



## Planificación del Enlace

### Capítulo 2

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

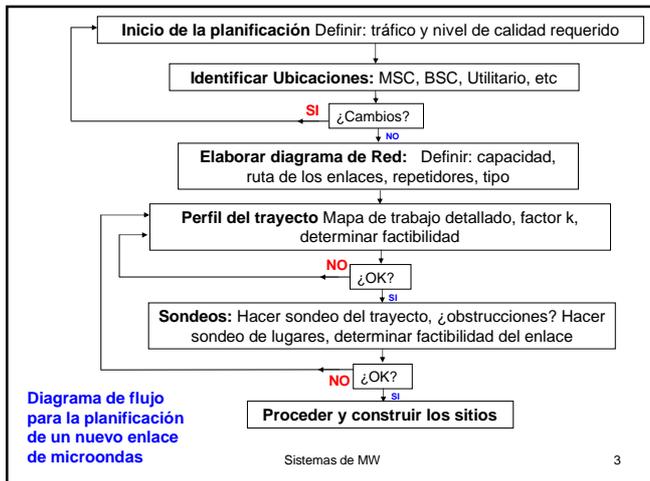
2010-2

## Introducción

- Planificación completa (detallada)
- La inversión en una red de  $\mu O$  es significativa
- Margen de error debe ser muy pequeño
- Es un proceso iterativo y varía según la instalación
- Son distintas para zonas urbanas y rurales
- Se debe identificar claramente cada paso

Sistemas de MW

2



3

## Trabajos Previos

- Plantear los problemas que pudiesen encontrarse
- Especificar los servicios y anchos de banda involucrados
- Especificar los objetivos de calidad
- Optimizar según los requerimientos
- La red troncal debe transportar los circuitos con la mayor calidad posible

Sistemas de MW

4

## Planificación inicial

- Determinar la topología inicial de la red
- Debe definirse las ubicaciones iniciales y finales del cliente así como las intermedias
- Trabajar sobre el diagrama inicial con las conexiones de circuitos y capacidad de tráfico (proceso iterativo)
- Capacidad de la red y tipo de equipos  $\mu O$

Sistemas de MW

5

## Ubicaciones

- Las ubicaciones de los enlaces deber ser lo más precisas posibles, ya que la "claridad" del trayecto del enlace, es crítico
- Tolerancia pequeña (+/- 2m)
- Usar GPS
  - Coordenadas cartesianas WGS-84
  - Coordenadas UTM

Sistemas de MW

6

## GPS

- Consiste en 24 satélites sub sincrónicos.
- Pertenece al Dpto. de Defensa de USA.
- Por lo menos 3 satélites deben "ver" al terminal de tierra (para triangulación), los satélites adicionales son para corrección de errores e incrementar la precisión.
- Diseñado inicialmente para aplicaciones militares.
- Se ha difundido su uso en la vida civil.

Sistemas de MW

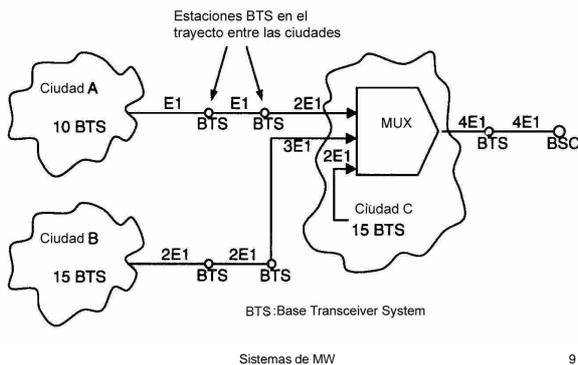
7

- Se pueden emplear data obtenida de marcadores topográficos, con ayuda de un topógrafo y su teodolito y de mapas topográficos.
- Otros datos son las ubicaciones exactas de los edificios y de todas las facilidades disponibles.
- El análisis del perfil del trayecto sólo tiene sentido si los datos sobre las ubicaciones son exactos.

Sistemas de MW

8

## Diagrama de la Red



Sistemas de MW

9

## Trabajos Iniciales

- Hacer el diagrama de la red, considerando línea de vista en todos los enlaces.
- De existir obstáculos en alguna ruta deberá estudiarse la posibilidad del uso de repetidores.
- Los saltos de preferencia no deben ser mayores a 50 Km.
- Se debe asegurar que la confiabilidad del sistema este balanceada con los costos

Sistemas de MW

10

- Los levantamientos topográficos son tridimensionales y utilizan técnicas de levantamiento geodésico plano y otras especiales para establecer un control tanto vertical como horizontal.
- La configuración del terreno y de los elementos artificiales o naturales que hay en él se localizan a través de medidas que se representan en una hoja plana para configurar un mapa topográfico.
- Las curvas de nivel, que unen puntos de igual altitud, se utilizan para representar las altitudes en cualquiera de los diferentes intervalos medidos en metros.

Sistemas de MW

11

## Mapas topográficos

- Permiten conocer la topografía del terreno a través de sombreados, curvas de nivel normales u otros sistemas de representación gráfica.
- Asimismo señalan localizaciones generales, límites administrativos y las características especiales de un área.

Sistemas de MW

12

- En la leyenda de cada mapa se indican la escala y los símbolos específicos (ferrocarril, escuelas, carreteras y puentes) que se emplean en él.
- Generalmente, el color verde indica la presencia de vegetación, mientras que el blanco se emplea para su ausencia.
- Una serie de isolíneas (Curvas de nivel) o líneas color sepia que unen puntos del mismo valor (en este caso la misma altitud) nos muestran el relieve, por ejemplo las montañas, colinas o valles.
- Las líneas muy juntas indican que el terreno es muy escarpado. Si, por el contrario, están muy separadas, significa poca diferencia en altitud.

Sistemas de MW

13

## Perfil Topográfico ó Corte Topográfico

- Perfil o corte del relieve del terreno que se obtiene cortando transversalmente las líneas de un mapa de curvas de nivel.
- Se dibuja generalmente en la misma escala horizontal que el mapa, pero la utilización de una escala vertical realzada o exagerada es aconsejable para subrayar los elementos del relieve.
- Esto puede variar según la inclinación y amplitud del relieve, pero suele ser de tres a cinco veces la escala horizontal.

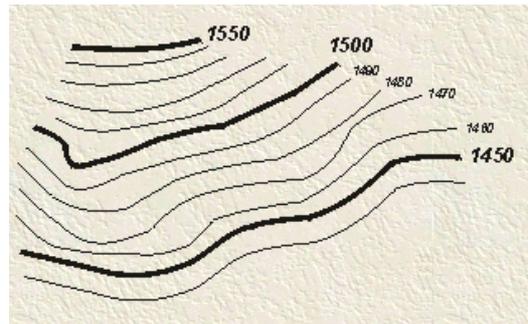
Sistemas de MW

14

- Una serie de perfiles paralelos, tomados a intervalos regulares en un mapa, puede combinarse para proporcionar una visión tridimensional más completa del área que aparece en el mapa.
- Se realizan modelos tridimensionales más sofisticados del paisaje a partir de datos digitales del terreno por informática.
- A veces se incluyen perfiles topográficos escogidos en los mapas impresos, como los que se diseñan, para los mapas geológicos.

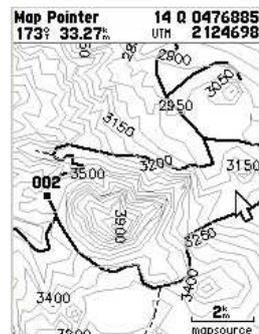
Sistemas de MW

15



Sistemas de MW

16



Sistemas de MW

17

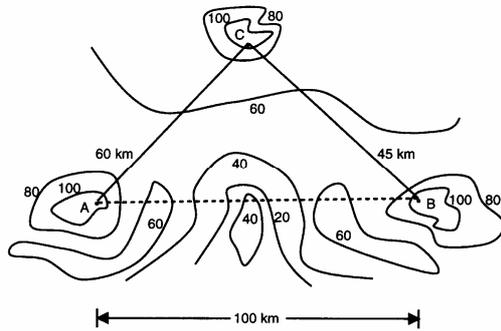
## Infraestructura existente y Ubicación de los repetidores

- Se debe trazar en un mapa topográfico las ubicaciones seleccionadas (escala de 1:100,000), luego pueden trazarse las ubicaciones intermedias.
- Es útil conseguir si es posible información de otro operador que este en la misma ruta.
- Para enlaces urbanos pueden usarse fotografías de mapas tridimensionales o mapas topográficos en escala de 1:10,000.

Sistemas de MW

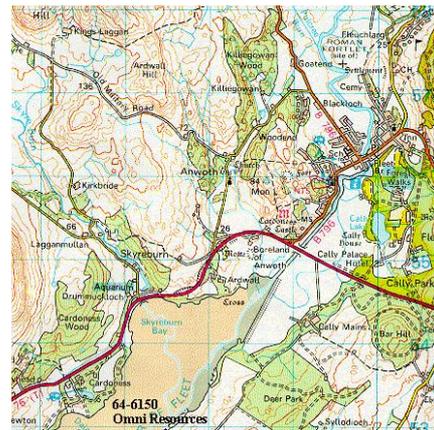
18

### Mapas topográficos



Sistemas de MW

19



Sistemas de MW

20

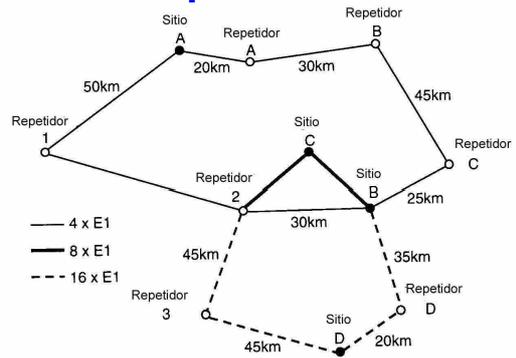
### Modelo digital del terreno

- Es posible obtener planos digitalizados del terreno por donde va a pasar el enlace.
- El poseer un software de calculo de enlaces hace la vida del diseñador más fácil.
- Es necesario tener en cuenta los otros aspectos del diseño e interpretar correctamente los resultados obtenidos con el software.

Sistemas de MW

21

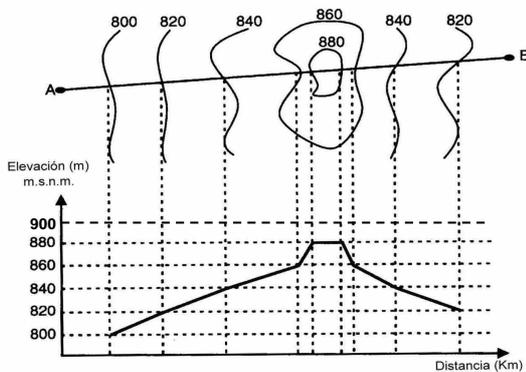
### Mapa de la ruta



Sistemas de MW

22

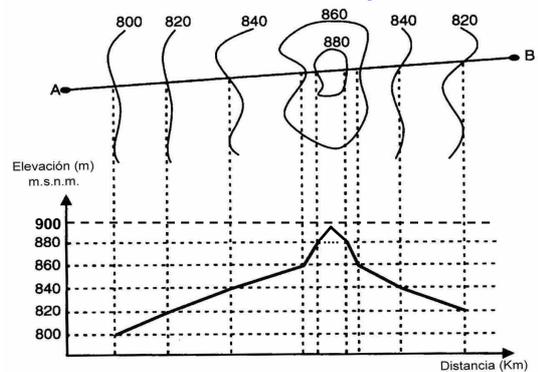
### Perfil del trayecto



Sistemas de MW

23

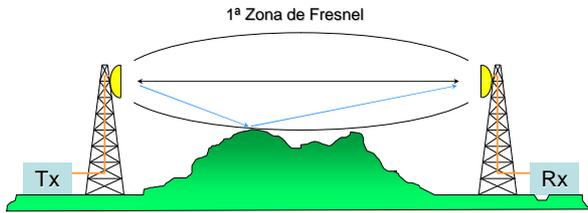
### Perfil del trayecto



Sistemas de MW

24

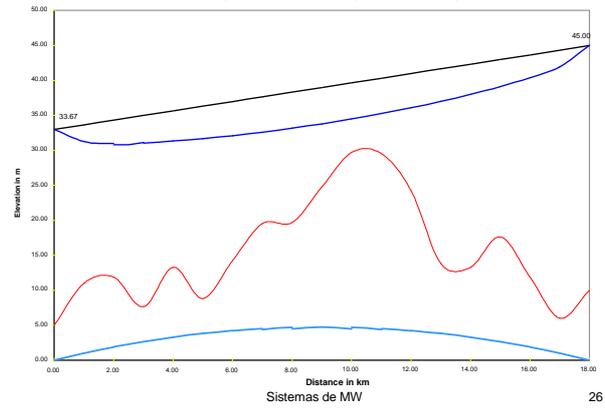
### Configuración Sistema Típico



Sistemas de MW

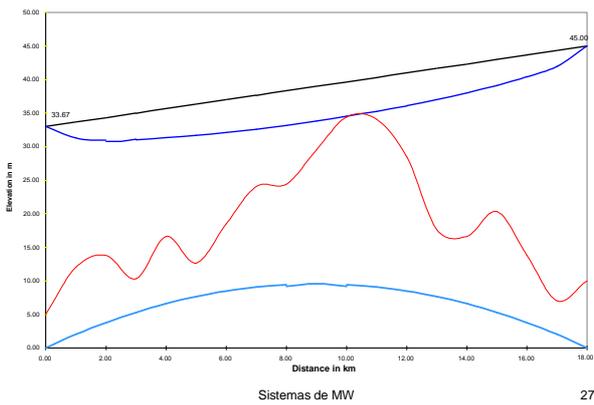
25

### Path Profile, 18 GHz, 0.6F1, K = 4/3



26

### Path Profile, 18 GHz, 0.6F1, K = 2/3



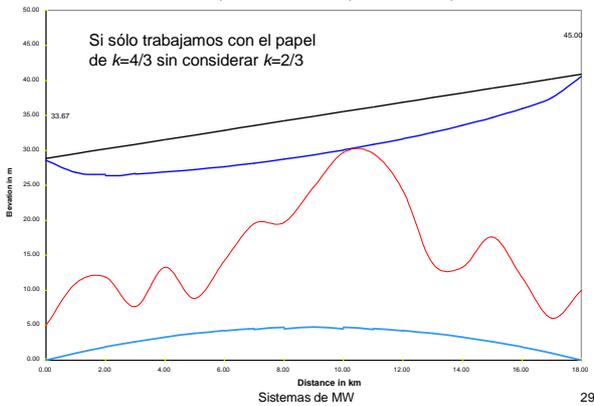
27

¿Qué pasa sí no se tiene cuidado en tener claridad en la 1ra Zona de Fresnel, bajo distintos valores de  $k$ ?

Sistemas de MW

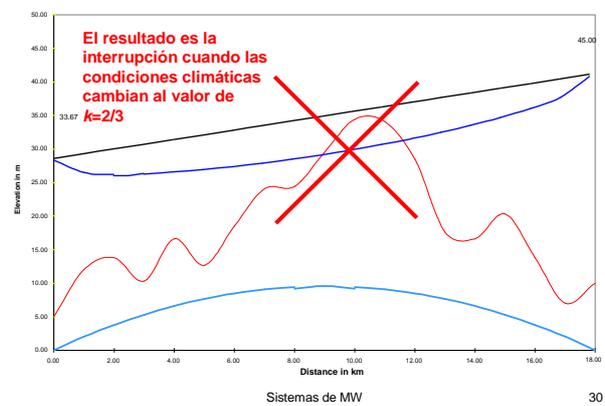
28

### Path Profile, 18 GHz, 0.6F1, $k = 4/3$



29

### Path Profile, 18 GHz, 0.6F1, $k = 2/3$



30

### Radio Enlace Modelo Simplificado

**Atenuación:**

- Por espacio libre
- Por obstrucción del trayecto
- Por gases atmosférico
- Por multitrayecto
- Por dispersión del haz
- Variación del ángulo de arribo o partida
- Precipitación (lluvias)
- Por tormentas de polvo y arena

Sistemas de MW 31

### Cálculos del Enlace

$$Pr = Pt - Lt + Gt - Lp + Gr - Lr \quad \text{dBm}$$

$$Lp = 92.45 + 20 \log(18) + 20 \log(12) = 139.14 \text{ dBm}$$

$$Pr = 23 - 1.5 + 38 - 139.14 + 38 - 1.5 = -43.14 \text{ dBm}$$

Sistemas de MW 32

### Configuración Repetidor Pasivo

Sistemas de MW 33

### Plan de Frecuencias Generalizado

Sistemas de MW 34

### Software para cálculos de enlace

Sitio A Latitude: 037 58 33 N Longitude: 023 49 26 E Azimuth: 129.71 deg Elevación: 580 m ASL Antenna: CE, 13.6 m AGL	Proyecto: 35000 MHz K = 1.33, 0.66 %F1 = 100.00, 60.00 Digital Microwave Corporation	Sitio B Latitude: 037 37 21 N Longitude: 024 21 25 E Azimuth: 310.04 deg Elevación: 534 m ASL Antenna: CE, 8.1 m AGL
EJEMPLO		Fecha: 03-12-99 By: DNC

Sistemas de MW 35

### Repetidores de $\mu O$

Sistemas de MW 36

- **Reflectores (Repetidores) pasivos:**

Son esencialmente dobladores de haces, redireccionando las señales de microondas, con ventajas de que:

- No requieren energía
- No requieren ningún camino de acceso regular
- No necesitan ningún alojamiento para equipos
- Ellos no alteran el medio ambiente (amistosos)
- Requieren mínimo mantenimiento.
- Pueden operar en zonas inaccesibles
- Pueden transportarse por helicópteros

Sistemas de MW

37

## RADIO MIRRORS

*Passive Microwave Repeaters  
Can Have Over 125-dB Gain*



Sistemas de MW

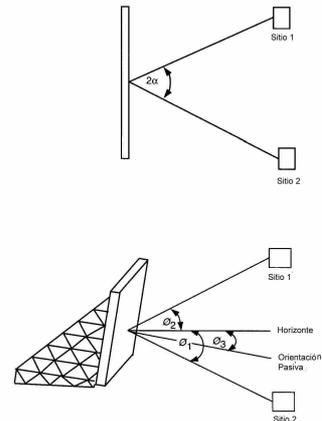
38

- Los reflectores pasivos esencialmente consiste en una “gran pantalla plana” de aluminio que sirve para reflejar la señal y redireccionarla alrededor de la obstrucción.
- No se distorsiona la señal, por qué la superficie plana conductora es lineal
- Trabaja en cualquier banda porque es un dispositivo de banda ancha.
- Es mucho más eficiente comparado con las antenas parabólicas

Sistemas de MW

39

## Reflectores Planos



Sistemas de MW

40



Sistemas de MW

41



Sistemas de MW

42



Sistemas de MW

43



Sistemas de MW

44

- La ganancia del sistema requerido deberá ser obtenida por una combinación del incremento de la ganancia del repetidor pasivo y de la ganancia de las dos antenas en los extremos del enlace, hasta que se alcancen los objetivos del margen del desvanecimiento.
- Consideraciones prácticas y de costo deberán balancearse para adecuar los tamaños de las antenas y del repetidor pasivo.

Sistemas de MW

45

- La pérdida inserción se puede calcular por:

$$IL = FSL - (FSL_1 + FSL_2) + G$$

donde  $FSL$  es la pérdida total en espacio libre,  $FSL_1$  es la pérdida de espacio libre del salto del punto A al la ubicación del repetidor y  $FSL_2$  es la pérdida de espacio libre del salto del repetidor al punto B, y

$$G = 42.840 \log f_{(\text{GHz})} + 20 \log A_{a(\text{m}^2)} + 20 \log(\cos \theta / 2)$$

donde  $\theta$  es el ángulo verdadero entre los trayectos.

Sistemas de MW

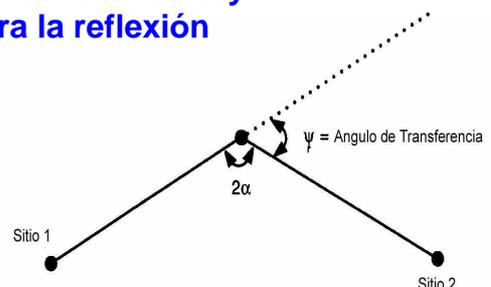
46

- Un lado del enlace deberá mantenerse corto en razón de mantener la pérdida inserción en un valor aceptable.
- Es altamente recomendable que cuando se instalen reflectores pasivos la cara de éste sea alineada usando técnicas topográficas en vez de movimiento de tipo horizontal (paneos) para maximizar la señal.
- La geometría de un reflector pasivo es muy crítica, y por tanto es imperativo que se usen coordenadas exactas para los cálculos.
- Usualmente será necesario conseguir un topógrafo para determinar la exacta ubicación de ambos extremos y del repetidor pasivo.

Sistemas de MW

47

### Geometría del trayecto para la reflexión



Sistemas de MW

48

- Para conseguir la posición correcta se necesita calcular el ángulo de desplazamiento en cada plano.
- Un reflector pasivo actúa como un espejo al haz de microondas.
- Según las leyes de la física geométrica, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- Este ángulo es el ángulo tridimensional entre las tres ubicaciones (las ubicaciones en los extremos más la ubicación del repetidor pasivo).

Sistemas de MW

49

- Cuando lo trasladamos a un plano bidimensional, usualmente existirá un desplazamiento porque es poco probable que los dos extremos del enlace estén exactamente a la misma altura.
- Por consiguiente, en cada plano bidimensional, el ángulo de incidencia **no** es exactamente igual al ángulo de reflexión.
- Este ángulo de desplazamiento necesita ser calculado para cada plano y luego la cara del repetidor debe ubicarse con la ayuda de un teodolito.

Sistemas de MW

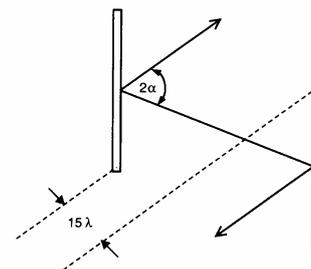
50

- Cuando el reflector está en línea con el trayecto que es cuando este ángulo es mayor que  $130^\circ$ , se requiere doble reflector.
- Uno debería tratar de balancear los ángulos horizontales ( $2\alpha$ ) con el esquema de la ubicación de los reflectores.
- Pero esto no es posible siempre debido a las condiciones locales de los sitios.
- La ganancia del doble reflector es determinada por su pequeña área efectiva.

Sistemas de MW

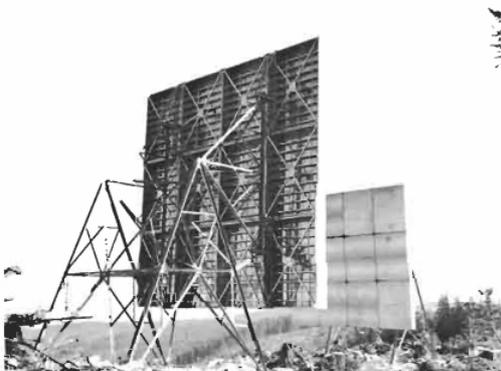
51

### Separación para reflector doble



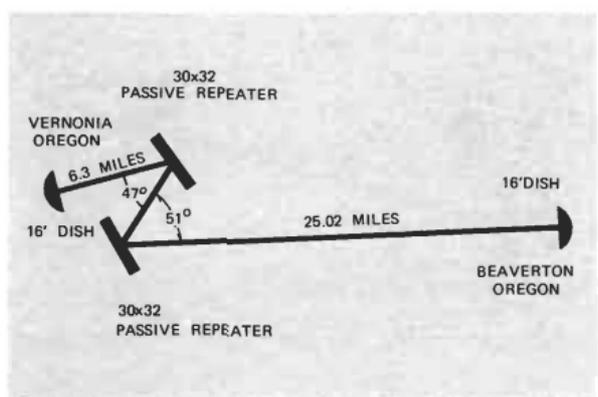
Sistemas de MW

52



Sistemas de MW

53



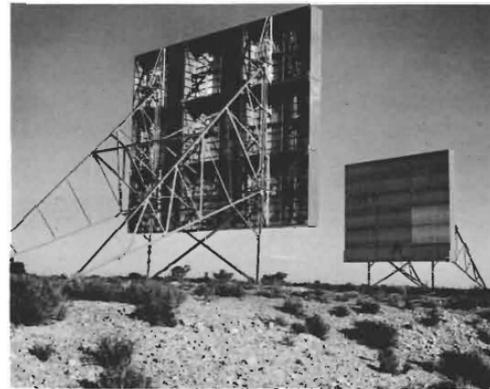
Sistemas de MW

54

- El ángulo ( $2\alpha$ ) también deben tenerse tan estrecho como sea posible para incrementar la ganancia efectiva.
- Una vez más, la topografía del sitio puede no permitir esto en la práctica.
- Al poner los reflectores en el sitio, uno debe intentar alcanzar un mínimo de separación de  $15 \lambda$  entre la señal de entrada y el reflector adyacente, como se muestra en la figura.

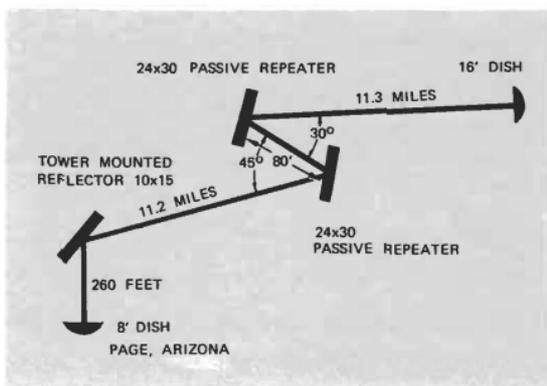
Sistemas de MW

55



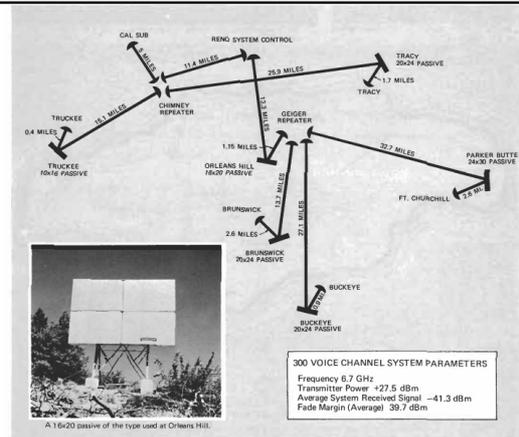
Sistemas de MW

56



Sistemas de MW

57



Sistemas de MW

58

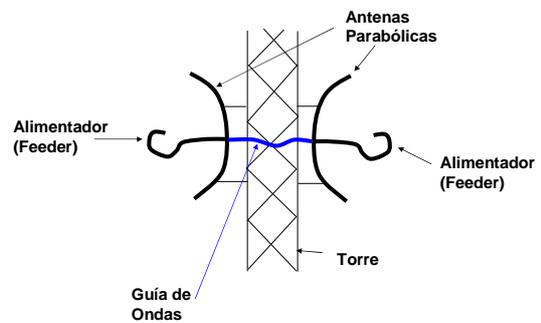
### Repetidores Back to Back

- Son buenos en trayectos cortos para subsanar el obstáculo intermedio
- La pérdida de inserción es bien grande
- Estos sistemas son menos eficientes que los repetidores planos
- La consideración principal de diseño es obtener una señal de recepción usable con un mínimo de margen de desvanecimiento para asegurar un RBER adecuado

Sistemas de MW

59

### Repetidor Back to Back



Sistemas de MW

60



Sistemas de MW

61

## Consejos Prácticos

- Se pueden hacer trabajar sistemas repetidores pasivos con antenas a pesar de los problemas de interferencia, tomando algunas pocas precauciones de diseño.
- El rebose del trayecto debe analizarse bajo la condición del peor caso de interferencia debido a la variación del factor  $k$ .

Sistemas de MW

62

- Recuerde que muchos trayectos son dibujados asumiendo buena claridad.
- Por consiguiente, se asume a menudo que las ubicaciones de los extremos del enlaces son más bajas que los que realmente son, como una presunción de peor caso.
- Esto necesita ser ajustado para maximizar el valor para el peor caso máximo de interferencia.
- Los programas del software a menudo usan un bajo valor de  $k$  ( $k = 2/3$ ) por defecto para peor caso. Un valor alto de  $k$  (digamos,  $k = 5$ ) debe usarse para el análisis de rebose.

Sistemas de MW

63

## Repetidores activos

- En muchos casos no es posible, práctico, o aceptable usar un repetidor pasivo.
- En este caso, se requerirá un repetidor activo.
- Varios factores se necesitan tener en cuenta al escoger un sitio (ubicación) para el repetidor.

Sistemas de MW

64

## Selección del sitio

- En campo abierto de deberá contactar con el propietario del terreno para obtener el permiso para construir la repetidora.
- En el caso de un edificio, el acuerdo del arriendo debe ser realizado con cuidado.
- Dependiendo de la infraestructura requerida para el sitio.
- Se deberán obtener los permisos correspondientes ante las autoridades pertinentes.

Sistemas de MW

65

## Las Torres y Caminos (accesos)

- Los nuevos sitios a menudo involucran construir una nueva torre o la estructura del montaje de la antena de existir torre.
- En el caso del montaje de una antena en el tope de un edificio, la estructura del techo necesita ser verificada para ver si soporta el peso de la torre.
- Los sitios deberían ser escogidos tan cerca de algún camino bien mantenido como sea posible.

Sistemas de MW

66

## Inspecciones (surveys)

- Indispensable, una vez que el trabajo en el mapa está completo, realizar la inspección física.
- **Verificar la línea de vista:** Las obstrucciones no mostradas en el mapa – como árboles, edificios, y obstáculos grandes – pueden bloquear la línea de vista e interrumpir la ruta planeada.
- Verificar las coordenadas del lugar.

Sistemas de MW

67

## Otras Consideraciones

- Fuente de energía principal, adecuado suministro de baterías y planificar las ubicaciones de los equipos en el edificio.
- En algunos casos, pueden requerirse bastidores adicionales o soportes interiores.
- Los equipos de radio de alta capacidad son sensibles a la temperatura, en muchos países el aire acondicionado es necesario.

Sistemas de MW

68

## Consideraciones sobre frecuencias

- Se prepara plan detallado de los enlaces
  - Una vez que los perfiles han sido analizados
  - Se ha decidido la ubicación de los repetidores
- Deben escogerse bandas de frecuencias adecuadas
- Solicitar las autorizaciones ante la autoridad reguladora local.
- La asignación se hace de acuerdo al servicio proporcionado y al BW requerido.

Sistemas de MW

69

## Longitud del enlace con línea de vista

Bandas de frecuencia del enlace	Rangos de distancias recomendados
7 GHz	25 km a 50 Km
13/15/18 GHz	10 Km a 25 Km
23/26 GHz	5 Km a 10 Km
38 GHz	< 5 Km

Sistemas de MW

70

## Conclusión

- El éxito del proyecto puede a veces estar determinado por la disponibilidad de frecuencias.
- Para redes grandes (troncales) es bueno discutir por adelantado los requerimientos de ancho de banda con el ente regulador (presentarle un plan detallado)
- El ente regulador revisará el expediente técnico y constatará para evitar interferencias

Sistemas de MW

71



**Muchas gracias por su atención**



Sistemas de MW

72