



Planificación de Frecuencias

Capítulo 7

*Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe*

Planificación del enlace

- Debe transportar el tráfico con el nivel de calidad deseado.
- Debe considerar la previsión contra el desvanecimiento (la mejor confiabilidad)
- Evitar o minimizar la interferencia, planificando sus asignaciones de frecuencia

Sist de Microondas 2

¿Qué es la interferencia?

- Es cualquier señal no deseada presente en la entrada del receptor o en su interior
- Puede ser una copia retardada de la propia señal (multitrayecto)
- Una señal de un canal adyacente que viaja sobre el mismo enlace
- Una señal de otro enlace o fuente de RF

Sist de Microondas 3

Causas de Interferencia

- **Internas:**
 - Se relacionan al propio equipamiento del sitio como osciladores locales (LO), selectividad de los filtros, etc.
 - Aspectos internos del diseño del sistema, tales como señales reflejadas de la antena al TX, espaciamiento de frecuencias TX/RX, relación frente/espalda (F/B) si es repetidora, interferencias co-canal y canal adyacente, desde el propio sistema

Sist de Microondas 4

Medidas Correctivas

- Un buen equipamiento con osciladores estables y buenos filtros.
- Escoger planes de canalización según recomendaciones internacionales (ITU-R) que incorporen estrictas limitaciones para evitar la interferencia.
- Escoger antenas que cumplan los requerimientos contra las interferencias

Sist de Microondas 5

Causas Externas

- Fuentes que raramente están bajo control
 - Incluyen las causadas por otros sistemas ya instalados y las provenientes de otros servicios como los satélites.
 - También las provenientes de un sitio distante que puede formar parte de la misma ruta, este aspecto puede ser controlado por el diseñador del sistema.

Sist de Microondas 6

Tipos de Interferencia

- **C/I Variable:** La interferencia es constante pero el nivel de portadora varía debido al desvanecimiento en el trayecto, el cual debe ser independiente del desvanecimiento de la señal interferente, provocando que el C/I varíe con el desvanecimiento, los efectos se ven en el nivel de umbral del receptor (el BER es alto)

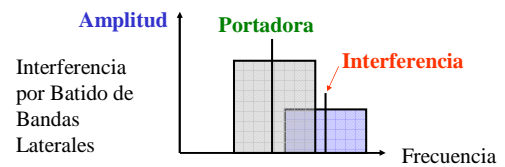
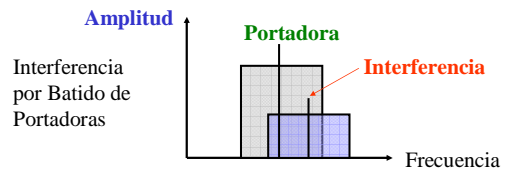
- **C/I Constante:**

- Tanto la señal interferente como la portadora son afectadas por la misma cantidad de desvanecimiento, este es el caso en que ambas viajan sobre el mismo trayecto.
- Los niveles absolutos de la señal deseada y la interferente pueden cambiar, pero la relación entre ambas se mantiene igual.

Efectos de la Interferencia

- El efecto de la interferencia en un sistema analógico es completamente diferente del de un sistema digital

Efecto en los RX analógicos



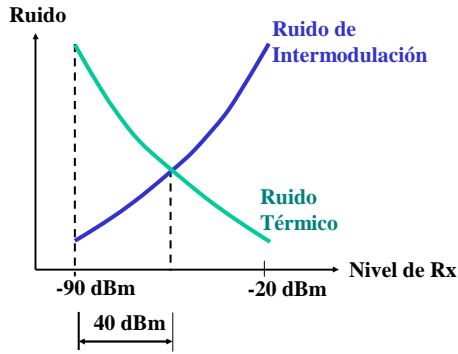
- La interferencia disminuye la S/N teniendo un efecto directo sobre la calidad
- Genera productos de Intermodulación (IMP) que degradan aún más la señal.
- Estos productos interfieren con la portadora y sus bandas laterales provocando la interferencia de batido de portadoras.
- Cuando las bandas laterales del canal adyacente se batan con las bandas laterales del canal principal, resulta en batido de bandas laterales

- Aumenta el límite inferior del ruido térmico del RX $P_n = KTB$
- El umbral del RX en dBm

$$P_T = S / N_{BB} + F_{dB} + N_i + KTB$$

Donde: S/N_{BB} es la S/N a la entrada del demodulador, F_{dB} ruido delantero del receptor y N_i ruido de la interferencia

Ruido en Sistemas Analógicos



Sist de Microondas

13

- La figura muestra el efecto de incremento de ruido debido al ruido térmico e intermodulación.
- El punto de cruce es el punto de operación deseado.
- La mayoría de los sistemas analógicos se diseñan para un margen de desvanecimiento (FM: Fade Margin) usualmente de 40 dB sin importar las condiciones del enlace.

Sist de Microondas

14

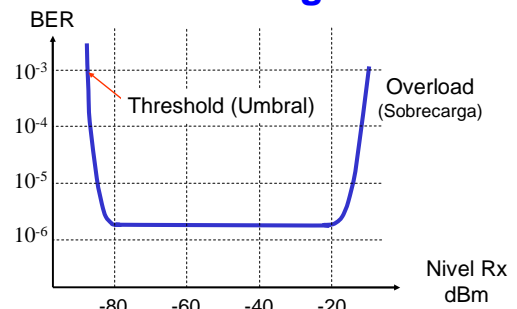
Efecto en los Rx digitales

- En condición de no-desvanecimiento, son muy robustos a la interferencia.
- Con desvanecimiento los niveles de Rx se acercan a los valores del umbral, cuando bajan más debajo de este nivel causan problemas en el proceso de demodulación.
- El efecto de la interferencia está en términos de la relación entre la señal deseada (portadora ó Carrier) y la no deseada (Interferencia) ó C/I

Sist de Microondas

15

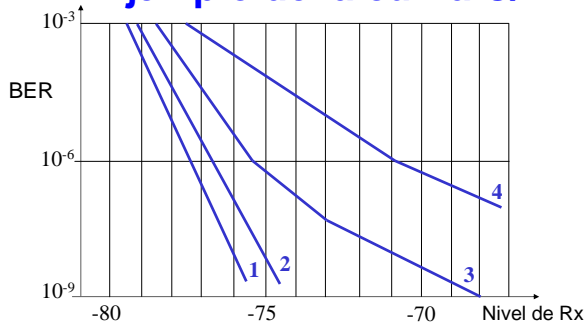
Efecto del "Threshold" en sistemas digitales



Sist de Microondas

16

Ejemplo de la curva C/I



- 1: Sin interferencia (C/I = ∞)
- 2: C/I = 30 dB
- 3: C/I = 27 dB
- 4: C/I = 24 dB

Sist de Microondas

17

Interferencia Co - Canal

- En digital la interferencia de bajo nivel tiene poco o ningún efecto en la calidad de la señal en la condición de no-desvanecimiento.
- El efecto en el BER es despreciable para pequeñas variaciones alrededor del nivel nominal de recepción
- Sólo cerca de la zona del umbral se tiene un efecto sobre la calidad

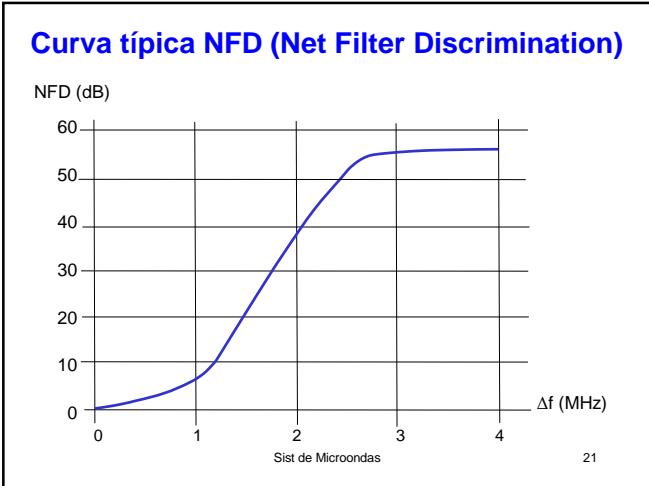
Sist de Microondas

18

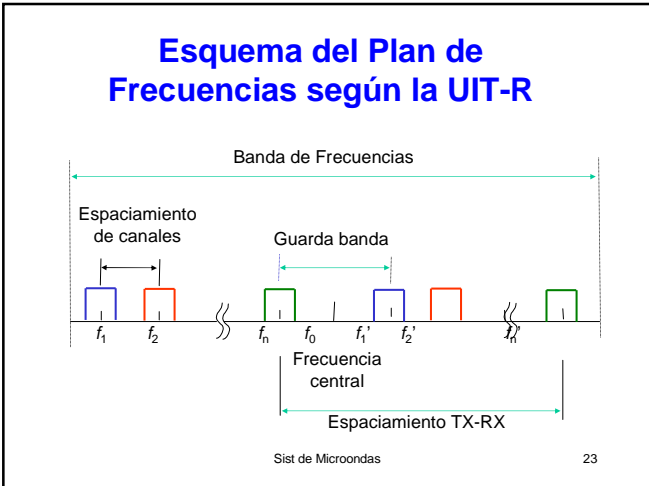
- La interferencia N_i se añade al límite inferior del ruido térmico del Rx, si el umbral sin interferencia es -100 dBm y la señal de interferencia tiene una amplitud (N_i) de -100 dBm, el umbral se degradaría en 3 dB, es decir un MF de 40 dB se degradaría sólo hasta 37 dB, lo cual tiene un rendimiento significativo en el rendimiento general del enlace
- Hay una cierta C/I_{\min} sobre la cual el BER es constante y debajo del cual la performance se hace inaceptable, depende mucho del esquema de modulación

- Un sistema PSK requiere sólo 15 dB, mientras que un sistema 128 QAM requiere al menos 30 dB.
- Se debe mantener esta relación incluso en una condición de desvanecimiento, lo que implica que la C/I debe ser mayor a la C/I_{\min} más un margen de desvanecimiento mínimo, calculado para cumplir el rendimiento deseado:

$$C/I = C/I_{\min} + FM_{\min}$$
- Los fabricantes de equipos proveen una serie de curvas que muestran las degradaciones del umbral para diversos valores de C/I .



- ### Canales de Radiofrecuencia
- Las recomendaciones de la ITU-R especifican:
 - Frecuencia central de la banda
 - Espaciamento entre frecuencias TX y RX
 - Espaciamento del canal adyacente
 - Co polarizada (Co-Pol)
 - Polarización cruzada (Cross-Pol)
 - El número de canales

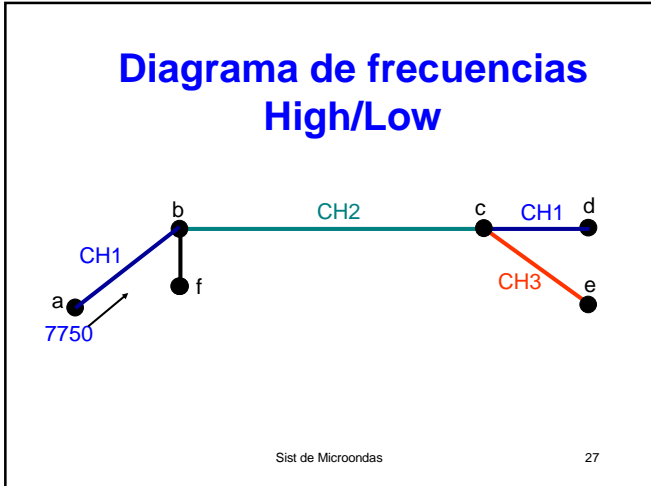


- ### Sitios A y B - Arreglos Hi/Lo
- Siempre se trabaja con pares de canales (ida y vuelta)
 - Los canales de ida transmiten en la mitad inferior del plan de frecuencias (Low) ó f_n donde n es el número del canal
 - Los canales de vuelta o retorno transmiten en la porción superior de la banda (High), se les designa como f_n'

- Se debe maximizar la separación de frecuencias
- En un sitio problemático los canales deben escogerse entre los extremos de la banda.
- Ejemplo: Para un plan de 8 canales, sí en una dirección se usa el canal 1, se debe intentar usar el canal 8 en la otra dirección, de esta forma es espaciamiento T/R disminuye.

- Considerar el ejemplo de la fig. sgte. que representa una red de 5 saltos, asuma que las frecuencias de salto son las de la tabla:

Canal (CH)	Baja Frecuencia Low (MHz)	Alta Frecuencia High (MHz)
1	7750	8050
2	7780	8080
3	7810	8110

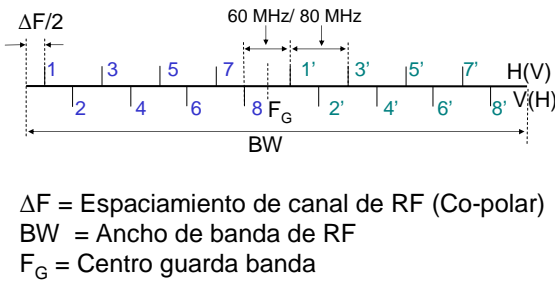


- El sitio **a** tiene una frecuencia de 7750 MHz es sitio bajo por lo tanto el sitio **b** es un sitio alto,
- de **b** → **a** transmitirá a 8050 MHz y
- de **b** → **c** a 8080 MHz , el sitio **c** deberá ser un sitio bajo y los sitios **d** y **e** altos, es decir
- **c** → **b** 7780 MHz , de **c** → **d** a 7750 MHz y **c** → **e** a 7810 MHz.

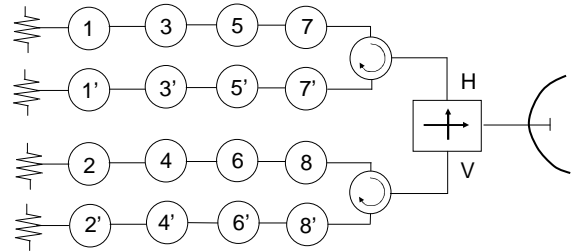
- Sí ahora el sito **f** se conecta con frecuencias 7400 y 7700 MHz necesitamos definir cual lado es **A** y cual **B**. Si el sitio **b** es un sitio **B** (alto) para el plan previo.
- Lo recomendable es que en el extremo **b** sea
 - $f_{TX} = 7400$ sitio **A** (bajo, de **b** → **f**) y
 - f** sitio alto $f_{TX} = 7700$ (de **f** → **b**)

- ### Polarización Alterna
- Se usan polarizaciones alternas con antenas de doble polaridad (dual polar)

Plan de doble polarización



Conexiones de antena

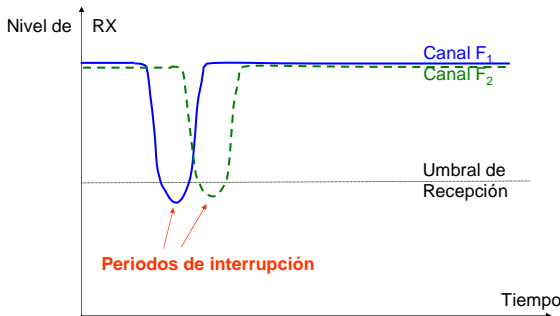


Diversidad de frecuencia

- Cuando se requiere canales de protección.
- Cuando hay actividad de desvanecimiento sobre el tramo, el efecto en una frecuencia es diferente del de la frecuencia adyacente debido a la diferencia de longitud de trayecto eléctrico entre ambas.

- Cuanto mayor sea la separación entre frecuencias la correlación será menor y mejorará el rendimiento respecto del desvanecimiento tipo Raleigh.

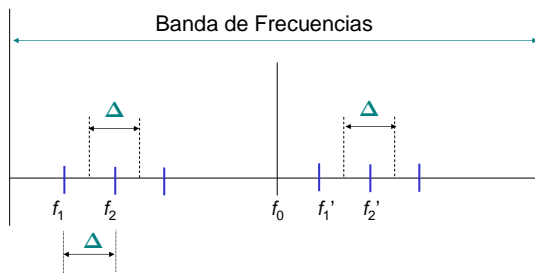
Mejora por uso de diversidad de frecuencia contra el desvanecimiento



Interpolación de Canales

- En algunos casos en los que el espaciamiento de canal excede el ancho de la portadora modulada, se puede interpolar canales adicionales en las "brechas" [gaps], tal como se muestra en la figura siguiente.
- Su aplicación está en los sitios nodales (nodos) ya que por lo general en esta condición los haces no son paralelos sino que tienen diferentes direcciones

Canales Intercalados



Sist de Microondas

37

Eficiencia Espectral (E)

- Es la relación entre la tasa de bits de información y el ancho de banda de RF
- Se define como:

$$E = \frac{N^{\circ} \text{ CH RF} \times \text{Max Bit Rate}}{\text{Mitad de banda de RF}}$$

- Dependiente del esquema de modulación empleado

Sist de Microondas

38

- **Ejemplo:** Ancho de banda 500 MHz, 8 pares de canales ida y vuelta, operando a 140 Mbps

$$E = 8 \times 140 / (500/2) = 4,48 \text{ bits/s/Hz}$$

Sist de Microondas

39

Re-uso de Frecuencias

- El re-uso de frecuencia se refiere a una situación en la que el mismo par de frecuencias se reutiliza en una ruta.
- Con la mira en una buena administración del espectro, al empezar el planeamiento de frecuencia uno debe partir de la presunción de que la frecuencia se puede reutilizar.

Sist de Microondas

40

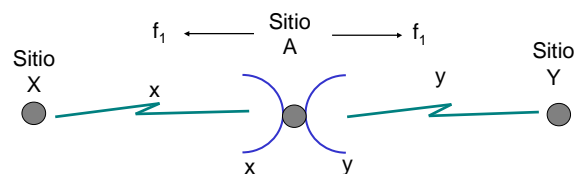
Plan de Dos Frecuencias (Un Par)

- El plan de re-uso más eficiente es aquel en el que sólo se usa un par de frecuencias en toda la ruta.
- Se necesita considerar la interferencia desde dos perspectivas:
 - la interferencia en el sitio repetidor (nodal) y
 - el problema en sitios muy alejados dentro de la ruta (overshoot).

Sist de Microondas

41

Plan de dos frecuencias (1 par)



Sist de Microondas

42

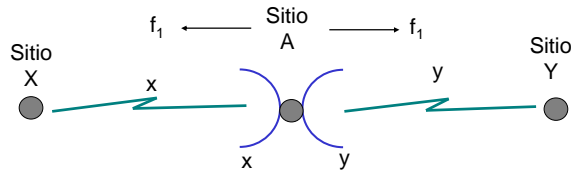
Interferencia Nodal

- Ocurre cuando hay dos enlaces en la misma frecuencia que transmiten en dos direcciones opuestas desde un mismo punto (nodo)
- Las antenas deben ser de alto rendimiento, con buena relación Front to Back (F/B)

Sist de Microondas

43

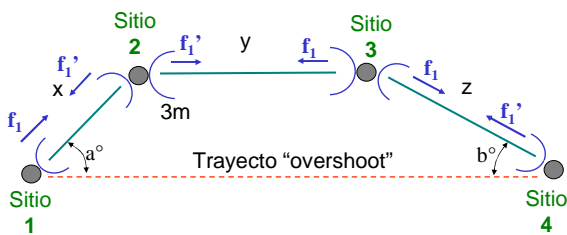
Ejemplo de interferencia nodal



Sist de Microondas

44

Interferencia tipo "overshoot"

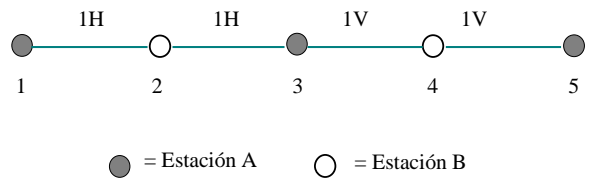


Overshoot: significa sobrepasarse o pasarse por encima del sitio de recepción deseado y caer en otro sitio de la misma red en otro sitio más distante.

Sist de Microondas

45

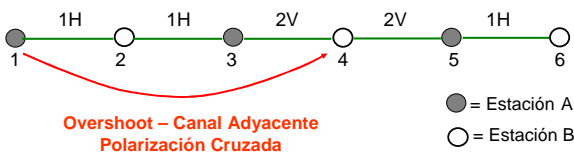
Plan de dos frecuencias Polarización cruzada (Cross-Pol)



Sist de Microondas

46

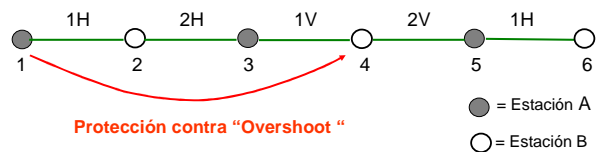
Plan de 4 frecuencias con Polarización alternada



Sist de Microondas

47

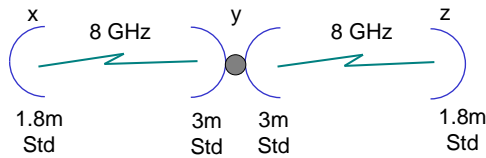
Plan de 4 frecuencias con frecuencias alternadas



Sist de Microondas

48

Ejemplo de interferencia nodal



Std: Antena Estándar

- El nivel de recepción nominal (Rx) en Y proveniente del TX X [TX(X)] es $C_{YX} = -40$ dBm.
- Asuma que el nivel nominal de Rx en Y proveniente del TX(Z) es $C_{YZ} = -45$ dBm.
- Asuma que las antenas en Y son ambas platos parabólicos estándares (STD) de 3 m de diámetro (8 GHz) con una relación F/B de 52 dB y ganancia de antena (A_{θ}) de 45 dBi.
- Asuma que las antenas en X y Z son ambas antenas parabólicas de un diámetro de 1,8 m STD (8 GHz) con una relación F/B de 48 dB y ganancia de antena (A_{θ}) de 40 dBi

- Asuma que el margen de desvanecimiento requerido para cumplir los objetivos de rendimiento es de 40 dB
- La relación C/I mínima requerida por el módem (C/I_{min}) es 15 dB.
- El objetivo de este problema “tipo” es determinar si se puede reutilizar el mismo par de frecuencias.
- En otras palabras, determinar si la frecuencia utilizada en el salto XY se puede reutilizar en el salto YZ.

- Primero considere el nivel de recepción en Y proveniente del transmisor X.
- El nivel de portadora C_{YX} se da como $C_{YX} \text{ (sin desvanecimiento)} = -40$ dBm.
- Por tanto el nivel en desvanecimiento se puede calcular utilizando.
- $C_{YX} \text{ (desvanecido)} = \text{Nivel de recepción nominal} - \text{margen de desvanecimiento}$
 $= -40 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} \quad (7.9)$
 $= -80 \text{ dBm}$
- La señal interferente en Y causado por Z (I_{YZ}) puede derivarse $I_{YZ} = C_{YZ} - F/B \text{ (antena Y a X)}$
 $= -45 \text{ dBm} - 52 \text{ dB} \quad (7.10)$
 $= -97 \text{ dBm}$

- Utilizando los resultados de (7.9) y (7.10), la relación portadora (C_{YX}) a interferencia (I_{YZ}) se muestra por:

$$C/I \text{ (desvanecido)} = C_{YX} \text{ (desvanecido)} / I_{YZ}$$

$$= -80 - (-97 \text{ dBm}) \quad (7.11)$$

$$= 17 \text{ dB}$$

- En segundo lugar, considere el nivel de recepción en Y proveniente del transmisor en Z.
- El nivel de portadora C_{YZ} se da como $C_{YZ} \text{ (sin desvanecimiento)} = -45$ dBm.
- Utilizando (7.9) calculamos $C_{YZ} \text{ (desvanecido)}$:

$$C_{YZ} \text{ (desvanecido)} = -45 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} \quad (7.12)$$

$$= -85 \text{ dBm}$$

- La señal interferente en Y proveniente de X (I_{YX}) puede calcularse utilizando (7.10)

$$I_{YX} = C_{YX} - F/B \text{ (antena Y a Z)}$$

$$= -40 \text{ dBm} - 52 \text{ dB} \quad (7.13)$$

$$= -92 \text{ dBm}$$

- La relación portadora (C_{YZ}) a interferencia (I_{YX}) es:

$$C/I \text{ (con desvanecimiento)} = -85 - (-92 \text{ dBm}) \dots (7.14)$$

$$= 7 \text{ dB (insuficiente)}$$

- El resultado de (7.14) muestra que la interferencia es **inaceptablemente alta**.

- Para mejorar la situación primero intentemos balancear los niveles de recepción en Y.
- Primero, aumente el diámetro de la antena en el sitio Z a un plato de 3 m (la ganancia A_e se incrementa en 5 dB).
- El nivel de portadora sin desvanecimiento no cambia, puesto que $C_{YX} \text{ (sin desvanecimiento)} = -40 \text{ dBm}$.
- Utilizando (7.9) podemos calcular la portadora con desvanecimiento, luego

Sist de Microondas 55

- $C_{YX} \text{ (con desvanecimiento)} = -40 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} \quad (7.c)$
 $= -80 \text{ dBm}$
- Ahora considere la señal interferente en Y proveniente de Z. Luego C_{YZ} aumenta en 5 dB debido al plato de 3 m, por tanto $C_{YZ} = -40 \text{ dBm}$.
- Usando (7.10) calculamos el nuevo nivel de interferencia $I_{YZ} = C_{YZ} - F/B$ (antena Y a X)
 $= -40 \text{ dBm} - 52 \text{ dB} \quad (7.15)$
 $= -92 \text{ dBm}$
- La nueva relación portadora (C_{YX}) a interferencia (I_{YZ}) es:
 $C/I \text{ (con desvanecimiento)} = -80 - (-92 \text{ dBm}) \quad (7.16)$
 $= 12 \text{ dB (insuficiente)}$

Sist de Microondas 56

- El resultado de (7.16) muestra que la relación C/I es aún insuficiente puesto que se requiere un mínimo de 15 dB.
- Para determinar la interferencia del otro tramo, consideremos, de nuevo, el nivel de recepción en Y proveniente del transmisor en Z.
- El nivel de portadora ha aumentado a $C_{YZ} \text{ (sin desvanecimiento)}$ de -40 dBm , como se muestra en (7.15).

Sist de Microondas 57

- Usando (7.9) podemos derivar el nivel de portadora. Por tanto,
 $C_{YZ} \text{ (con desvanecimiento)} = -40 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} \quad (7.d)$
 $= -80 \text{ dBm}$
- La señal interferente en Y desde X es tal como es derivada de (7.13).
- Desde que, $I_{YX} = -92 \text{ dBm}$. La relación portadora (C_{YZ}) a interferencia (I_{YX}) es:
 $C/I \text{ (con desvanecimiento)} = -80 - (-92 \text{ dBm}) \quad (7.17)$
 $= 12 \text{ dB}$
(mejora, pero aún insuficiente)

Sist de Microondas 58

- Esto ha balanceado las relaciones C/I [compare los resultados de (7.16) y (7.17)] con interferencia en Y desde X, muy mejorada (de 7 dB a 12 dB), pero aún no es lo suficientemente bueno.
- Usualmente se cree que el balance de los niveles de recepción es la panacea para todos los problemas de planificación de frecuencia, pero el ejemplo precedente nos muestra que no soluciona todos los problemas.

Sist de Microondas 59

- Le popularidad de este método se debe principalmente a que simplifica los cálculos.
- En el aspecto negativo, puede conducir a antenas mucho más grandes que las que se requerirían con una perspectiva de desvanecimiento, que influye dramáticamente en los costos del proyecto.

Sist de Microondas 60

- Ahora mejoremos la situación utilizando la configuración original y cambiando únicamente la antena Y en la dirección Z con una antena de alto rendimiento de 3 m, con un F/B de 70 dB y la misma ganancia (45 dBi).
- El nivel de recepción en Y proveniente del transmisor X y la señal interferente en Y proveniente de Z se mantienen sin cambios como se obtuvieron en (7.11).

Sist de Microondas 61

- La portadora (C_{YX}) a interferencia (I_{YZ}) es:
- C/I (con desvanecimiento) = $-80 - (-97 \text{ dBm}) = 17 \text{ dB}$ (7.e)
- El nivel de recepción en Y proveniente del transmisor en Z se mantiene sin cambios utilizando (7.12), por tanto
- C_{YZ} (con desvanecimiento) = $-45 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} = -85 \text{ dBm}$ (7.f)

Sist de Microondas 62

- Ahora consideremos la señal interferente en Y desde X, con el plato de alto rendimiento, utilizando (7.13):

$$I_{YX} = C_{YX} - F/B \text{ (antena de alto rendimiento en Y hacia Z)}$$

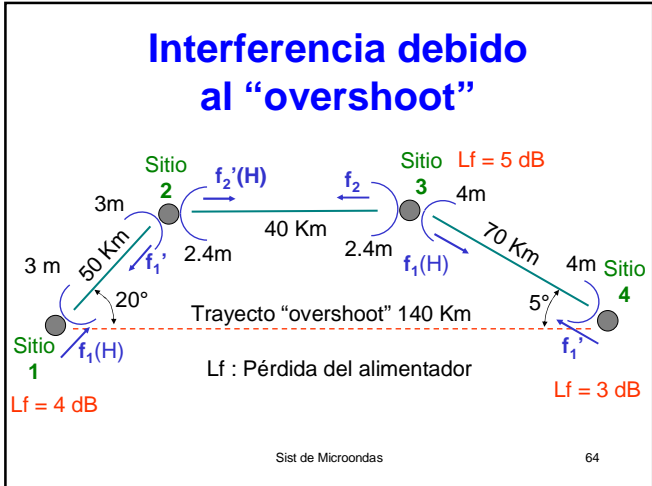
$$= -40 \text{ dBm} - 70 \text{ dB} = -110 \text{ dBm} \quad (7.g)$$

- La relación de portadora (C_{YZ}) a interferencia (I_{YX}) con el plato parabólico de alto rendimiento es entonces:

$$C/I \text{ (con desvanec)} = -85 - (-110 \text{ dBm}) = 25 \text{ dB} \quad (7.h)$$

- Esta una gran mejora dentro del requerimiento de 15 dB, lo cual prueba que el mejor enfoque ante los problemas de interferencia es el uso de antenas de alto rendimiento.

Sist de Microondas 63



- La potencia de salida de transmisión es +30 dBm, el umbral del receptor es de -80 dBm, y la C/I_{\min} es 15 dB.
- Todas las antenas son de rejilla.
- Se dan RPEs (Patrones de Radiación) típicos para platos parabólicos de 3 m y 4 m en las Figuras 7.18 y 7.19.
- Determinar la relación C/I sin desvanecimiento en el sitio 4 en la entrada al cable de alimentación detrás del plato.

Sist de Microondas 65

- En segundo lugar, analizar el efecto de desvanecimiento en 30 dB en el salto 3-4
- Finalmente, asuma que desea duplicar la capacidad del salto 3-4 sin cambiar equipamiento o bandas de frecuencia.
- Decida si reemplaza las antenas de rejilla por platos sólidos con alimentación dual (doble polarización).
- Asuma los mismos parámetros eléctricos (para los fines de este ejemplo)
- Determine la relación C/I en el sitio 4, ignore cualquier overshoot desde los otros sitios.

Sist de Microondas 66

- El nivel de portadora de recepción (sin desvanecimiento) en el sitio 4 (C_{RX4}) se puede expresar como:

$$C_{RX4} \text{ (sin desvanecimiento)} = TX_3 - L_3 + A_{e3}(0^\circ) - FSL_{(70 \text{ km})} + A_{e4}(0^\circ) \dots (7.18)$$

Donde:
 TX_3 es la potencia de transmisión en el sitio 3,
 L_3 es la pérdida del alimentador en el sitio 3,
 $A_{e3}(0^\circ)$ es la ganancia de la antena en el sitio 3 en el eje de la antena,

Sist de Microondas 67

- $A_{e4}(0^\circ)$ es la ganancia de antena en el sitio 4 en el eje de la antena,
- FSL es la pérdida de espacio libre ($FSL = 92,4 \text{ dB} + 20 \log f_{\text{GHz}} + 20 \log d_{\text{km}}$).
- Utilizando los valores del 1er Problema Tipo (Tutorial) en (7.18) se obtiene:
- $C_{RX4} = +30 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} + 35,4 \text{ dBi} - 134,4 + 35,4 \text{ dBi} (7.i)$
 $= - 38,6 \text{ dBm (sin desvanecimiento)}$

Sist de Microondas 68

- El nivel de interferencia en el sitio 4 (I_{RX4}) puede expresarse como:

$$I_{RX4} = TX_1 - L_1 + A_{e1}(20^\circ)_{CO} - FSL_{(140 \text{ Km})} + A_{e4}(5^\circ)_{CO} \dots (7.19)$$

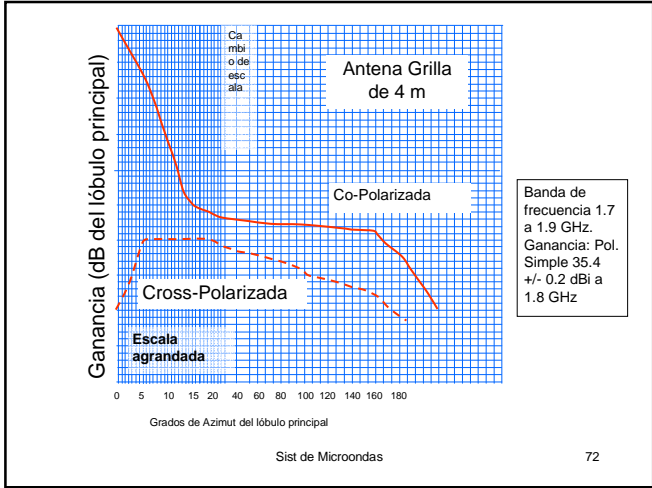
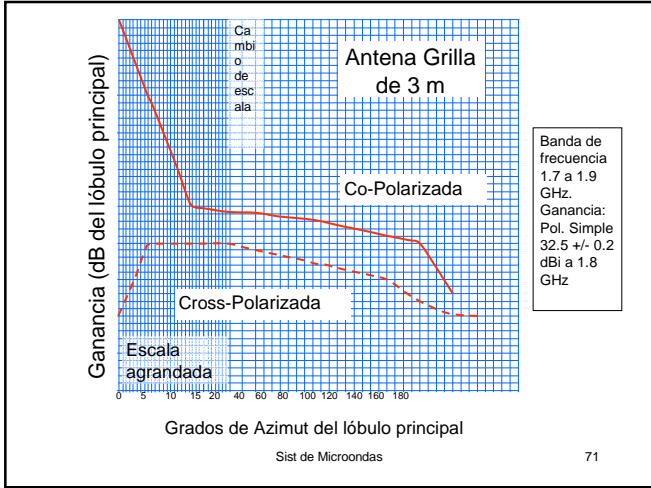
donde
 TX_1 es la potencia de salida de transmisión en el sitio 1;
 L_1 es la pérdida del alimentador en el sitio 1;
 $A_{e1}(20^\circ)$ es la ganancia de antena en el sitio 1, a 20° fuera del eje de la antena, en copolar;
 $A_{e4}(5^\circ)$ es la ganancia de antena en el sitio 4, a 5° fuera del eje de la antena, en copolar; y
 $FSL = 92,4 \text{ dB} + 20 \log f_{\text{GHz}} + 20 \log d_{\text{km}}$.

- Utilizando los valores del tutorial en (7.19) se obtiene
 $I_{RX4} = 30 \text{ dBm} - 4 + (32,5 - 26) - 140,4 + (35,4 - 9) (7.j)$
 $= - 81,5 \text{ dBm}$

Sist de Microondas 69

- La relación portadora (C_{RX4}) a interferencia (I_{RX4}) (copolar) en una condición sin desvanecimiento es:
 $C/I_{CO} = - 38,6 - (- 81,5) = 42,9 \text{ dB} (7.k)$
- Si el salto 3-4 se desvanece en 30 dB, el nivel de recepción de portadora en 4 sería
 $C_{RX4} = - 38,6 \text{ dBm (sin desvanec)} - 30 \text{ dB} (7.20)$
 $= - 68,6 \text{ dBm (con desvanecimiento)}$

Sist de Microondas 70



- La relación de portadora copolar (C_{RX4}) a interferencia (I_{RX4}) con desvanecimiento es C/I_{CO} (con desvanecimiento) = $-68,6 - (-81,5)$ (7.m) = $12,9$ dB (insuficiente)
- Esto es menor que 15 dB, lo cual es insuficiente.
- Para mejorarlo, necesitamos cambiar la polarización. Reasignamos el salto 3-4 a polarización vertical.
- El nivel deseado de portadora en 4, en una condición de desvanecimiento no cambia, como lo muestra (7.20), por lo tanto:

Sist de Microondas 73

- $C_{RX4} = -68,6$ dBm (con desvanecimiento) (7.n)
- El nivel de interferencia en el sitio 4 (I_{RX4}) puede expresarse ahora como la suma de los componentes horizontales y verticales:
- $I_{RX4} = 10 \log [I_{RX4}^{(H)/10}] + 10 \log [I_{RX4}^{(V)/10}]$ (7.21)
- Cada uno (H/V) puede expresarse como:
 $I_{RX4} (H/V) = TX_1 - L_1 + A_{e1}(20^\circ)_{CO/XPOL} - FSL_{(140 \text{ km})} + A_{e4}(5^\circ)_{XPOL/CO}$ (7.22)

Sist de Microondas 74

- Donde:
 TX_1 es la potencia de salida de transmisión en el sitio 1,
 L_1 es la pérdida de alimentación en el sitio 1,
 $A_{e1}(20^\circ)_{CO/XPOL}$ = Ganancia antena (sitio 1) @ 20° – Copolar/cruzada
 = Ganancia de antena (0°) – Discriminación de antena (20°) (7.0a)
 lo cual se lee a partir de las curvas del patrón de radiación de la antena (RPE),

Sist de Microondas 75

- $A_{e4}(5^\circ)_{XPOL/CO}$ = Ganancia de antena (sitio 4) @ 5° – Cruzada/copolar
 = Ganancia de antena (0°) – Discriminación de antena (5°) (7.0b)
 que también se lee de las curvas de antena RPE, y
 $FSL = 92,4 \text{ dB} + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log d_{(km)}$ (7.0c)

Sist de Microondas 76

- Utilizando (7.22) podemos derivar la componente horizontal de la interferencia en el sitio 4
 $I_{RX4} (H) = TX_1 - L_1 + A_{e1}(20^\circ)_{CO} - FSL_{(140 \text{ km})} + A_{e4}(5^\circ)_{XPOL}$
 $= +30\text{dBm} - 4 + (32,5 - 26) - 140,4 + (35,4 - 30)$ (7.23)
 $= -102,5 \text{ dBm}$
- Utilizando (7.22) también podemos derivar el componente vertical de la interferencia en el sitio 4

Sist de Microondas 77

- $I_{RX4} (V) = TX_1 - L_1 + A_{e1}(20^\circ)_{XPOL} - FSL_{(140 \text{ km})} + A_{e4}(5^\circ)_{CO}$
 $= +30\text{dBm} - 4 + (32,5 - 31) - 140,4 + (35,4 - 9)$ (7.24)
 $= -86,39 \text{ dBm}$
- La interferencia total es la suma de las dos I_{RX4} (H) e I_{RX4} (V)
 $I_{RX4} = 10 \times \log(10^{-86,5/10} + 10^{-102,5/10})$ (7.25)
 $= -86,39 \text{ dBm}$
- Como puede verse, la interferencia total se determina por la componente vertical (en comparación la horizontal es despreciable).

Sist de Microondas 78

- La C/I total es la relación de la portadora (C_{RX4}) y la interferencia (I_{RX4}), luego

$$C/I = -68,6 - (-86,39 \text{ dB}) \quad (7.p)$$

$$= 17,8 \text{ dB}$$
- Se puede ver que haciendo que el enlace sea de polarización cruzada, la interferencia es ahora aceptable porque C/I está sobre el requerimiento mínimo de 15 dB para este equipamiento.
- Note, sin embargo, que la máxima protección con polarización cruzada ocurre en eje de la antena y se deteriora progresivamente hasta que virtualmente desaparece en la parte posterior de la antena.

Sist de Microondas 79

- La parte final de este ejemplo es evaluar el efecto de duplicar la capacidad cambiando las antenas de rejilla por platos parabólicos sólidos de polarización dual y utilizando ambas polarizaciones.
- El nivel de portadora se mantiene igual para ambas polarizaciones, luego

$$C_{RX4} \text{ (sin desvanecimiento)} = -38,6 \text{ dBm} \quad (7.q)$$

$$C_{RX4} \text{ (con desvanecimiento)} = -68,6 \text{ dBm}$$

Sist de Microondas 80

- La interferencia en el receptor C_{RX4} (H y V) desde la portadora polarizada opuestamente, es apenas atenuada por la discriminación de polarización cruzada de la antena

$$I = C_{\text{(sin desvanecimiento)}} - XPD$$

$$= C_{\text{(sin desvanecimiento)}} - 40 \quad (7.26)$$

$$= -38,6 \text{ dBm} - 40 \text{ dB}$$

$$= -78,6 \text{ dBm}$$
- La relación portadora (C_{RX4}) a interferencia (I) es entonces sólo el valor de la discriminación de polarización cruzada

$$C/I \text{ (sin desvanecimiento)} = 40 \text{ dB} = XPD \quad (7.r)$$
 Incluyendo el desvanecimiento,

Sist de Microondas 81

$$I = C_{\text{(sin desvanecimiento)}} - \text{margen de desvanecimiento} - XPD$$

$$= C_{\text{(con desvanecimiento)}} - 40 \text{ dB} \quad (7.27)$$

$$= -68,6 \text{ dBm} - 40 \text{ dB}$$

- La relación C/I en una condición de desvanecimiento es

$$C/I = C_{\text{(con desvanecimiento)}} - I$$

$$= C_{\text{(con desvanecimiento)}} - [C_{\text{(con desvanecimiento)}} - 40 \text{ dB}] \dots (7.s)$$

$$= 40 \text{ dB}$$

Sist de Microondas 82

- La C/I es entonces aún 40 dB, que es el valor de la XPD. Se puede ver que en ambos casos la relación C/I es igual a la XPD de la antena.
- Puesto que el trayecto de interferencia está sobre el mismo salto que la portadora, el nivel de desvanecimiento es el mismo.
- El único efecto del desvanecimiento es rotar ligeramente las portadoras, degradando por tanto la XPD.
- Los equipos modernos emplean XPICs (Cross-Polarization Interference Cancellation ó Cancelación de Interferencia por Polarización Cruzada) para reducir este efecto.

Sist de Microondas 83

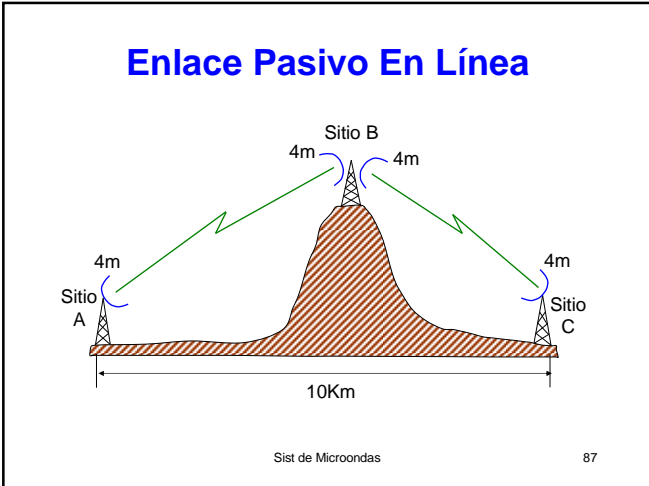
Interferencia Back-to-Back

la XPD es 30 dB. El primer trayecto (deseado) es el trayecto a través del sistema de antena back-to-back. Experimenta dos FSL, menos la ganancia de antena back-to-back. Típicamente la pérdida de inserción total es de 10 a 20 dB más que la FSL de extremo a extremo del trayecto.

Sist de Microondas 84

- El trayecto de overshoot (no deseado) experimenta la *FSL* de extremo a extremo, más la pérdida por difracción, más la pérdida de *XPD* (30 dB).
- Si la pérdida de difracción es pequeña, esto significa que la *C/I* es sólo de 10 a 20 dB, la cual en muchos casos es inadecuada.
- El intentar reducir la interferencia de overshoot quitando el sitio pasivo del trayecto directo introduce nuevos problemas.
- Primero, resulta en un incremento de la longitud de trayecto.

- Esto aumenta la *FSL*, las cuales ya son muy altas.
- Segundo, aunque uno obtiene discriminación de lóbulo lateral en las antenas, la *XPD* se reduce dramáticamente.
- En balance, a pesar de los problemas asociados con colocar un repetidor pasivo fuera del trayecto directo, esta es la solución preferida.
- Esto será demostrado detalladamente en el siguiente ejemplo.



- El sitio pasivo se ha escogido en línea para minimizar las longitudes de salto y maximizar la *XPD* en las antenas de los extremos del trayecto.
- Asuma que la distancia de extremo a extremo es de 10 km y que el repetidor pasivo está centrado en medio del trayecto.
- Asuma que no hay línea de vista (*LOS Line Of Sight*) entre los puntos de extremo.
- Además, asuma que el enlace opera a 2 GHz, se utilizan antenas de tamaño máximo (4 m) con ganancia de 35,4 dBi.

- La *XPD* en el eje de la antena es de 30 dB.
- En la Figura anterior se muestra una vista lateral del esquema del trayecto.
- Considere la situación desde el Sitio A al Sitio C. Se puede calcular la *FSL* a partir de (7.8).
- Las *FSL* general sobre el trayecto A-C, utilizando (7.8), son entonces

$$FSL_{AC} (10 \text{ km}) = 118,4 \text{ dB} \quad (7.t)$$
- La *FSL* sobre los dos trayectos pasivos es, usando (7.8),

$$FSL_{AB} (5 \text{ km}) = FSL_{BC} = 112,4 \text{ dB} \quad (7.u)$$

- Los parámetros comunes no necesitan ser considerados en los cálculos de *C/I*.
- Por tanto, la potencia de transmisión es irrelevante.
- La señal de recepción deseada en C, ignorando parámetros comunes, es:

$$C = A_e \times 4 - (FSL_{AB} + FSL_{BC})$$

$$= 35,4 \text{ dBi} \times 4 - (FSL_{AB} + FSL_{BC}) \quad (7.28)$$

$$= -83,2$$
- El nivel de interferencia en C puede derivarse de

$$I_C = 10 \log [I_C^{(H)}/10] + 10 \log [I_C^{(V)}/10] \quad (7.29)$$

- Cada una (H/V) puede expresarse como:

$$I_C(V/H) = A_A(0^\circ)_{CO/XPOL} - FSL_{AC}(10\text{ km}) - DL + A_C(0^\circ)_{XPOL/CO} \quad (7.30)$$
 donde DL denota la pérdida de difracción.
- La componente vertical de la interferencia en el Sitio C puede derivarse de (7.30) como sigue:

$$I_C(V) = A_A(0^\circ)_{CO} - FSL_{AC}(10\text{ km}) - DL + A_C(0^\circ)_{XPOL}$$

$$= (35,4) - 118,4 - DL + (35,4 - 30) \quad (7.31)$$

$$= -77,6 - DL$$

Sist de Microondas 91

- La componente horizontal de la interferencia en el Sitio C puede derivarse de (7.30)

$$I_C(H) = (35,4 - 30) - 118,4 - DL + 35,4 \quad (7.32)$$

$$= -77,6 - DL$$
- La interferencia total es por tanto la suma de las componentes horizontal y vertical

$$I_C = 10 \times \log(10^{(-77,6-DL)/10} + 10^{(-77,6-DL)/10}) \quad (7.33)$$

$$= -74,6 - DL$$
- La relación portadora (C) a interferencia (I) es por tanto:

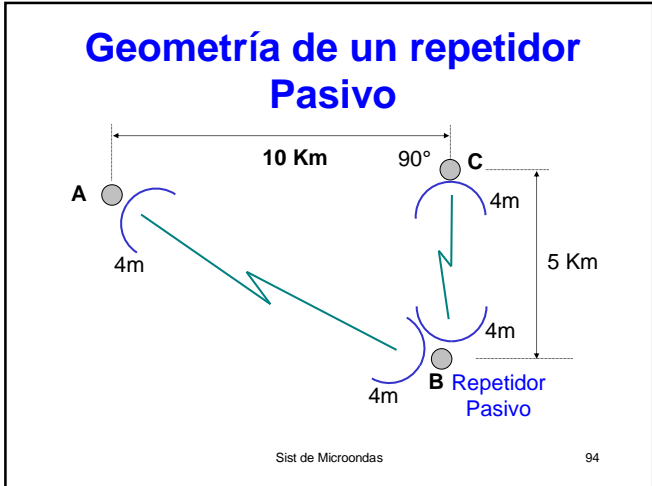
$$C/I = -83,2 - (-74,6 - DL) \quad (7.v)$$

$$= -8,6 + DL$$

Sist de Microondas 92

- Alcanzar una C/I_{min} de 30 dB implica que se requiere cerca de 40 dB de pérdida por difracción.
- Esto también se requiere para un valor alto de k , tal como 5 en lugar del tradicional 2/3.
- Para alcanzar esto, el trayecto debe estar completamente bloqueado.
- También se puede ver que los 30 dB del XPD no tiene efecto en la C/I .

Sist de Microondas 93



Enlace Pasivo Ortogonal

- $FSL_{AC}(10\text{Km}) = 118.4\text{ dB}$
- $FSL_{AB}(11.2\text{Km}) = 119.4\text{ dB}$
- $FSL_{BC}(5\text{Km}) = 112.4\text{ dB}$
- La señal deseada en C:
 $C = 32.4\text{ dBi} \times 4 - (FSL_{AB} + FSL_{BC})$
 $C = 119.4 - (119.4 + 112.4) = -90.2$
- La interferencia en C:

$$I_C(V/H) = A_A(27^\circ)_{CO/XPOL} - FSL_{AC}(10\text{Km}) - DL + A_C(90^\circ)_{XPOL/CO} \quad \dots (7-34)$$

Sist de Microondas 95

- DL es la pérdida por difracción
- $I_C(V) = A_A(27^\circ)_{CO} - FSL_{AC}(10\text{Km}) - DL + A_C(90^\circ)_{XPOL}$
- De las figuras se obtienen las discriminaciones de antenas CO y XPOL

$$I_C(V) = (35.4 - 25.7) - 118.4 - DL + (35.4 - 37)$$

$$I_C(V) = -112.1 - DL$$
- $I_C(H) = (35.4 - 37) - 118.4 - DL + (35.4 - 37)$
- La Interferencia total es la suma de las componentes H y V

Sist de Microondas 96

- $I_C = 10 \times \log [10^{(-112.1-DL)/10} + 10^{(-112.1-DL)/10}]$
 $I_C = -109 - DL$
- La relación entre la portadora (C) y la interferencia (I) es:
 $C/I = -90.2 - (-119 - DL) = 18.8 + DL$
- Lograr una C/I_{\min} de 30 dB implica que se requiere más de 10 dB de pérdida de difracción para un valor alto de k , como 5; la situación ha mejorado pero el trayecto aún debe estar completamente bloqueado

Sist de Microondas 97

Consideraciones sobre las antenas

- La elección de la antena es crítica en el análisis de interferencia en las rutas de microondas.
- Para el re-uso de frecuencia el parámetro crítico es la relación F/B , y para protección de overshoot son importantes los aspectos de discriminación de lóbulo lateral y discriminación de polarización cruzada.
- La relación F/B se define como la relación de la ganancia en al dirección deseada respecto y ganancia en la dirección opuesta en la parte posterior de la antena.

Sist de Microondas 98

- Las antenas de alto rendimiento tienen relaciones F/B excelentes, típicamente entre 10 a 20 dB más que las antenas estándares.
- Sin embargo, las antenas de alto rendimiento son significativamente más costosas, y añaden complejidad y costo en su instalación.
- También puede necesitarse que las torres sean más fuertes para soportar el peso adicional y resistencia que puedan presentar al viento.
- Por tanto los requerimientos de reuso de frecuencia deben balancearse con los otros requerimientos del proyecto.

Sist de Microondas 99

Productos de Intermodulación

- Un problema adicional de interferencia que es significativo en frecuencias de VHF y UHF es causado por los productos de intermodulación ó IMPs.
- A dos frecuencias a las que se les permita mezclarse (batirse) en un dispositivo no lineal, generarán un conjunto adicional de frecuencias.
- Estas frecuencias adicionales son denominadas IMPs.
- Si estos productos caen dentro del paso de banda del receptor, existe un problema de IMP.

Sist de Microondas 100

- Existen causas internas a los equipos TX y RX y externas tales como torres o cercas oxidadas
- Si uno mezcla (modula) una frecuencia (A) con otra (B), se producen bandas laterales inferiores y superiores: $nA + mB$ y $nA - mB$.
- Ejemplos de esto son:
 $A + B, A - B, 2A + B, 2A - B$.
- El orden de estos productos está determinado por $n + m$.
- Por tanto, si $n + m = 2$, son de segundo orden, y si $n + m = 3$, de tercer orden.

Sist de Microondas 101



Muchas gracias por su atención



UNI FIEE
Lima Perú

Sist de Microondas 102