



Notas del producto de 4RF

Ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz



| Índice | |
|---|----|
| 1. Descripción general | 2 |
| 2. Distancias de enlace más grandes | 3 |
| 3. Menor susceptibilidad a los efectos del medio ambiente | 6 |
| 4. Menos infraestructura y mantenimiento | 12 |
| 5. Otras opciones de enlace | 13 |
| 6. Resumen | 14 |
| 7. Referencias | 15 |

1 Descripción general

1.1 Introducción

4RF se especializa en el diseño, el desarrollo y la fabricación de sistemas de enlace de punto a punto inalámbricos de última generación. Los sistemas de 4RF funcionan en bandas de espectros licenciadas que se extienden de los 300 MHz a los 3 GHz. El negocio principal de la empresa es brindar soluciones avanzadas de radios de microondas digitales dirigidas a mercados¹ de capacidad baja² a media, de menos de 3 GHz. El producto Aprisa fue lanzado en 1999 y, en octubre de 2003, 4RF lanzó Aprisa XE para extender la gama del producto. En la actualidad, más del 97% de los ingresos de la empresa son generados por las exportaciones de los productos Aprisa. Los sistemas 4RF se utilizan en más de 100 países en todo el mundo.

1.2 Resumen ejecutivo

Estas notas del producto describen las ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz en comparación con las tecnologías de enlazado que se utilizan comúnmente con frecuencias más altas. El uso de frecuencias de menos de 3 GHz, combinado con los avances tecnológicos recientes, ha permitido extender ampliamente los sistemas terrestres de radio digital. En la actualidad, las distancias que tradicionalmente se consideraron inalcanzables con enlaces de microondas digitales son enlazadas regularmente con un funcionamiento de clase portadora. Además, las distancias cubiertas son de dos a tres veces más grandes que las cubiertas por microondas de mayor frecuencia. Las ventajas clave de la transmisión de menos de 3 GHz incluyen un funcionamiento sin interrupciones en bandas licenciadas, una capacidad de cobertura de distancias más grandes y la inmunidad a las condiciones atmosféricas. Los módicos requisitos de infraestructura también permiten reducir los costos de capital y operación, lo que reduce el costo total de propiedad. Este documento incluye detalles sobre estas y otras ventajas que ofrece el uso de los sistemas de enlace en este espectro. A continuación, se resumen las ventajas principales:

- Distancias de enlace más grandes debido a la menor pérdida de trayecto, incluidos el funcionamiento fuera de la línea de visión (NLOS) y una mayor ganancia de sistema.
- Menor susceptibilidad a los efectos del medio ambiente: pérdidas por precipitación (lluvia), Harmattan y Khamsin, formación de conductos atmosféricos, tormentas y tifones.
- Menos infraestructura y mantenimiento mediante cargas reducidas en las torres y menos costos de operación.

Como resultado de estas ventajas y del diseño de nuevos productos, los sistemas de enlace ahora pueden cumplir con requisitos que eran considerados inalcanzables, incluso en los ambientes más hostiles. Ahora existe una solución de microondas terrestres para largas distancias.

¹ En este documento, se entiende como capacidad baja a 2 Mbit/s o menos.

² En este documento, se entiende como capacidad media al rango de 2 Mbit/s a 70 Mbit/s.

Ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz

- Distancias de enlace más grandes
- Menor susceptibilidad a los efectos del medio ambiente
- Menos infraestructura y mantenimiento

2 Distancias de enlace más grandes

La capacidad de enlazar distancias más grandes con frecuencias inferiores a 3 GHz, especialmente dentro del espectro de 1,4 GHz a 2 GHz, puede ser atribuida a una variedad de características. Es la combinación de estos factores, junto con los recientes avances tecnológicos, la que hace posible enlazar distancias de más de 200 km.

En esta sección, se describen las ventajas clave que brinda el enlace en menos de 3 GHz y que ofrecen la capacidad de enlazar distancias más grandes que mediante el uso de sistemas de mayor frecuencia:

- Menor pérdida de trayecto
- Mayor ganancia de sistema
- Bajo efecto de las pérdidas por precipitación (se analizan con más detalles en la sección sobre los efectos del medio ambiente)

2.1 Menor pérdida de trayecto

Las pérdidas del trayecto de un enlace se componen de la suma de los siguientes elementos:

- Pérdida en el espacio libre (FSL)
- Pérdida por obstrucción y difracción: funcionamiento con trayectos fuera de la línea de visión (NLOS)
- Pérdida por gases atmosféricos

Los efectos de todos los factores enumerados arriba aumentan significativamente a medida que aumenta la frecuencia de la transmisión.

Pérdida en el espacio libre

La pérdida en el espacio libre es la que ocurre en un trayecto completamente libre de objetos u obstrucciones que absorben o reflejan la energía de la radio, y ocurren como resultado de la propagación o el desenfoque de la onda de la radio.

La pérdida en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia entre el transmisor y el receptor, y también es proporcional al cuadrado de la frecuencia transmitida. La fórmula para calcular la FSL en dB es la siguiente:

- $FSL (dB) = 20 * \text{Log}_{10} (\text{frecuencia en MHz}) + 20 * \text{Log}_{10} (\text{distancia en millas}) + 36,6$
- $FSL (dB) = 20 * \text{Log}_{10} (\text{frecuencia en MHz}) + 20 * \text{Log}_{10} (\text{distancia en kilómetros}) + 32,44$

La tabla 1 muestra la FSL para un trayecto recientemente encomendado de 50 km a varias frecuencias.

Tabla 1: Pérdida en el espacio libre para enlace de 50 km a varias frecuencias

| FRECUENCIA (MHz) | FSL (dB) |
|------------------|----------|
| 1450 | 129 |
| 2100 | 133 |
| 6700 | 143 |
| 7500 | 144 |
| 18000 | 152 |

Pérdida por obstrucción y difracción: funcionamiento con trayectos fuera de la línea de visión

Los sistemas que utilizan frecuencias inferiores a 3 GHz e incorporan la equalización adaptable permiten el funcionamiento en trayectos con niveles altos de pérdidas por obstrucción o difracción. 4RF ha implementado muchos sistemas de este tipo, con más de 20 dB de pérdida por difracción. El espaciamiento más grande de los canales y las mayores pérdidas por obstrucción que se encuentran en bandas de mayor frecuencia indican que los criterios de diseño son mucho más estrictos.

La pérdida por difracción es la atenuación que se produce como resultado de obstrucciones en la zona de Fresnel u obstrucciones en la línea de visión (LOS). El nivel de atenuación depende del tipo y de la extensión de la obstrucción, y de la frecuencia de la operación.

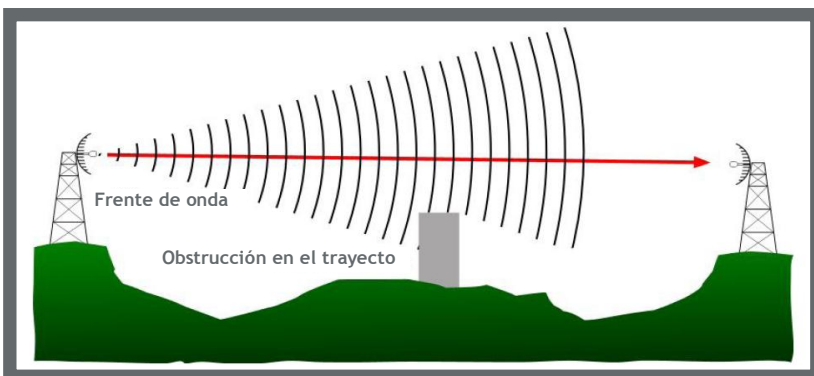


Figura 1: Ejemplo de difracción causada por una obstrucción en la zona de Fresnel.

Las frecuencias más altas tienen longitudes de ondas más cortas y, por lo tanto, zonas de Fresnel más pequeñas. Sin embargo, debido a que la zona de Fresnel es más pequeña, cualquier obstrucción en la zona tiene un efecto más importante en el rendimiento del enlace. A medida que aumenta la frecuencia de funcionamiento, los efectos de las obstrucciones en la zona de Fresnel y las obstrucciones en la LOS se vuelven más graves. En las frecuencias de menos de 3 GHz, son mínimas las pérdidas ocasionadas por obstrucciones en la zona de Fresnel u obstrucciones provocadas por edificios o árboles ^[Ref 1]. En resumen, a diferencia de los sistemas de microondas de frecuencia más alta, aquellos sistemas que funcionan a frecuencias bajas pueden aceptar obstrucciones parciales y, a veces, obstrucciones directas en la línea de visión. Además, varios tipos de obstrucción afectan muy poco o no afectan el rendimiento.

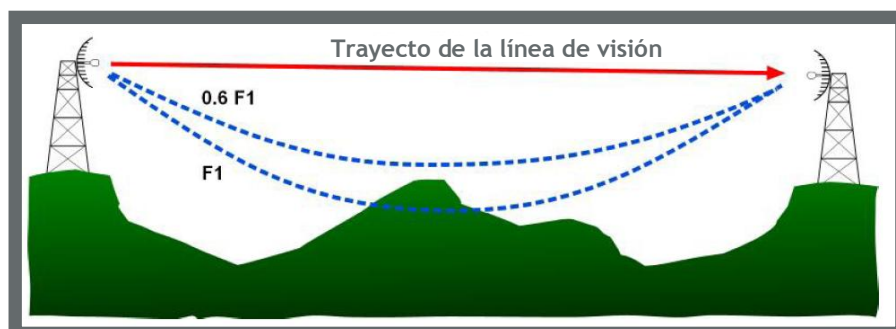


Figura 2: obstrucción en la zona de Fresnel fuera de 0,6 F1

Como regla general, a frecuencias más altas no debería haber obstrucciones dentro de 0,6 de F1 (vea la Figura 2). Sin embargo, en frecuencias inferiores a 3 GHz, los trayectos que brindan un enlace de clase portadora son alcanzables con obstrucciones en la línea de visión y, en algunos casos, con obstrucciones casi totales en la zona de Fresnel.

La experiencia es importante en la implementación exitosa de enlaces de microondas de largas distancias. Esto es especialmente fundamental si se están planificando trayectos con obstrucciones.

Pérdida por absorción de gases atmosféricos

A medida que las transmisiones atraviesan la troposfera, experimentan interacciones con las moléculas de gas presentes en la atmósfera. Estas interacciones ocasionan la pérdida de energía o potencia de la transmisión y, por lo tanto, causan atenuación.

Mientras que es posible ignorar la mayoría de los gases en frecuencias típicas de microondas, el oxígeno se vuelve un factor determinante entre los 57 y 60 GHz y a 119 GHz. Al nivel del mar, esto produce pérdidas de 15 dB/km entre los 57 GHz y 63 GHz ^[Ref 2].

2.2 Mayor ganancia de sistema

La ganancia de sistema de los equipos de radio digital es definida como la diferencia en dB entre la potencia de salida y el umbral del receptor. Generalmente, el umbral del receptor se mide a 10^{-6} o 10^{-3} de la sensibilidad al índice de errores de bits (BER).

Desde la perspectiva de las especificaciones publicadas, hay diferentes maneras de expresar el lugar desde donde se deben medir la potencia de salida y la sensibilidad del receptor. Algunos fabricantes las miden desde la salida del transmisor y en la entrada del receptor, pasando por alto las pérdidas por bifurcación.

En general, los sistemas de menor frecuencia tienen más ganancia de sistema (para un canal de radiofrecuencia de igual tamaño) debido a lo siguiente:

- Potencias de salida más altas en el mismo esquema de modulación
- Bajas sensibilidades de recepción en el mismo esquema de modulación

La mayor ganancia de sistema permite utilizar antenas más pequeñas, con mayor disponibilidad y en distancias de enlace más grandes. El uso de antenas más pequeñas reduce los costos de instalación, de alquiler de mástiles y de las antenas.

La Tabla 2 muestra la ganancia de sistema y la capacidad de BER de 10^{-6} de radios que utilizan un canal de 14 MHz a 16 QAM.

Tabla 2: ganancia de sistema vs. frecuencia para sistema de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) 16, de 14 MHz ^[REF 6]

| Frecuencia (MHz) | Ganancia de sistema (dB) | Capacidad (E1) |
|------------------|--------------------------|----------------|
| 2000 | 111 | 22 |
| 7000 | 104 | 16 |

3 Menor susceptibilidad a los efectos del medio ambiente

Esta sección incluye las principales ventajas que brinda la transmisión de menos de 3 GHz en condiciones medioambientales diferentes. La principal ventaja del funcionamiento a menos de 3 GHz es la capacidad de extender significativamente las distancias o de aumentar la disponibilidad en estas condiciones. En muchos casos en los que los enlaces de frecuencia más alta pierden la señal al punto de que el sistema se pierde por completo, los sistemas de menos de 3 GHz no se ven afectados en absoluto, en las mismas condiciones. Los principales desafíos medioambientales son los siguientes:

- Precipitación (lluvia)
- Harmattan y Khamsin
- Formación de conductos atmosféricos
- Tormentas y tifones

3.1 Precipitación (lluvia)

La pérdida de señal debido a la lluvia es un problema conocido en los enlaces de microondas. Las gotas de lluvia absorben o dispersan la energía de la frecuencia de radio, lo que produce una atenuación del nivel de señal recibido en los sistemas de enlace. Otros tipos de precipitación, como la niebla y la nieve, también pueden ocasionar problemas.

Los efectos de la pérdida de señal producida por la lluvia no son significativos hasta que se utilizan frecuencias de más de 4 GHz. La Figura 3 muestra un ejemplo de atenuación en dB/km en comparación con la frecuencia de transmisión en la región de lluvias N de la ITU:

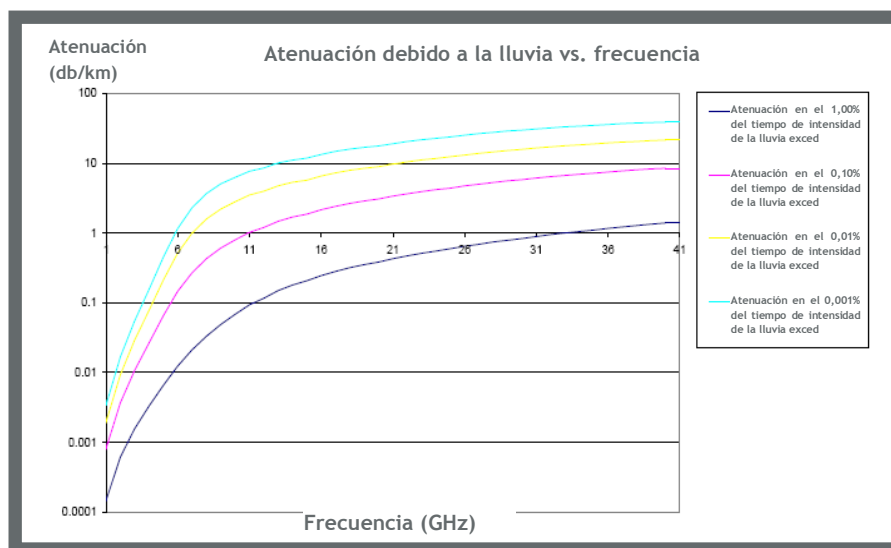


Figura 3: Atenuación vs. frecuencia para la zona de lluvias N de la ITU (de 35 a 180 mm/h) [Ref 3, 4, 5]

La Tabla 3 muestra la atenuación debido a la lluvia en un trayecto de 50 km con un promedio de lluvia de 60 mm/h que afecta el 100% del trayecto, y con una polarización vertical ^[Ref 5].

En caso de atenuación provocada por la lluvia, los sistemas de frecuencias más altas deben incorporar un margen adicional de pérdida de señal en áreas donde las lluvias son muy intensas. Para lograr esto, se necesitan antenas más grandes y estructuras de soporte más costosas, y las longitudes de trayectos alcanzables se reducen considerablemente.

Si se utilizan frecuencias inferiores a 3 GHz, las pérdidas por lluvia pueden ser ignoradas.

3.2 Harmattan y Khamsin

Los términos Harmattan y Khamsin se refieren a tormentas de polvo que producen un efecto de niebla provocado por las finas partículas de polvo (de tamaño de 0,5 a 10 µm).

Harmattan son los vientos alisios del oeste de África que se originan en el Sahara y se desplazan hacia el sur, hacia el golfo de Guinea y, a veces, en casos muy extremos, llegan hasta América del Norte. El Harmattan es también conocido como 'el doctor', apodo que se le dio en referencia al frío aliviador que brinda en épocas de calor opresivo. El Harmattan ocurre una vez al año, entre fines de noviembre y mediados de marzo.

Khamsin son los vientos que soplan desde el Sahara y atraviesan Egipto, o desde el desierto de Arabia hacia las zonas que lo rodean. También es conocido como el 'viento de los cincuenta días', ya que se cree que sopla durante cincuenta días, una vez al año. En general, el Khamsin ocurre en dos épocas: entre marzo y mayo, y entre septiembre y noviembre. Existen varias regiones donde ocurren fenómenos similares, entre las que se incluyen:

- Australia
- China
- México
- Mongolia
- Marruecos
- Rusia
- EE. UU. (las Grandes Llanuras)

No existen recomendaciones de la ITU para calcular la atenuación esperada debido a tormentas de polvo. Se han realizado varios estudios para en enlaces en funcionamiento para determinar los efectos de las tormentas de polvo en los sistemas de enlaces ^[Ref 8].

Estos estudios confirmaron que los sistemas de enlaces experimentan los siguientes síntomas durante la época de Harmattan:

| FRECUENCIA (MHz) | Atenuación (dB) |
|------------------|-----------------|
| 2500 | 0,6 |
| 7000 | 27,2 |
| 10 000 | 78 |

Tabla 3: Frecuencia vs. atenuación debido a la lluvia en un trayecto de 50 km

- Las ocasiones de pérdida de señal se duplicaron durante la temporada de Harmattan.
- La profundidad de la pérdida de señal es de dos a tres veces mayor que la que se experimenta en condiciones normales.

Los efectos de las tormentas de polvo en la propagación de las radiofrecuencias son una combinación de los siguientes factores:

- Las partículas de polvo absorben o dispersan la señal de radiofrecuencia.
- Se forman conductos atmosféricos debido a la inversión de temperatura.

La atenuación, producida por el contenido de polvo, de una visibilidad óptica determinada (densidad de masa del polvo) aumenta con la radiofrecuencia y el contenido de agua de las partículas de polvo. La formación de conductos atmosféricos y la pérdida de señal durante Harmattan representan un problema para la propagación de las microondas, por lo que se les debe prestar especial atención durante el diseño y la planificación de los enlaces.

La atenuación producida por el polvo afecta las señales de 10 GHz o superiores. En el caso de tormentas de polvo, la visibilidad medida en metros se utiliza para calcular la atenuación por kilómetro. En tormentas de polvo muy severas, la visibilidad puede reducirse a 10 m. Esto puede dar como resultado una atenuación de 1,8 dB/km, teniendo en cuenta los valores estándar para contenido de agua y tamaño de partículas.

Al igual que en el caso de la atenuación por lluvia, las transmisiones de 3 GHz son menos susceptibles a la atenuación producida por las tormentas de polvo, y el impacto puede ser ignorado.

3.3 Formación de conductos atmosféricos

Los conductos atmosféricos se forman cuando la energía de la radiofrecuencia queda atrapada en un conducto, en la capa más baja de la atmósfera (troposfera). La formación de estos conductos se debe principalmente a la inversión de temperatura (una capa de aire caliente se ubica sobre una capa de aire frío) y, a menudo, es impredecible y difícil de cuantificar durante la fase de diseño del sistema de enlaces. Los conductos pueden generar interrupciones de señal por multitrayectos refractivos y reflectivos a corto o largo plazo (duración de > 3 s).

La formación regular de estas capas de conductos es más predominante en áreas costeras y puede hacer que las transmisiones de microondas sean poco confiables en ciertas zonas geográficas. Los siguientes lugares son áreas donde se conoce que se forman conductos atmosféricos:

- La costa del golfo de Guinea (especialmente Nigeria)
- El golfo de México
- India

- El golfo de Arabia y el golfo Pérsico
- Las zonas costeras del Mediterráneo
- Las zonas costeras tropicales y subtropicales

Existen varios problemas producidos por la formación de conductos atmosféricos que afectan las señales de radiofrecuencia en enlaces de punto a punto ^[Ref 9]. Los más comunes son:

- Variación del nivel de señal de recepción
- Distorsión de fase debido a los multitrayectos
- Interferencia entre sistemas producida por la sobremodulación

Variación del nivel de señal de recepción

Las variaciones de señal de recepción se producen cuando una proporción de la energía de la radiofrecuencia queda atrapada dentro del conducto atmosférico. El aumento de la ganancia de sistema, la reducción de la distancia del enlace y el aumento de la inclinación del trayecto son métodos comunes que se utilizan para combatir los efectos de la formación de conductos en sistemas de enlaces de alta frecuencia.

Distorsión de fase debido a los multitrayectos

La distorsión de fase ocurre como resultado de la recepción de señales fuera de fase. La fuente más común de multitrayectos se produce por reflexiones en el trayecto. Cuando se forman conductos atmosféricos, es posible que la señal fuera de fase que es refractada tenga un nivel más alto que el deseado.

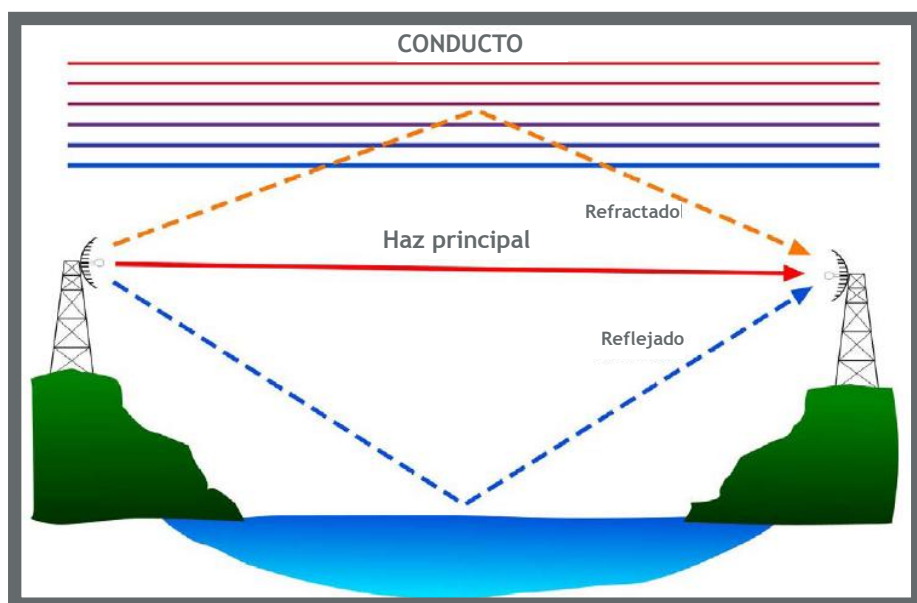


Figura 4: Multitrayecto reflejado y refractado.

Interferencia entre sistemas

Dentro de conductos, las señales pueden viajar mucho más lejos que en condiciones normales [Ref 9]. Esto puede producir interferencias entre sistemas que comparten canales, donde la interacción sería imposible en condiciones normales.

Frecuencia de señales atrapadas en conductos atmosféricos

Para que se forme un conducto, la frecuencia de la onda debe ser superior a un valor crítico conocido como la frecuencia mínima de formación de conducto. El valor de la frecuencia mínima es determinado por la profundidad física del conducto y por el perfil de refracción (o índice de cambio de presión en las capas atmosféricas). Desafortunadamente, no existe un método confiable para predecir la profundidad de los conductos antes de que se formen. Todas las frecuencias superiores a 50 MHz están sujetas a los efectos de los conductos atmosféricos, y estos efectos aumentan a medida que aumentan las frecuencias [Ref 10].

3.4 Actividad de tormentas y tifones

La Tabla 4 describe las temporadas y la ocurrencia promedio de tormentas y ciclones en cada área.

| CUENCA | Comienzo de temporada | Fin de temporada | Tormentas tropicales de > 34 nudos | Ciclones tropicales de > 63 nudos | Ciclones tropicales de Cat. 3+, de > 95 nudos |
|-------------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| Pacífico Noroeste | Abril | Enero | 26,7 | 16,9 | 8,5 |
| Índico Sur | Octubre | Mayo | 20,6 | 10,3 | 4,3 |
| Pacífico Noreste | Mayo | Noviembre | 16,3 | 9 | 4,1 |
| Atlántico Norte | Junio | Noviembre | 10,6 | 5,9 | 2 |
| Pacífico Sudeste | Octubre | Mayo | 10,6 | 4,8 | 1,9 |
| Índico Norte | Abril | Diciembre | 5,4 | 2,2 | 0,4 |

Tabla 4: Temporadas y promedio de tormentas [Ref 7]

Los desafíos de enlazar radiofrecuencias en zonas donde se producen tormentas son el resultado de dos factores principales:

- Vientos de gran velocidad
- Lluvias fuertes

Vientos de gran velocidad

Los vientos de gran velocidad aplican tensión en las estructuras de soporte. Cuanto más grande es la superficie expuesta al viento, mayor es la presión que se ejerce sobre la estructura de soporte. Esto hace que sea necesario utilizar grandes estructuras de soporte independientes en zonas donde comúnmente se producen tormentas.

Las ráfagas de viento también pueden hacer que las antenas se desalineen. Esto produce una reducción o pérdida de señal de recepción en ambos extremos del enlace.

Las antenas parabólicas de tipo rejilla que se utilizan en sistemas de menos de 3 GHz brindan características de carga eólica reducida, en general, en el orden de un tercio de la carga de una antena sólida de alta frecuencia y del mismo tamaño. Esto significa que se pueden utilizar estructuras de soporte más pequeñas para implementar nuevos servicios o que se pueden implementar más servicios con la estructura existente, sin superar la clasificación de carga de la estructura de soporte.

Las antenas de tipo rejilla pesan mucho menos que las antenas sólidas del mismo tamaño. Esto facilita la instalación y reduce los requisitos de transporte. El costo reducido de las antenas de tipo rejilla ayuda a reducir los costos de implementación de servicios. Esto puede producir una reducción importante de los costos generales del proyecto si se combina con la reducción de costos de las estructuras de soporte.

Lluvias fuertes

La atenuación producida por la lluvia es un problema conocido en los enlaces de microondas.

La consecuencia práctica muestra que los sistemas que utilizan menos de 3 GHz ofrecen las siguientes ventajas, en comparación con los sistemas que utilizan frecuencias más altas, en zonas donde se deben tener en cuenta los tifones, los ciclones y las tormentas:

- Distancias de enlace más grandes
- Menos requisitos de carga e infraestructura
- Mayor disponibilidad del sistema durante tormentas

4 Menos infraestructura y mantenimiento

Los sistemas que utilizan menos de 3 GHz ofrecen varias ventajas en relación a los costos de operación e infraestructura. La más importante de estas ventajas es la carga reducida de la torre y los menores costos de operación, como se analiza en esta sección.

4.1 Menos carga de la torre y menos requisitos

El uso de antenas Yagi y antenas parabólicas pequeñas de tipo rejilla reduce en gran medida los requisitos de carga de la infraestructura de soporte, en comparación con las antenas parabólicas sólidas que se utilizan en sistemas de frecuencias más altas. Se pueden utilizar postes o mástiles sujetos con cables, ambos económicos, para soportar múltiples antenas de transmisión inferior a 3 GHz. En general, las antenas parabólicas sólidas requieren costosas estructuras de soporte independientes. A continuación, se incluyen algunos puntos de comparación:

- Generalmente, las antenas parabólicas sólidas tienen una carga de torre tres veces superior a la de las antenas de tipo rejilla.
- A menudo, las antenas parabólicas sólidas no son aptas para el uso en estructuras de soporte con postes o con mástiles sujetos con cables debido a la carga de la torre o a la flexibilidad excesiva de las estructuras sujetadas con cables para antenas de haz dirigido.
- La adquisición de sitio puede ser realizada rápidamente mediante el uso de estructuras de soporte pequeñas y económicas.
- El impacto visual para el turismo y para el desarrollo suburbano se reduce en gran medida gracias a las estructuras de soporte pequeñas y económicas.
- Las estructuras de soporte ocupadas se pueden seguir utilizando debido a la baja carga y a la apertura de la torre.

Es posible reducir en gran medida el costo total de implementación del sistema mediante el uso de sistemas de enlace de menos de 3 GHz.

4.2 Menos costos de operación

Los sistemas con frecuencias de menos de 3 GHz permiten reducir significativamente los gastos fijos de operación y mantenimiento. Las ventajas más importantes son las siguientes:

- No se necesita un mantenimiento de rutina programado. Realice la instalación y olvídense del resto.
- No es necesario el mantenimiento de la unidad exterior (ODU)
- Los sistemas de alimentador despresurizado eliminan los costos de mantenimiento del equipo del compresor y de la guía de ondas.

Es posible reducir los costos de funcionamiento y mantenimiento mediante el uso de sistemas con transmisión de menos de 3 GHz.

Antenas livianas para transmisión de menos de 3 GHz



5 Otras opciones de enlace

A continuación, se incluye un breve resumen de las tecnologías de transmisión que se utilizan en forma alternativa.

5.1 Radio de punto a punto sin licencia

- Distancia limitada por interferencia.
- Muchas fuentes de interferencia potenciales (hornos de microondas, teléfonos inalámbricos, LAN inalámbricas)
- Seguridad insuficiente y rendimiento variable (disponibilidad afectada por otros usuarios)
- Rápida implementación (no se necesitan licencias)

5.2 Radio de microondas digital de alta frecuencia (> 6 GHz)

- Sujeta a pérdidas de señal debido al Harmattan, la lluvia y otras precipitaciones
- Requisitos de infraestructura de gran extensión (torres)
- Altos costos de antenas (antenas parabólicas sólidas)
- Solución apta de corto alcance, solución de gran capacidad
- Gastos de operación (mantenimiento de la unidad exterior)

5.3 Infraestructura de satélite

- Ancho de banda más bajo con altos costos de operación
- Susceptibilidad a las condiciones climáticas
- Pérdida de rendimiento por falta de luz solar
- Desafíos relacionados con la capacidad: asimetría satelital (velocidad media del enlace descendente y velocidad baja del enlace ascendente)
- Latencia alta

Mientras que las tecnologías que se describen arriba son aptas para aplicaciones específicas, el uso de frecuencias inferiores a 3 GHz, en combinación con esquemas de modulación espectralmente eficaces, hace que los sistemas de enlaces 4RF sean suficientemente flexibles para cualquier aplicación. Las opciones de interfaz admiten requisitos de voz, TDM y Ethernet en una sola plataforma, lo que elimina la necesidad de utilizar equipos externos.

6 Resumen

Los puntos mencionados arriba se pueden resumir en una oración:

Los sistemas de enlaces con frecuencias inferiores a 3 GHz les permiten a los usuarios conectar distancias más grandes y, a su vez, disfrutar de un costo de implementación más bajo.

Las ventajas que ofrecen en relación a la disponibilidad, la distancia y el funcionamiento fuera de la línea de visión, junto con los menores requisitos de infraestructura, brindan más opciones de sitios y menores costos de implementación de servicios.

Es fundamental obtener consejos con anticipación durante la planificación de los sistemas de radio de microondas de largo alcance. Es posible tener en cuenta numerosos factores e intercambios de tecnologías en el momento de diseñar sistemas para dirigir transmisión en ambientes adversos. Es fundamental obtener un consejo acertado de un proveedor con buena reputación (y que tenga a su cargo ingenieros especializados en trayectos) para obtener la solución óptima a largo plazo y con bajos costos de capital y operación.

7 References

[1] ITU-R: Propagación por difracción. Recomendación P.526.

[1] ITU-R: Atenuación debido a gases atmosféricos. Recomendación P.676.

[3] ITU-R: Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrestres de funcionamiento en la línea de visión. Recomendación P.530.

[4] ITU-R: Características de precipitación para modelación de propagación. Recomendación P.837.

[5] ITU-R: Modelo de atenuación específica para lluvia, para ser utilizado en métodos de predicción. Recomendación P.838.

[6] Hoja de datos de enlaces de radio de microondas digital Alcatel-Lucent 9400 AWY WLS7526071005 (10)

[7] Laboratorio oceanográfico y meteorológico del Atlántico, División de investigaciones sobre huracanes: "Frequently Asked Questions: What are the average, most, and least tropical cyclones occurring in each basin?" (Preguntas frecuentes: ¿Cuáles son el promedio, la mayor cantidad y la menor cantidad de ciclones tropicales que se producen en cada cuenca?).

[8] Departamento de Física, Universidad de Calabar, Nigeria: "Microwave signal attenuation in Harmattan weather along Calabar-Akampkpa Line-of-Sight link" (Atenuación de señales de microondas en temporada de Harmattan, en el enlace en la línea de visión de Calabar-Akampkpa), investigación realizada por O. E. Eyo, A. I. Menkiti, S. O. Udo.

[9] Grupo de investigación de espectros de radio, Universidad de Canberra: "Implications of the evaporation duct for microwave radio path design over tropical oceans in Northern Australia" (Implicaciones del conducto de evaporación para diseño de trayecto de radio de microondas sobre océanos tropicales, en el norte de Australia), A. Kerans, A. S. Kulesa, E. Lensson, G. French y G. S. Woods,

[10] Taller de ITU/INA: Mediciones y técnicas de monitorización de espectros. Propagación de ondas en el espacio.

Acerca de 4RF



Con operaciones en más de 130 países, las soluciones de 4RF son utilizadas por empresas de petróleo y gas, organizaciones de ayuda internacional, seguridad pública, organizaciones militares y de seguridad, empresas de transporte y de servicios públicos, empresas de radiodifusión y empresas y operadores de telecomunicaciones. Todos los productos de 4RF están optimizados para funcionar en climas adversos y en terrenos difíciles, y son compatibles con aplicaciones de herencia analógica, de datos en serie, de PDH y de IP.



26 Glover Street
Ngauranga
Wellington 6035
NUEVA ZELANDA

Teléfono+64 4 499 6000
Fax +64 4 473 4447