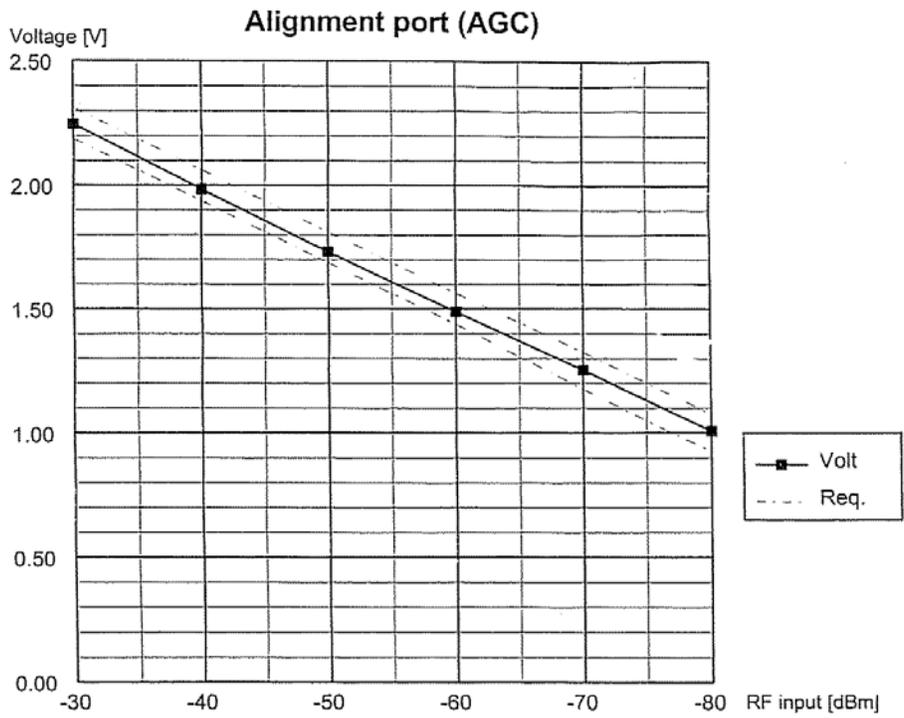
Reference: 1/15241-UKL40101+ REV F

Prod. no: UKL 401 05/47HP



Electrical test approved SDAN

Final visual inspection approved SDAN



Power consumption	Channel			Req	
		mid			Max
Power [W]		23.4			30.0

Output power	low	Channel		Req	
		mid	high	Min	Max
Nominal power (28 dBm)	28.1	28.8	28.3	27.0	29.0
Power -5dB (23 dBm)		23.8		22.0	24.0
Power -10dB (18 dBm)		18.8		17.0	19.0
Power -15dB (13 dBm)		13.9		12.0	14.0
Power -20dB (8 dBm)	8.3	8.9	8.5	7.0	9.0

RF TX-Frequency	Channel			Req	
		mid		Min	Max
Frequency expected [MHz]		7671.250			
Frequency error [KHz]		6		-35	35

RSSI (AGC) (2*2Mb and 34Mb MMU)	MMU			Req	
	2*2Mb		34Mb	Min	Max
-25 dBm	-25.3		-25.9		
-30 dBm	-29.7		-30.5	-32.0	-28.0
-40 dBm	-40.3			-42.0	-38.0
-50 dBm	-50.3			-52.0	-48.0
-60 dBm	-60.0		-59.7	-62.0	-58.0
-70 dBm	-69.8				
-80 dBm	-79.5				
-90 dBm	-89.2				
-98 dBm	-97.3				

CONTROLS AND ALARMS	Channel			Req	
		mid		Min	Max
TX off control		PASSED			
RF output alarm		PASSED			
RF loop (level) [dBm]		-50			
RF loop (traffic)		PASSED			

Anexo B.3 Datos técnicos de unidades de radio (RAU)

RAU Technical Data

All technical data is typical unless otherwise stated.

System Parameters

Frequency Ranges

The RAU1, RAU2 and RTU radio units are available for frequency ranges in accordance with the table below.

Table 1 Frequency ranges

Radio unit	Frequency range [GHz]	Sub-band coverage [MHz]
RAU1		
7-E	7.1 – 7.7	60 (140)
8-E	7.7 – 8.5	89 (148), sub-bands 11 – 18 42 (84), sub-bands 21 – 37 42 (98), sub-bands 41 – 47 42 (91), sub-bands 51 – 57
15-E	14.4 – 15.35	110
18-E	17.7 – 19.7	300, sub-bands 11 – 18, 31 – 32, 35 – 36, 41 – 48 100, sub-bands 21 – 28
23-E	21.2 – 23.6	560
26-E	24.5 – 26.5	450
38-E	37.0 – 39.5	280
RAU2		
13-E	12.75 – 13.25	80
23-E	21.2 – 23.6	560
28-E	27.5 – 29.5	430
38-E	37.0 – 40.0	280
RTU		
23-E	21.2 – 23.6	560
38-E	37.0 – 40.0	280

The frequency is synthesizer controlled. Each radio unit covers a sub-band of the frequency band and has a fixed duplex distance (difference between transmitted and received frequency). The width of the sub-band covered by a specific version is different for different frequencies in accordance with the table above. The values in brackets are gained by replacement of the filter unit.

Frequency Plans

The radio unit is available for different frequency channel arrangements according to ITU-R and ETSI recommendations.

See frequency plans in MINI-LINK E and E Micro Product Catalog (AE/LZT 110 2011).

Frequency Tolerance

±10 ppm from nominal.

Channel Spacing for MINI-LINK E

- 3.5 MHz for 2x2 Mbit/s
- 7 MHz for 4x2 and 8 Mbit/s
- 14 MHz for 2x8 and 8x2 Mbit/s (13.75 MHz for 18 GHz)
- 28 MHz for 17x2 and 34+2 Mbit/s (27.5 MHz for 18 GHz)

Channel Spacing for MINI-LINK E Micro

- 3.5 MHz for 1x2 and 2x2 Mbit/s

Transmitter Performance

All radio units, except for RAU1 26-E and RAU1 38-E, have built-in variable attenuators that can be adjusted from MINI-LINK Netman or MSM. RAU1 26-E and RAU1 38-E have mechanically adjustable attenuators.

In addition to variable attenuators, all RAU1 radios can have optional fixed RF attenuators fitted inside the radio unit.

Radio Output Power

Table 2 Radio output power

Radio unit	Output power	Output power with optional fixed attenuators
RAU1		
7-E	+1 to +21 dBm \pm 2 dB	-16 to +21 dBm
7-E HP	+8 to +28 dBm \pm 2 dB	-9 to +28 dBm
8-E	0 to +20 dBm \pm 2 dB	-17 to +20 dBm
8-E HP	+6 to +26 dBm \pm 2 dB	-11 to +26 dBm
15-E	+3 to +18 dBm \pm 2 dB	-17 to +18 dBm
15-E HP	+10 to +25 dBm \pm 2 dB	-10 to +25 dBm
18-E	+2 to +17 dBm \pm 2 dB (sub-band 11 – 18, 31 – 32, 35 – 36, 41 – 48)	-16 to +17 dBm
	+1 to +16 dBm \pm 2 dB (sub-band 21 – 28)	-17 to +16 dBm
18-E HP	+9 to +24 dBm \pm 2 dB (sub-band 11 – 18, 31 – 32, 35 – 36, 41 – 48)	-9 to +24 dBm
	+8 to +23 dBm \pm 2 dB (sub-band 21 – 28)	-10 to +23 dBm
23-E	+5 to +20 dBm \pm 3 dB	-30 to +20 dBm
26-E	+10 dBm \pm 2.5 dB, mechanically adjustable down to -5 dBm	-40 to +10 dBm
26-E HP	+3 to +18 dBm \pm 2.5 dB	-32 to +18 dBm
38-E	+16.5 dBm \pm 3 dB, mechanically adjustable down to -8.5 dBm	-33.5 to +16.5 dBm
RAU2		
13-E	-7 to +18 dBm \pm 2 dB	N/A
13-E HP	-7 to +23 dBm \pm 2 dB	N/A
23-E	-7 to +20 dBm \pm 2 dB	N/A
23-E HP	-7 to +23 dBm \pm 2 dB	N/A
28-E	-10 to +16 dBm \pm 2 dB	N/A
28-E HP	-10 to +20 dBm \pm 2 dB	N/A
38-E	-10 to +17 dBm \pm 2 dB	N/A
Radio unit	Output power	Output power with optional fixed attenuators
RTU		
23-E	-7 to +20 dBm \pm 2 dB	N/A
23-E HP	-7 to +23 dBm \pm 2 dB	N/A
38-E	-10 to +17 dBm \pm 2 dB	N/A

Transmitter Spurious Levels

30 MHz to 21.2 GHz: < -60 dBm (RAU1)

< -50 dBm (RAU2 and RTU)

21.2 GHz to 110 GHz: < -30 dBm

A frequency band ± 2.5 times the channel spacing from the nominal transmitter frequency is excluded from this requirement.

Output Spectrum

The transmitter spectrum stays within masks given below. The 0 dB level relates to the peak of the modulated spectrum disregarding residual carrier.

The spectrum is measured with the following analyzer settings:

- IF bandwidth 100 kHz for 34+2 Mbit/s, 30 kHz at lower traffic rates
- Video bandwidth is 300 Hz, except for 2x2 Mbit/s where it is 100 Hz

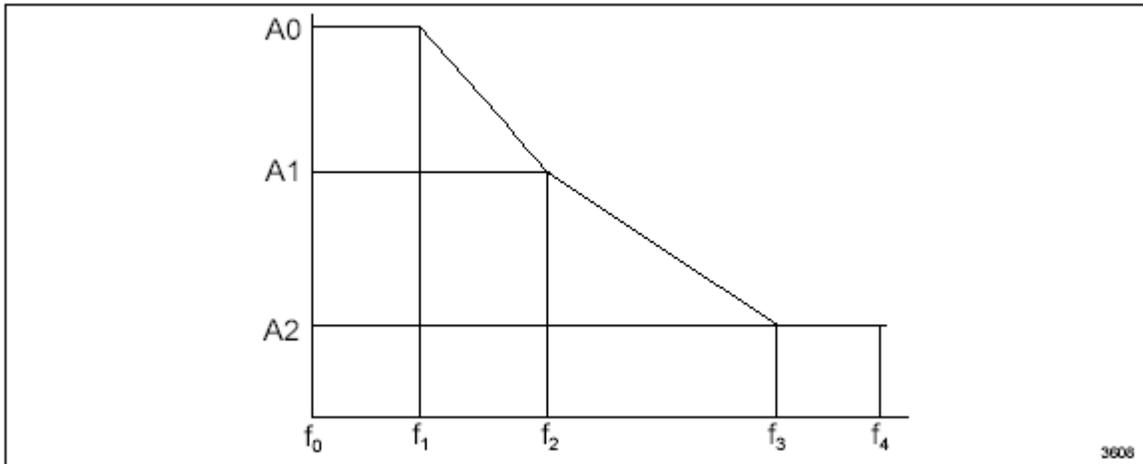


Figure 1 RF spectrum masks, see tables below for values. Frequency from nominal carrier frequency.

Table 3 MINI-LINK E (guaranteed values)

Traffic capacity [Mbit/s]	Relative power density level [dB]			Frequency [MHz]			
	A0	A1	A2	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄
2x2	0	-23	-45	1.4	2.8	5	9
4x2/8	0	-23	-45	2.5	5.6	9	18
2x8/8x2	0	-23	-45	5	11	17	35
34+2/17x2	0	-23	-45	10.5	19	30	70

Table 4 MINI-LINK E Micro (guaranteed values)

Traffic capacity [Mbit/s]	Relative power density level [dB]			Frequency [MHz]			
	A0	A1	A2	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄
1x2	0	-23	-45	0.7	1.4	2.5	4.5
2x2	0	-23	-45	1.4	2.8	5	9

Receiver Performance

Table 5 Receiver thresholds RAU1

Radio unit	Traffic capacity [Mbit/s]	BER 10 ⁻³ threshold [dBm]		BER 10 ⁻⁶ threshold [dBm]	
		Typ.	Guar.	Typ.	Guar.
RAU1					
7-E	2x2	-91	-90	-87	-86
	4x2/8	-88	-87	-84	-83
	2x8/8x2	-85	-84	-81	-80
	34+2/17x2	-82	-81	-78	-77
8-E	2x2	-91	-90	-87	-86
	4x2/8	-88	-87	-84	-83
	2x8/8x2	-85	-84	-81	-80
	34+2/17x2	-82	-81	-78	-77
15-E	2x2	-91	-90	-87	-86
	4x2/8	-88	-87	-84	-83
	2x8/8x2	-85	-84	-81	-80
	34+2/17x2	-82	-81	-78	-77
18-E ⁽¹⁾	2x2	-90	-89	-86	-85
	4x2/8	-87	-86	-83	-82
	2x8/8x2	-84	-83	-80	-79
	34+2/17x2	-81	-80	-77	-76
23-E	2x2	-90	-89	-86	-85
	4x2/8	-87	-86	-83	-82
	2x8/8x2	-84	-83	-80	-79
	34+2/17x2	-81	-80	-77	-76
26-E	2x2	-89	-88	-85	-84
	4x2/8	-86	-85	-82	-81
	2x8/8x2	-83	-82	-79	-78
	34+2/17x2	-80	-79	-76	-75
38-E	2x2	-85	-84	-81	-80
	4x2/8	-82	-81	-78	-77
	2x8/8x2	-79	-78	-75	-74
	34+2/17x2	-76	-75	-72	-71

Table 6 Receiver thresholds RAU2

Radio unit	Traffic capacity [Mbit/s]	BER 10 ⁻³ threshold [dBm]		BER 10 ⁻⁶ threshold [dBm]	
		Typ.	Guar.	Typ.	Guar.
RAU2					
13-E	2x2	-91	-90	-87	-86
	4x2/8	-88	-87	-84	-83
	2x8/8x2	-85	-84	-81	-80
	34+2/17x2	-82	-81	-78	-77
23-E	2x2	-90	-89	-86	-85
	4x2/8	-87	-86	-83	-82
	2x8/8x2	-84	-83	-80	-79
	34+2/17x2	-81	-80	-77	-76
28-E	2x8/8x2	-83	-82	-79	-78
	34+2/17x2	-80	-79	-76	-75
38-E	2x2	-85	-84	-81	-80
	4x2/8	-82	-81	-78	-77
	2x8/8x2	-79	-78	-75	-74
	34+2/17x2	-76	-75	-72	-71

Table 7 Receiver thresholds RTU

Radio unit	Traffic capacity [Mbit/s]	BER 10 ⁻³ threshold [dBm]		BER 10 ⁻⁶ threshold [dBm]	
		Typ.	Guar.	Typ.	Guar.
RTU					
23-E	1x2	-92	-91	-88	-87
	2x2	-90	-89	-86	-85
38-E	2x2	-85	-84	-81	-80

Residual BER

Residual BER for RF input level from -30 dBm down to 10 dB above the threshold for 10-6:

- <10-10 for traffic capacity < 34 Mbit/s
- <10-11 for traffic capacity 34 Mbit/s

Co-channel and Adjacent Channel Interference

The limits of co-channel and adjacent channel interference are as given in the table below, giving C/I values for 1 dB and 3 dB degradation of the 10-6 BER limits, specified in the receiver threshold tables in this section. The values are independent of traffic capacity, except for MINI-LINK E Micro (1x2 Mbit/s).

Table 8 Limits of co-channel and adjacent channel interference

Interference type	C/I for 1 dB degradation of BER limit [dB]	C/I for 3 dB degradation of BER limit [dB]
Co-channel	23	19
Adjacent	0 (-3 for 1x2 Mbit/s)	-4 (-7 for 1x2 Mbit/s)

CW (Unmodulated Carrier) Interference

For a receiver operating at the specified 10^{-6} threshold, the introduction of a CW interferer with C/I of -30 dB at any frequency up to 80 GHz, excluding a frequency two times the channel spacing on either side of the wanted frequency, does not result in a BER greater than 10^{-5} .

Signature

Reference delay: 6.3 ns. Typical data in brackets. Minimum phase and non-minimum phase.

Table 9 MINI-LINK E

Traffic capacity [Mbit/s]	BER 10^{-3}		BER 10^{-6}	
	Notch depth [dB]	Sign. width [MHz]	Notch depth [dB]	Sign. width [MHz]
2x2	31 (35)	3 (3)	28 (32)	4 (3)
4x2/8	26 (29)	6 (5.5)	23 (26)	7 (6)
2x8/8x2	20 (23)	12 (10)	17 (20)	12 (10.5)
34+2/17x2	14 (17)	24 (20)	11 (14)	24 (21)

Table 10 MINI-LINK E Micro

Traffic capacity [Mbit/s]	BER 10^{-3}		BER 10^{-6}	
	Notch depth [dB]	Sign. width [MHz]	Notch depth [dB]	Sign. width [MHz]
1x2	31 (35)	1.7 (1.5)	28 (32)	2 (1.7)
2x2	31 (35)	3 (3)	28 (32)	4 (3)

Protection Switching

Switching due to Hardware Failure

Transmitter Switching

Maximum interrupt time on any traffic at hot standby switching, that is the time from detected failure in redundant equipment until regained frame synchronization in final demultiplexer on the receiving side, is 200 ms.

Receiver Switching

Maximum interrupt time for hardware switching is 40 ms.

Switching due to Fading

Receiver Hitless Switching

With standby channel working at –60 dBm RF input level and operating channel RF input moving from –60 dBm down to –90 dBm at a velocity of <20 dB/s, the receiver switching is hitless.

Power Splitter Attenuation for 1+1 Systems

The power splitter is used when two radio units are connected to one antenna.

The power splitter comes in two versions:

- Symmetrical, with equal attenuation in both channels
- Asymmetrical, with one main channel and one standby channel

The symmetrical version is mainly used in 1+1 working standby systems where both radios are transmitting (Working standby provides not only hardware protection but also frequency diversity). The asymmetrical version is mainly used in 1+1 hot standby systems where only one radio is transmitting.

If the fade margin is low in a 1+1 hot standby system, the symmetrical power splitter is recommended. This is due to the fact that the fade margin will be reduced by almost 11dB in worst case.

Table 11 Power splitter attenuation (guaranteed values)

Type [GHz]	Symmetrical splitter [dB]	Asymmetrical splitter [dB]
7 – 28	3.5 / 3.5	1.6 / 7
38	3.7 / 3.7	1.7 / 7

Waveguide Attenuation

Typical attenuations for flexible waveguides are given in the table below.

Table 12 Waveguide attenuation

Frequency [GHz]	Attenuation for 0.65 m waveguide [dB]	Attenuation for 0.9 m waveguide [dB]
7	0.2	0.3
8	0.3	0.4
13	0.4	0.5
15	0.5	0.7
18	0.6	0.8
23	1.0	1.4
26/28	1.3	–
38	1.4	–

Antenna Data

Antenna Electrical Data

For information on waveguide interfaces, see Table 51 on page 165.

Antenna Gain [dBi]

Typical mid-band gains for antennas are given in the table below. The figures apply to high performance single polarized antennas.

Table 13 Mid-band gain for antennas

Antenna	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	28 GHz	38 GHz
0.2 m	–	–	–	–	31.8	–	34.6	36.6
0.3 m	–	–	32.1	34.4	36.2	37.3	38.1	40.0
0.6 m	31.0	36.0	36.6	39.2	40.0	41.5	42.4	44.3
1.2 m	37.0	41.8	42.7	44.6	46.0	47.1	48.0	–
1.8 m	41.0	45.3	46.4	48.5	49.5	–	–	–
2.4 m	42.9	–	–	–	–	–	–	–
3.0 m	44.8	–	–	–	–	–	–	–

Half Power Beamwidth [3 dB]

Min/max figures (guaranteed values) in E and H-plane are given in the table below. The figures apply to high performance single polarized antennas.

Table 14 Min/max figures (in degrees) in E and H-plane

Antenna	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	28 GHz	38 GHz
0.2 m	–	–	–	–	3.7/4.6	–	2.9/3.7	2.1/2.8
0.3 m	–	–	3.6/4.8	2.8 / 3.8	2.3/3.1	2.1/2.8	1.9/2.5	1.5/2.0
0.6 m	3.7/4.9	2.4/3.1	2.1/2.9	1.6/2.3	1.3/2.0	1.2/1.8	1.0/1.6	0.8/1.2
1.2 m	1.9/2.2	1.3/1.5	1.1/1.4	0.8/1.1	0.7/1.0	0.6/0.8	0.5/0.7	–
1.8 m	1.29/1.58	0.88/0.94	0.74/0.87	0.58/0.65	0.49/0.51	–	–	–
2.4 m	1.0/1.35	–	–	–	–	–	–	–
3.0 m	0.85/1.1	–	–	–	–	–	–	–

Front to Back Ratio [dB]

Front to back ratios (guaranteed values) for high performance, single polarized antennas are given in the table below.

Table 15 Front to back ratios

Antenna	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	28 GHz	38 GHz
0.2 m	–	–	–	–	55	–	60	54
0.3 m	–	–	52	55	59	62	63	60
0.6 m	57	61	64	66	63	67	67	63
1.2 m	63	67	72	73	73	73	73	–
1.8 m	68	72	74	77	79	–	–	–
2.4 m	68	–	–	–	–	–	–	–
3.0 m	70	–	–	–	–	–	–	–

ETSI RPE Classes

Radiation Pattern Envelope (RPE) class compliance according to ETSI EN 300 833. The figures apply to high performance single polarized antennas.

Table 16 ETSI RPE Classes

Antenna	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	28 GHz	38 GHz
0.2 m	–	–	–	–	2	–	2	2
0.3 m	–	–	2	2	3	2	2	3/2 ⁽¹⁾
0.6 m	3	3	3	3	3	2	2	3/2 ⁽¹⁾
1.2 m	3	3	3	3	3	2	2	–
1.8 m	3	3	3	3	3	–	–	–
2.4 m	2	–	–	–	–	–	–	–
3.0 m	2	–	–	–	–	–	–	–

(1) Vertical/horizontal polarization

For further information on electrical data for antennas please contact your Ericsson representative.

Antenna Environmental Requirements

Wind Velocity

The equipment is designed for the following wind velocities in stationary use.

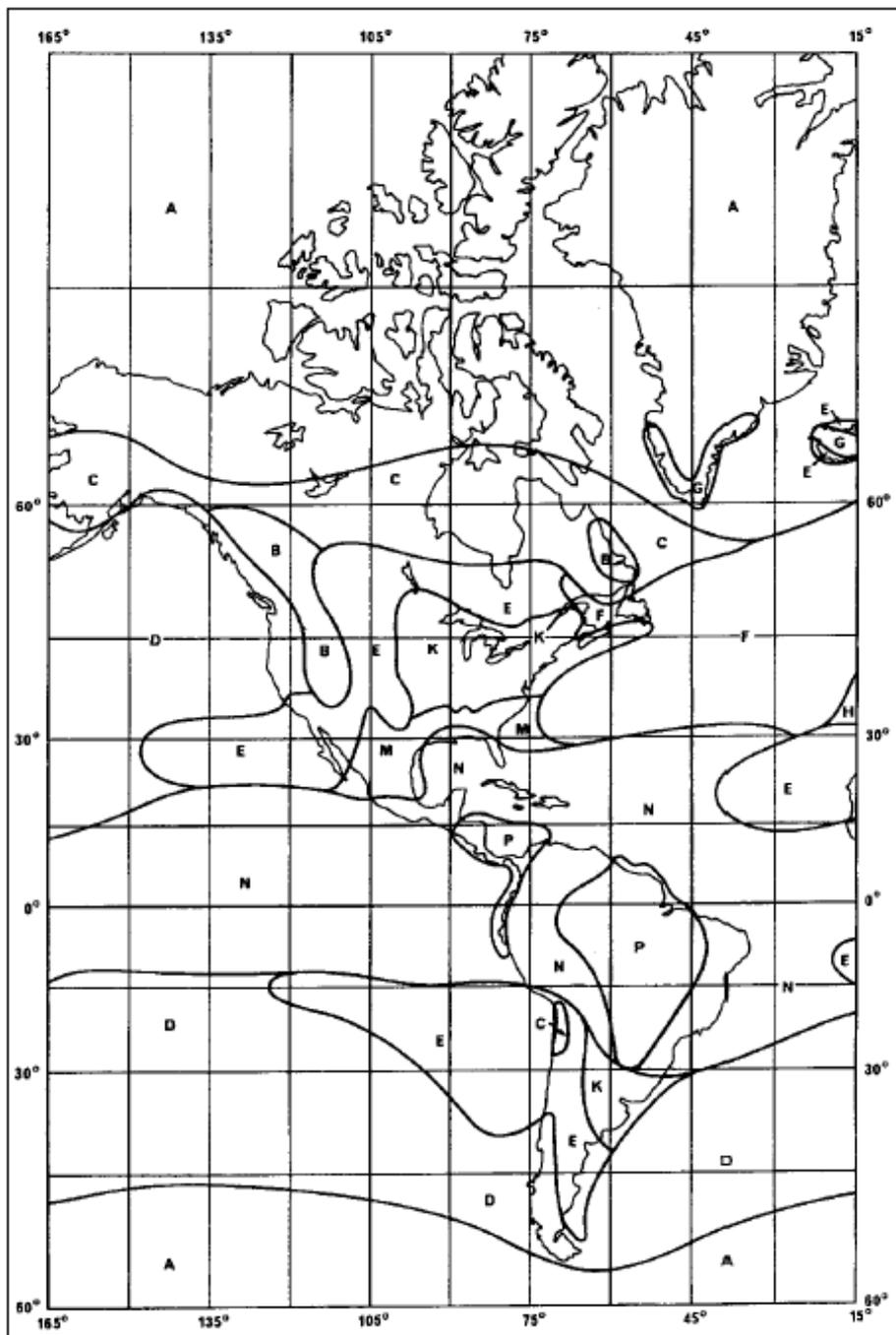
0.2 – 1.8 m compact antennas:

- 50 m/s operational requirement
- 70 m/s survival requirement

2.4 m and 3.0 m antennas:

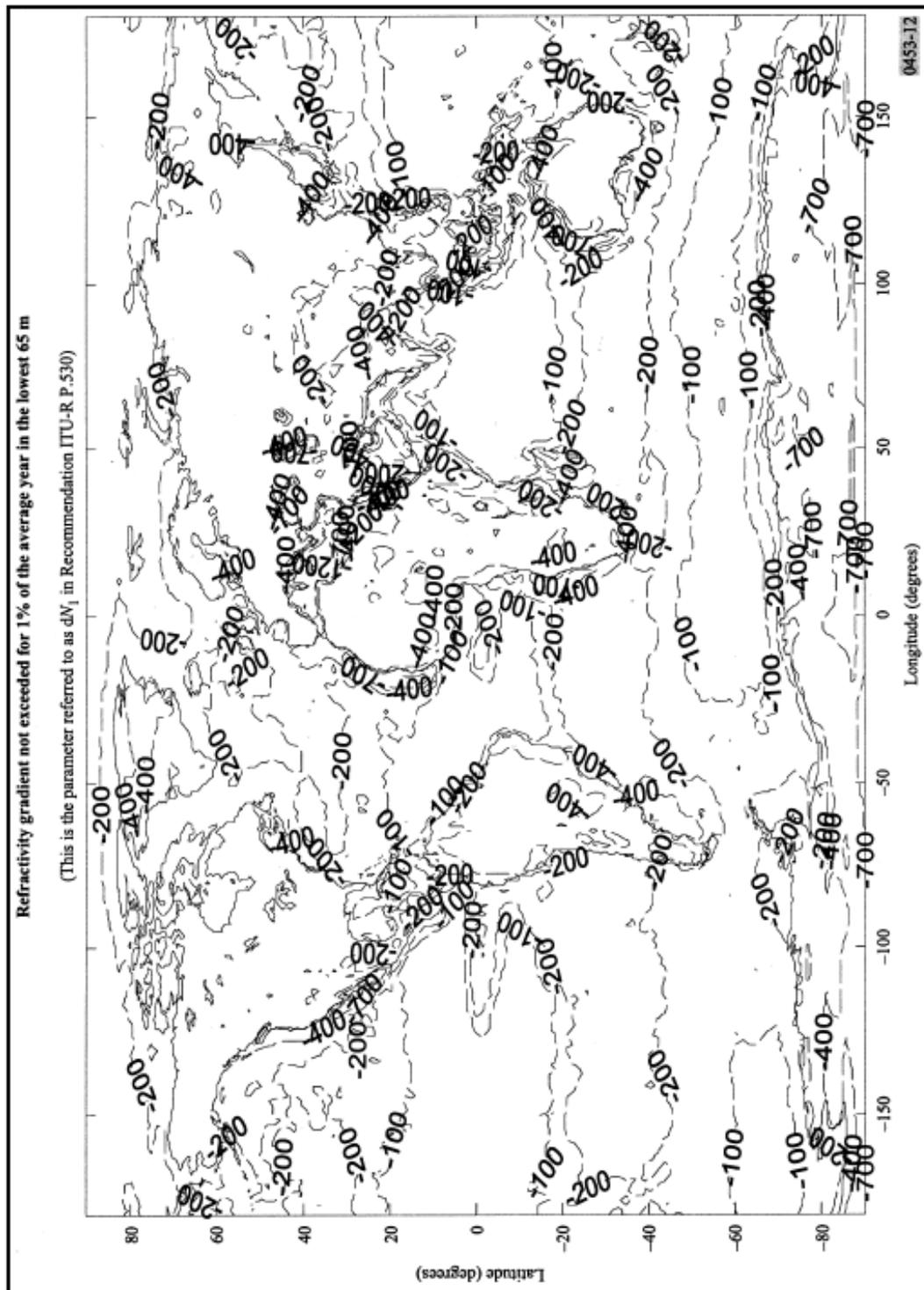
- 50 m/s operational requirement
- 55 m/s survival requirement
- An additional side strut will increase the survival wind velocity to 67 m/s

Anexo B.4 Intensidad de lluvia en [mm/h] de acuerdo con la recomendación P.837-1 de la UIT-R



% de tiempo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115

Anexo B.5 Gradiente de refractividad promedio de acuerdo con la recomendación P.453-8 de la UIT-R.



Anexo B.6 Plan de frecuencia para los equipos Mini-Link 7E

MINI-LINK 7-E Frequency Plan

Sub-band "CD"	Duplex (MHz)	Lowest/Highest Tx centre frequency (MHz) 0.25 MHz step			
		2x2 Mbps	8 Mbps	2x8 Mbps	34+2 Mbps
11	154	7429.75 / 7482.25	7431.50 / 7480.50	7435.00 / 7477.00	7442.00 / 7470.00
15	154	7583.75 / 7636.25	7585.50 / 7634.50	7589.00 / 7631.00	7596.00 / 7624.00
12	154	7457.75 / 7510.25	7459.50 / 7508.50	7463.00 / 7505.00	7470.00 / 7498.00
16	154	7611.75 / 7664.25	7613.50 / 7662.50	7617.00 / 7659.00	7624.00 / 7652.00
13	154	7485.75 / 7538.25	7487.50 / 7536.50	7491.00 / 7533.00	7498.00 / 7526.00
17	154	7639.75 / 7692.25	7641.50 / 7690.50	7645.00 / 7687.00	7652.00 / 7680.00
14	154	7513.75 / 7566.25	7515.50 / 7564.50	7519.00 / 7561.00	7526.00 / 7554.00
18	154	7667.75 / 7720.25	7669.50 / 7718.50	7673.00 / 7715.00	7680.00 / 7708.00
31	161	7126.25 / 7182.25	7128.00 / 7180.50	7131.50 / 7177.00	7138.50 / 7170.00
35	161	7287.25 / 7343.25	7289.00 / 7341.50	7292.50 / 7338.00	7299.50 / 7331.00
32	161	7154.25 / 7210.25	7156.00 / 7208.50	7159.50 / 7205.00	7166.50 / 7198.00
36	161	7315.25 / 7371.25	7317.00 / 7369.50	7320.50 / 7366.00	7327.50 / 7359.00
33	161	7182.25 / 7238.25	7184.00 / 7236.50	7187.50 / 7233.00	7194.50 / 7226.00
37	161	7343.25 / 7399.25	7345.00 / 7397.50	7348.50 / 7394.00	7355.50 / 7387.00
34	161	7210.25 / 7266.25	7212.00 / 7264.50	7215.50 / 7261.00	7222.50 / 7254.00
38	161	7371.25 / 7427.25	7373.00 / 7425.50	7376.50 / 7422.00	7383.50 / 7415.00
41	161	7426.25 / 7482.25	7428.00 / 7480.50	7431.50 / 7477.00	7438.50 / 7470.00
45	161	7587.25 / 7643.25	7589.00 / 7641.50	7592.50 / 7638.00	7599.50 / 7631.00
42	161	7454.25 / 7510.25	7456.00 / 7508.50	7459.50 / 7505.00	7466.50 / 7498.00
46	161	7615.25 / 7671.25	7617.00 / 7669.50	7620.50 / 7666.00	7627.50 / 7659.00
43	161	7482.25 / 7538.25	7484.00 / 7536.50	7487.50 / 7533.00	7494.50 / 7526.00
47	161	7643.25 / 7699.25	7645.00 / 7697.50	7648.50 / 7694.00	7655.50 / 7687.00
44	161	7510.25 / 7566.25	7512.00 / 7564.50	7515.50 / 7561.00	7522.50 / 7554.00
48	161	7671.25 / 7727.25	7673.00 / 7725.50	7676.50 / 7722.00	7683.50 / 7715.00
51	168	7108.75 / 7161.25	7110.50 / 7159.50	7114.00 / 7156.00	7121.00 / 7149.00
55	168	7276.75 / 7329.25	7278.50 / 7327.50	7282.00 / 7324.00	7289.00 / 7317.00
52	168	7136.75 / 7189.25	7138.50 / 7187.50	7142.00 / 7184.00	7149.00 / 7177.00
56	168	7304.75 / 7357.25	7306.50 / 7355.50	7310.00 / 7352.00	7317.00 / 7345.00
53	168	7164.75 / 7217.25	7166.50 / 7215.50	7170.00 / 7212.00	7177.00 / 7205.00
57	168	7332.75 / 7385.25	7334.50 / 7383.50	7338.00 / 7380.00	7345.00 / 7373.00
54	168	7192.75 / 7245.25	7194.50 / 7243.50	7198.00 / 7240.00	7205.00 / 7233.00
58	168	7360.75 / 7413.25	7362.50 / 7411.50	7366.00 / 7408.00	7373.00 / 7401.00
61	168	7415.75 / 7468.25	7417.50 / 7466.50	7421.00 / 7463.00	7428.00 / 7456.00
65	168	7583.75 / 7636.25	7585.50 / 7634.50	7589.00 / 7631.00	7596.00 / 7624.00
62	168	7443.75 / 7496.25	7445.50 / 7494.50	7449.00 / 7491.00	7456.00 / 7484.00
66	168	7611.75 / 7664.25	7613.50 / 7662.50	7617.00 / 7659.00	7624.00 / 7652.00
63	168	7471.75 / 7524.25	7473.50 / 7522.50	7477.00 / 7519.00	7484.00 / 7512.00
67	168	7639.75 / 7692.25	7641.50 / 7690.50	7645.00 / 7687.00	7652.00 / 7680.00
64	168	7499.75 / 7552.25	7501.50 / 7550.50	7505.00 / 7547.00	7512.00 / 7540.00
68	168	7667.75 / 7720.25	7669.50 / 7718.50	7673.00 / 7715.00	7680.00 / 7708.00
71	154	7129.75 / 7182.25	7131.50 / 7180.50	7135.00 / 7177.00	7142.00 / 7170.00
75	154	7283.75 / 7336.25	7285.50 / 7334.50	7289.00 / 7331.00	7296.00 / 7324.00
72	154	7157.75 / 7210.25	7159.50 / 7208.50	7163.00 / 7205.00	7170.00 / 7198.00
76	154	7311.75 / 7364.25	7313.50 / 7362.50	7317.00 / 7359.00	7324.00 / 7352.00
73	154	7185.75 / 7238.25	7187.50 / 7236.50	7191.00 / 7233.00	7198.00 / 7226.00
77	154	7339.75 / 7392.25	7341.50 / 7390.50	7345.00 / 7387.00	7352.00 / 7380.00
74	154	7213.75 / 7266.25	7215.50 / 7264.50	7219.00 / 7261.00	7226.00 / 7254.00
78	154	7367.75 / 7420.25	7369.50 / 7418.50	7373.00 / 7415.00	7380.00 / 7408.00
81	161	7251.25 / 7307.25	7253.00 / 7305.50	7256.50 / 7302.00	7263.50 / 7295.00
85	161	7412.25 / 7468.25	7414.00 / 7466.50	7417.50 / 7463.00	7424.50 / 7456.00
82	161	7279.25 / 7335.25	7281.00 / 7333.50	7284.50 / 7330.00	7291.50 / 7323.00
86	161	7440.25 / 7496.25	7442.00 / 7494.50	7445.50 / 7491.00	7452.50 / 7484.00
83	161	7307.25 / 7363.25	7309.00 / 7361.50	7312.50 / 7358.00	7319.50 / 7351.00
87	161	7468.25 / 7524.25	7470.00 / 7522.50	7473.50 / 7519.00	7480.50 / 7512.00
84	161	7335.25 / 7391.25	7337.00 / 7389.50	7340.50 / 7386.00	7347.50 / 7379.00
88	161	7496.25 / 7552.25	7498.00 / 7550.50	7501.50 / 7547.00	7508.50 / 7540.00

Anexo B.7 Plan de frecuencia para los equipos Mini-Link 15E

MINI-LINK 15-E Frequency Plan

Sub-band "CD"	Duplex (MHz)	Lowest/Highest Tx centre frequency (MHz) 0.25 MHz step			
		2x2 Mbps	8 Mbps	2x8 Mbps	34+2 Mbps
11	735	14501.00 / 14611.25	14502.75 / 14609.50	14506.25 / 14606.00	14513.25 / 14599.00
18	735	15236.00 / 15346.25	15237.75 / 15344.50	15241.25 / 15341.00	15248.25 / 15334.00
12	315	14606.00 / 14716.25	14607.75 / 14714.50	14611.25 / 14711.00	14618.25 / 14704.00
15	315	14921.00 / 15031.25	14922.75 / 15029.50	14926.25 / 15026.00	14933.25 / 15019.00
13	315	14711.00 / 14821.25	14712.75 / 14819.50	14716.25 / 14816.00	14723.25 / 14809.00
16	315	15026.00 / 15136.25	15027.75 / 15134.50	15031.25 / 15131.00	15038.25 / 15124.00
14	315	14816.00 / 14926.25	14817.75 / 14924.50	14821.25 / 14921.00	14828.25 / 14914.00
17	315	15131.00 / 15241.25	15132.75 / 15239.50	15136.25 / 15236.00	15143.25 / 15229.00
21	420	14497.50 / 14618.25	14499.25 / 14616.50	14502.75 / 14613.00	14509.75 / 14606.00
25	420	14917.50 / 15038.25	14919.25 / 15036.50	14922.75 / 15033.00	14929.75 / 15026.00
22	420	14609.50 / 14730.25	14611.25 / 14728.50	14614.75 / 14725.00	14621.75 / 14718.00
26	420	15029.50 / 15150.25	15031.25 / 15148.50	15034.75 / 15145.00	15041.75 / 15138.00
23	420	14721.50 / 14828.25	14723.25 / 14826.50	14726.75 / 14823.00	14733.75 / 14816.00
27	420	15141.50 / 15248.25	15143.25 / 15246.50	15146.75 / 15243.00	15153.75 / 15236.00
24	420	14819.50 / 14926.25	14821.25 / 14924.50	14824.75 / 14921.00	14831.75 / 14914.00
28	420	15239.50 / 15346.25	15241.25 / 15344.50	15244.75 / 15341.00	15251.75 / 15334.00
41	644	14497.50 / 14600.75	14499.25 / 14599.00	14502.75 / 14595.50	14509.75 / 14588.50
47	644	15141.50 / 15244.75	15143.25 / 15243.00	15146.75 / 15239.50	15153.75 / 15232.50
42	644	14595.50 / 14698.75	14597.25 / 14697.00	14600.75 / 14693.50	14607.75 / 14686.50
48	644	15239.50 / 15342.75	15241.25 / 15341.00	15244.75 / 15337.50	15251.75 / 15330.50
61	728	14497.50 / 14618.25	14499.25 / 14616.50	14502.75 / 14613.00	14509.75 / 14606.00
68	728	15225.50 / 15346.25	15227.25 / 15344.50	15230.75 / 15341.00	15237.75 / 15334.00
62	308	14616.50 / 14733.75	14618.25 / 14732.00	14621.75 / 14728.50	14628.75 / 14721.50
65	308	14924.50 / 15041.75	14926.25 / 15040.00	14929.75 / 15036.50	14936.75 / 15029.50
63	308	14700.50 / 14817.75	14702.25 / 14816.00	14705.75 / 14812.50	14712.75 / 14805.50
66	308	15008.50 / 15125.75	15010.25 / 15124.00	15013.75 / 15120.50	15020.75 / 15113.50
64	308	14812.50 / 14929.75	14814.25 / 14928.00	14817.75 / 14924.50	14824.75 / 14917.50
67	308	15120.50 / 15237.75	15122.25 / 15236.00	15125.75 / 15232.50	15132.75 / 15225.50
71	714	14508.00 / 14618.25	14509.75 / 14616.50	14513.25 / 14613.00	14520.25 / 14606.00
78	714	15222.00 / 15332.25	15223.75 / 15330.50	15227.25 / 15327.00	15234.25 / 15320.00
80	490	14399.50 / 14520.25	14401.25 / 14518.50	14404.75 / 14515.00	14411.75 / 14508.00
85	490	14889.50 / 15010.25	14891.25 / 15008.50	14894.75 / 15005.00	14901.75 / 14998.00
81	490	14483.50 / 14604.25	14485.25 / 14602.50	14488.75 / 14599.00	14495.75 / 14592.00
86	490	14973.50 / 15094.25	14975.25 / 15092.50	14978.75 / 15089.00	14985.75 / 15082.00
82	490	14567.50 / 14688.25	14569.25 / 14686.50	14572.75 / 14683.00	14579.75 / 14676.00
87	490	15057.50 / 15178.25	15059.25 / 15176.50	15062.75 / 15173.00	15069.75 / 15166.00
83	490	14651.50 / 14772.25	14653.25 / 14770.50	14656.75 / 14767.00	14663.75 / 14760.00
88	490	15141.50 / 15262.25	15143.25 / 15260.50	15146.75 / 15257.00	15153.75 / 15250.00
84	490	14735.50 / 14856.25	14737.25 / 14854.50	14740.75 / 14851.00	14747.75 / 14844.00
89	490	15225.50 / 15346.25	15227.25 / 15344.50	15230.75 / 15341.00	15237.75 / 15334.00

Fórmulas

Relación entre la longitud de onda y la frecuencia:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (3.1)$$

donde:

λ = Longitud de onda. [m]

c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

f = Frecuencia. [Hz]

Radios de las diferentes zonas de Fresnel:

$$r_m = \sqrt{m \cdot \lambda \cdot \frac{d_A \cdot (d - d_A)}{d}} \text{ [m]} \quad (3.2)$$

donde:

r_m = Radios de las zonas de Fresnel [m]

$m = 1, 2, 3, \dots$

d = Distancia entre las antenas A y B. [km]

d_A = Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [km]

λ = Longitud de onda [m]

Radio de la primera zona de Fresnel:

$$r_1 = 17.32 \cdot \sqrt{\frac{d_A \cdot (d - d_A)}{f \cdot d}} \text{ [m]} \quad (3.3)$$

donde:

r_1 = Radio de la primera zona de Fresnel [m]

d = Distancia entre las antenas A y B. [km]

d_A = Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [km]

f = Frecuencia dada en [GHz].

La altura de despejamiento h_c puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$h_c = \frac{d_A \cdot (h_B + h_{BG}) + (d - d_A) \cdot (h_A + h_{GA})}{d} - h_{OBST} - \frac{d_A \cdot (d - d_A)}{k \cdot 12,74} \text{ [m]} \quad (3.4)$$

donde:

d_A = Distancia desde la antena A al punto M(donde se calcula en radio). [km]

d = Distancia entre las antenas A y B. [km]

h_B = Altura del sitio B. [m]

h_{BG} = Altura de antena sobre el sitio B. [m]

h_A = Altura del sitio A. [m]

h_{GA} = Altura de antena sobre el sitio A. [m]

h_{OBST} = Altura del obstáculo. [m]

k = Factor de corrección terrestre.

El radio equivalente de la Tierra se define por:

$$R_e = k \cdot R \text{ [m]} \quad (3.5)$$

donde:

k = Factor de corrección terrestre

R = Radio real de la Tierra ($6,37 \times 10^6$ m)

Pérdidas por propagación en el espacio libre:

$$L_{FSL} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 92,5 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f \text{ [dB]} \quad (3.6)$$

donde:

L_{FSL} = Pérdidas en el espacio libre [dB]

d = Distancia desde la antena transmisora [km]

λ = Longitud de onda [m]

f = Frecuencia [GHz]

Atenuación total por gases:

$$A_G = (\gamma_O + \gamma_W) \cdot d \text{ [dB]} \quad (3.7)$$

donde:

A_G = Atenuación total por gases [dB]

γ_O = Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/km]

γ_W = Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/km]

d = Distancia del enlace [km]

La absorción total específica debida a los efectos del oxígeno y el vapor de agua se define por:

$$\gamma_G = (\gamma_O + \gamma_W) \quad (3.8)$$

donde:

γ_G = Absorción total específica por gases [dB/km]

γ_O = Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/km]

γ_W = Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/km]

La atenuación total debida a la precipitación puede ser calculada de la siguiente forma:

$$A_R = \gamma_R \cdot d_{eff} \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

donde:

A_R = Atenuación total debida a la precipitación. [dB]

γ_R = Atenuación específica debida a la lluvia. [dB/km]

d_{eff} = Longitud efectiva del enlace. [km]

La atenuación específica debida a la lluvia se calcula de la siguiente forma:

$$\gamma_R = k_f \cdot R^{\alpha_f} \quad (3.10)$$

donde:

γ_R = Atenuación específica debida a la lluvia.

k_f, α_f = Coeficientes dependientes de la frecuencia.

R = Intensidad de la lluvia. [mm/h]

Los coeficientes k_f y α_f se definen como:

$$k_f = \frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau}{2} \quad (3.11)$$

$$\alpha_f = \frac{k_H \cdot \alpha_H + k_V \cdot \alpha_V + (k_H \cdot \alpha_H - k_V \cdot \alpha_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau}{2 \cdot k_f} \quad (3.12)$$

donde:

θ = Inclinación del enlace.

τ = Ángulo de polarización respecto al plano horizontal.

La longitud efectiva del enlace se calcula de la siguiente forma:

$$d_{eff} = d \cdot r \quad [\text{km}] \quad (3.13)$$

donde:

d_{eff} = Longitud efectiva del enlace. [km]

d = Longitud real del enlace. [km]

r = Factor de reducción.

El factor de reducción se expresa como:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (3.14)$$

El factor $1/d_0$ se asocia a una intensidad de lluvia del 0.01 % como nivel de referencia. Así d_0 es:

$$d_0 = 35 \cdot e^{-0,015 \cdot R_{0,01}} \quad (3.15)$$

La atenuación por obstrucciones agudas se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A_H = 16 + 20 \cdot \log(v) \text{ [dB]} \quad (3.16)$$

donde:

A_H = Atenuación debida a obstrucciones agudas. [dB]

v = Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

La penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel se calcula por:

$$v = \frac{h_{LOS}}{r_{1F}} \quad (3.17)$$

donde:

v = Penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

h_{LOS} = Altura del obstáculo por encima de la línea de vista. [m]

r_{1F} = Radio de la primera zona de Fresnel en el punto de la obstrucción. [m]

Sumatoria de ganancias y pérdidas correspondientes a los enlaces:

$$A_S = L_{SFL} + A_G + A_{OBST} + A_L + \sum A_F - G_{ATx} - G_{ARx} \text{ [dB]} \quad (3.18)$$

donde:

A_S = Pérdidas totales del enlace. [dB]

L_{SFL} = Pérdidas en el espacio libre [dB]

A_G = Atenuación total por gases [dB]

A_{OBST} = Pérdidas debidas a obstáculos en el enlace. [dB]

A_L = Pérdidas adicionales. [dB]

A_F = Pérdidas en los feeders de las antenas. [dB]

G_{ATx} = Ganancia de la antena transmisora. [dBi]

G_{ARx} = Ganancia de la antena receptora. [dBi]

El nivel de señal recibido se calcula como se muestra a continuación:

$$P_R = P_{Tr} - A_S \text{ [dBm]} \quad (3.19)$$

donde:

P_R = Nivel de señal recibido. [dBm]

P_{Tr} = Potencia de transmisión. [dBm]

A_S = Pérdidas totales del enlace. [dB]

El margen de desvanecimiento se calcula por medio de:

$$M = P_R - P_{Tr} \text{ [dB]} \quad (3.20)$$

donde:

M = Margen de desvanecimiento. [dB]

P_R = Nivel de señal recibido. [dBm]

P_{Tr} = Nivel *threshold* recibido o umbral. [dBm]