

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



DISEÑO DE UNA RED DE REPETIDORAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) PARA CUBRIR LIMA Y ZO- NAS PERIFÉRICAS.

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR

GUILLERMO ROBERTO BRAVO SÁNCHEZ

PROMOCIÓN

1979 – 2

LIMA – PERÚ

2013

**DISEÑO DE UNA RED DE REPETIDORAS DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE (TDT) PARA CUBRIR LIMA Y ZO-
NAS PERIFÉRICAS.**

Dedico este informe a mi madre y abuela por su amor y desvelos para facilitarme una profesión. Agradezco a Dios y con Él a todas y cada una de las personas que me ayudaron en su realización.

SUMARIO

El presente informe propone el diseño de cobertura de la nueva Televisión Digital Terrestre (TDT) en base a la metodología de redes de frecuencia única (SFN – Single Frequency Networks) para utilizar el espectro radioeléctrico de manera más eficiente y mantener la cobertura durante el periodo de transmisión simultánea (simulcast) a fin de que las zonas ahora cubiertas por la TV analógica continúen siendo atendidas por la TV digital cuando se produzca el apagón analógico en el tercer trimestre del 2020 en la ciudad de Lima. Dichas redes SFN serán híbridas, a través de repetición por aire, enlaces de microondas dedicados y de fibra óptica, donde exista disponibilidad por parte de los operadores de telecomunicaciones, y cubrirán las zonas de recepción que son atendidas hoy por repetidoras analógicas en configuración de red multifrecuencia.

Los resultados presentados están basados en simulaciones de la cobertura propuesta y pueden servir como modelo de referencia para implementar redes de repetidoras similares en el interior del país y de esa manera lograr que la señal de la televisión digital terrestre brinde servicio a las localidades cercanas a las capitales de región o de provincias, lugares donde se ubicarán plantas de transmisión (territorios 2 y 3 del plan maestro de la televisión digital terrestre, propuesto por el MTC) convirtiéndose en un medio de inclusión.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Objetivo del informe.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Alcances.....	3
1.4 Formulación del problema.....	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Introducción a las áreas de cobertura, Redes MFN ySFN.....	5
2.1.1 Documentación sobre planificación y cálculo de cobertura en TDT.....	5
2.2 Redes de frecuencia múltiple MFN.....	8
2.2.1 Determinación del valor medio mínimo de intensidad de campo.....	9
2.2.2 Factores en el cálculo de cobertura.....	10
2.2.3 Métodos de Cálculo de cobertura.....	11
2.3 Redes de frecuencia única SFN	12
2.3.1 Transmisores de una red SFN.....	14
2.4 Repetidoras y Gap Fillers.....	15
2.4.1 Señales y ecos.....	16
2.5 Intervalo de guarda de la señal.....	18
2.5.1 Criterios de selección del intervalo de guarda para proyectos de redes SFN...	19
2.6 Tasas de transmisión y parámetros del sistema.....	21
2.6.1 Especificación de las tasas de transmisión de acuerdo al estándar DVB-T.....	22
2.6.2 Especificación de las tasas de transmisión para el sistema ISDB-Tb.....	22
2.6.3 Consideraciones generales sobre los parámetros de trasmisión.....	23
2.7 Retardos de tiempo.....	24
2.7.1 Compensación estática de retardo.....	25
2.7.2 Compensación dinámica de retardo.....	27
2.7.3 Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda.....	30
2.8 Ganancia de red.....	35

2.8.1	Incidencia del nivel o intensidad de las señales en el sitio de recepción.....	36
2.8.2	Relación señal deseada a señal indeseada (D/U).....	37
2.9	Receptores en una red SFN.....	40
2.9.1	Ruido proporcional a la amplitud (APN).....	40
2.9.2	Sincronización secundaria del receptor.....	40
2.10	Conceptos de planificación.....	50
2.10.1	Sitio de Transmisión.....	50
2.10.2	Dividendo Digital.....	51
2.10.3	Variantes del Sistema.....	52
2.10.4	Relaciones de protección.....	52
2.10.5	Suma de campos electromagnéticos	54
2.10.6	Ahorro espectral de las redes SFN en comparación con redes MFN.....	55
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....		57
3.1	Pasos en el diseño de una red SFN usando software especializado.....	57
3.1.1	Estimación de la ubicación geográfica de las estaciones.....	57
3.1.2	Carga de datos generales de las estaciones de la red.....	57
3.1.3	Selección de la base de datos orográficos y modelo de propagación.....	58
3.1.4	Configuración del sistema de transmisión.....	58
3.1.5	Diseño de los sistemas de antenas y enlaces de las estaciones de la red.....	58
3.1.6	Primera estimación de cobertura de la red.....	58
3.1.7	Ajuste de retardos en función de los resultados obtenidos.....	58
3.2	Proyecto de una red SFN	59
3.3	Diseño de la red.....	60
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS ECONOMICO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		69
4.1	Monto de la inversión	69
4.2	Redes de microondas para enlazar las repetidora.....	70
4.3	Costos de operación y de mantenimiento.....	71
4.4	Estimación del tiempo de ejecución.....	72
4.5	Enlaces de fibra óptica.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		73
ANEXO A		
EQUIPOS TRANSMISORES Y ANTENAS.....		74
ANEXO B		
EQUIPOS DE MICROONDAS		77

ANEXO C

GLOSARIO DE TERMINOS..... 80

BIBLIOGRAFÍA..... 82

INTRODUCCIÓN

El presente informe es una propuesta de solución económica, eficiente y de calidad a la ampliación de cobertura de señal de televisión digital en las zonas aledañas a Lima Metropolitana aprovechando las características de las redes de teledifusión de frecuencia única con motivo de la llegada del fin de la TV analógica.

En el primer capítulo se define el problema, planteando el despliegue de una red de repetidoras que permitan cubrir las zonas que actualmente están servidas por repetidores analógicos en configuraciones de red de repetidoras de frecuencia múltiple, las cuales deberán tener repetidoras en isofrecuencia para atender estas localidades y a la vez permitir mediante el simulcast (transmisión simultánea de la misma información a través de más de un medio) que la población se familiarice con la nueva TV digital y evitar que se queden sin servicio cuando ocurra el apagón analógico.

El segundo capítulo constituye el marco teórico para el despliegue de las redes de isofrecuencia, explicando:

- Los aspectos teóricos de las normas referidas a redes de frecuencia única (SFN) en las bandas de VHF/UHF, información que es utilizada por los programas asistidos por computadora para el cálculo de áreas de cobertura considerando receptores fijos, portátiles y móviles. Se detallan los parámetros recomendados para el cálculo del valor medio mínimo de intensidad de campo necesario para la recepción de señales en distintas condiciones.

- Las características que debe reunir el intervalo de guarda, elemento clave para el funcionamiento de las redes SFN. En TV digital, a los receptores les llega además de la señal directa, luego de un cierto tiempo de retardo, las réplicas de la señal original o ecos. El propósito del intervalo de guarda es introducir inmunidad a los retardos, ecos y reflexiones de propagación, a los cuales los datos digitales son normalmente muy sensibles. La interferencia entre símbolos a transmitir se puede eliminar agregando un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo, con un tiempo de duración mayor o igual al tiempo de retardo. Al tiempo útil del símbolo se agrega el tiempo del intervalo de guarda, por lo cual la duración total del símbolo se incrementa y se introduce una pérdida en la capacidad de transmisión del canal. Períodos de guarda más largos permiten tolerar ecos

más distantes. Sin embargo, intervalos de guarda más largos reducen la eficiencia del canal.

- Las técnicas de sincronización y de ajustes de retardo: Para la detección de cada símbolo transmitido, el receptor aplica la Transformada Discreta de Fourier a la señal OFDM (multiplexada por división de frecuencia ortogonal), que en la práctica se implementa mediante su algoritmo de cálculo, la transformada rápida de Fourier (FFT). Esta operación se realiza dentro de un periodo igual a la duración de la parte útil del símbolo, conocida como "ventana FFT". La ventana debería abrirse justo en el instante en que termina el intervalo de guarda, es decir, el receptor debería en teoría iniciar la captura del símbolo en el momento exacto de su comienzo, lo cual es prácticamente imposible.

En el tercer capítulo se muestra un ejemplo de aplicación de la RED SFN a nuestro medio con el diseño de la red de repetidoras de isofrecuencia para una estación que opere desde el Morro Solar en el distrito de Chorrillos y cubra las principales localidades alrededor de Lima metropolitana.

El cuarto capítulo realiza el análisis económico y estimado del tiempo de implementación de la red, que permitan el despliegue de Redes de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente informe.

CAPITULO I DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Objetivo del Informe:

Diseñar una red híbrida, a través de repetición por aire, enlaces de microondas de alta velocidad y de fibra óptica, dedicados a cubrir las zonas de recepción que son atendidas actualmente por repetidoras analógicas en configuración de red multifrecuencia.

1.2 Objetivos específicos:

- Establecer la metodología a seguir para el diseño de la red SFN.
- Definir los criterios para el dimensionamiento de la potencia de los retransmisores y para la selección del tipo de antena para la cobertura de las diferentes localidades a cubrir.

1.3 Alcance

Se estudiará las redes de frecuencia única (SFN) y los ajustes necesarios para que no se interfieran las señales de manera destructiva sino por el contrario que en las zonas de interferencia entre estaciones, la señal de recepción en los hogares de los televidentes se vea reforzada con la llegada a sus antenas de las señales que vienen desde distintas direcciones dentro del intervalo de guarda.

1.4 Formulación del problema.

El problema que se tiene actualmente, es que solo canal 7 (TV-Perú o IRTP) tiene un plan para mantener la cobertura cuando ocurra el apagón analógico. Los demás canales de televisión no han publicado o no se le conocen planes para el despliegue de una red de repetidoras que permitan cubrir las zonas que actualmente están servidas por repetidores analógicos en configuraciones de red de repetidoras de frecuencia múltiple, por ejemplo canal 4 (América TV) repite en canal 8 para la localidad de Comas.

Implementar los gap fillers, es la solución más económica, pero no siempre la más adecuada para cubrir grandes zonas como Comas, que también tienen, en algunos lugares recepción directa de la señal proveniente de la planta transmisora del Cerro Marcavilca (más conocido como el Morro Solar) en el distrito de Chorillos y la señal de la repetidora que estaría ubicada en el Cerro Shangrila (Puente Piedra), produciéndose interferencia en zonas donde ambas señales se traslapan.

Las localidades listadas líneas abajo son las más importantes en función a la población a servir y su área geográfica:

1. Comas
2. Ventanilla
3. Ancón
4. La Molina (Musa)
5. Huaycan
6. Chosica
7. Cieneguilla
8. Chaclacayo

Algunas de ellas van a tener áreas de interferencia, es decir zonas donde se van a recibir ambas señales, la directa proveniente del Morro Solar y la de la repetidora, por lo que necesariamente tendrá que estudiarse cuál es la mejor opción para que en esas zonas de interferencia se escoja la mejor alternativa y evitar perjudicar a los televidentes que tengan sus domicilios en dichas zonas.

Las que no tienen línea directa de vista con el Morro Solar, o aquellas que se encuentran fuertemente difractadas, es decir, zonas sin línea de vista, no hay problemas de interferencia con la señal principal; pero es posible que no se garantice un adecuado nivel de recepción para utilizar gap fillers; por lo que el informe presentará alternativas, basadas en una análisis de ingeniería y de costo-beneficio.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a las áreas de cobertura, Redes MFN y SFN

La radiodifusión nació a partir de la necesidad de difundir información y entretenimiento, dentro de áreas o zonas geográficas lo más amplias posibles, para ser recibida por la mayor cantidad de audiencia (broadcasting). Desde un punto de vista de ingeniería, también puede ser descrita como "transmisión punto a multipunto".

No importa tanto la tecnología con la cual esté equipada la emisora, la posibilidad de generar imágenes de la más alta definición, si no se puede llegar adecuadamente y con buena calidad de señal hasta el receptor del usuario. "*No importan los bits transmitidos, importan los bits recibidos...*", frase que sintetiza la importancia que tiene la palabra cobertura en TDT.

La cobertura y planificación de los servicios de TV han sufrido cambios importantes con la introducción de la TDT. La conocida tecnología de las redes MFN (Multiple Frequency Network) involucra el uso de varias frecuencias para dar servicio en áreas aledañas, que no resultan posibles cubrirlas con un solo transmisor, siendo necesario instalar repetidoras con frecuencias de emisión diferentes a la del transmisor principal. Los criterios y herramientas de cálculo de cobertura MFN para TV analógica y TV digital son similares y en general, los conocimientos adquiridos en la primera pueden ser utilizados sin inconvenientes en los nuevos sistemas digitales.

Sin embargo, las redes formadas por transmisores que operan en la misma frecuencia, llamadas SFN (Single Frequency Network) plantean nuevos desafíos y no es igual que antes en materia de cálculos de cobertura. Para esta tarea, es necesario contar con software especializado capaz de resolver complejos algoritmos, nada prácticos para ser ejecutados en forma manual, debido a la enorme cantidad de datos que se deben procesar.

2.1.1 Documentación relativa a planificación y cálculo de cobertura en TDT:

Recomendación UIT-R P 1546-4: Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz [7]

En este documento se resumen todos los estudios empíricos realizados a partir de la segunda mitad del siglo XX e incluye el cálculo de trayectos terrestres, troposféricos, marítimos y mixtos. El término punto a zona equivalente a punto a multipunto. Es de particular importancia el Anexo 5 de la recomendación: "Información adicional y procedimientos de aplicación del método de predicción"

Variabilidad temporal: Las curvas de propagación incluidas en esta recomendación, representan los valores de intensidad de campo rebasados el 50%, 10% y 1% del tiempo. En general la primera se utiliza para cálculos de cobertura y las dos últimas para la planificación, en la determinación de posibles interferencias a mayores distancias (más allá de la zona geográfica de cobertura).

Variabilidad espacial (ubicaciones): Las curvas representan los valores de intensidad de campo superados en el 50 % de las ubicaciones. Las ubicaciones se consideran áreas de 500 x 500 metros y pueden ser considerados otros porcentajes agregando coeficientes de corrección.

Un detalle a tener en cuenta, es que la TDT puede ser recibida con receptores móviles ubicados en embarcaciones. Por este motivo, las curvas del 50% sobre trayectos marítimos pueden ser utilizadas para el cálculo de cobertura en navegación, a distancias ópticas de las plantas transmisoras.

Prácticamente todos los programas para el cálculo de áreas de cobertura asistido por computadora, utilizan esta recomendación para la definición de sus procedimientos.

Recomendación UIT-R BT.1368-9 Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/ UHF bands [6]: Contiene los criterios de planificación para los estándares ATSC, DVB-T, ISDB-T y DMB-T, junto con los criterios de convivencia con los sistemas analógicos hasta el momento del "apagón analógico", incluyendo relaciones de protección para la coexistencia de señales co-canal, canal adyacente inferior, canal adyacente superior e intensidad de campo mínima necesaria para que los receptores muestren la información transmitida.

Recomendación UIT-R P-526 Propagación por Difracción [11]: Presentan varios modelos que muestran el efecto provocado por la difracción en la intensidad de campo eléctrico recibida. Se Aplican a diferentes tipos de obstáculos y a diversas geometrías de trayecto y son muy utilizados por los programas de cálculo asistido de cobertura que trabajan con datos orográficos del terreno.

Reporte UIT-R BT.2209: Calculation model and reference receiver characteristics of ISDB-T system. [9]

Este reporte ofrece una detallada descripción de las características del receptor dentro de un ambiente SFN.

En estos casos, debe tenerse muy en cuenta que los receptores no responden de la misma manera que en áreas MFN y que los mismos deben ser diseñados para su correcto funcionamiento en ambas situaciones. Para SFN, los valores de intensidad de campo, la relación C/I (portadora/interferencia), los retardos de los ecos recibidos, la sincronización de la ventana FFT, entre otros, son factores muy críticos en un receptor.

Contrariamente a lo que ocurre con la TV analógica, los radiodifusores deben interesarse y participar en la preparación de las especificaciones técnicas de los receptores, ya que el gran esfuerzo involucrado en el desarrollo e implementación de una red SFN podría ser totalmente en vano, si los receptores no cumplen adecuadamente con ciertas exigencias.

Método de cálculo de cobertura Okumura-Hata UIT 529 [12]: Es un método de cálculo de cobertura para la recepción de señales en receptores portátiles, a una distancia de hasta 10 kilómetros de la emisora.

Nuevos criterios para la evaluación del punto de corte de las señales de TDT: Los criterios tradicionales para la evaluación del punto de corte de la señal, que permiten determinar la mínima intensidad de campo necesaria para establecer el límite de cobertura de un servicio de TDT no resultan adecuados para ser aplicados en recepción móvil. La recepción en un punto fijo, permite disponer de tiempo suficiente para que los receptores o instrumentos de medición midan, muestreen y registren los valores exactos de intensidad de campo en el momento de producirse el corte. Esta condición es imposible de cumplir en la recepción móvil.

Criterio SFP (punto subjetivo de falla): La Recomendación UIT-R BT.1368-9 [6] mencionada antes, incluye el criterio SFP en su Anexo 7. Este criterio corresponde a la calidad de imagen con no más de un error visible en la imagen en un tiempo medio de observación de 20 segundos. La señal de entrada (D, por deseada) se establece en -60 dBm y la señal interferente (U, por no deseada, ruido blanco) se incrementa en pasos de 0,1 dB hasta llegar al corte.

La Recomendación 1368-9 propone que este parámetro sea adoptado por todas las normas. En base a la nomenclatura de señal deseada y señal interferente utilizada por la UIT, la relación C/I también suele ser denominada relación D/U.

Criterio ESR5 (Erroneous second ratio): El ESR5 o relación de error por segundo dentro del 5% del tiempo de la ventana de medición, de acuerdo al Documento UIT-

6E/64-E [14], se utiliza para determinar la calidad de transmisión en recepción portátil y móvil, en lugar del SFP o de los métodos tradicionales. Tiene la gran ventaja de que las mediciones pueden ser realizadas de manera automática, cosa que no es posible con el primer criterio.

Una determinada señal cumple con el criterio ESR5 cuando no transcurre más de 1 segundo de tiempo de recepción de paquetes que contienen errores no corregibles, dentro de una ventana de 20 segundos. También se considera que la señal no cumple con el criterio, cuando existe una pérdida de sincronización del flujo TS MPEG-2 dentro de dicha ventana. La proporción 1/20 corresponde al 5% del tiempo de duración de la ventana, y de allí la denominación.

2.2 Redes de Frecuencias Múltiples (MFN)

El primer paso consiste en determinar el valor de la intensidad de campo mínima necesaria para la operación del receptor con antena fija, ubicada en el exterior de la vivienda, a la altura del techo.

Considerando la banda de UHF, examinemos una de las tablas de la Recomendación 1368-9 [6]:

Tabla N° 2.1 Valores mínimos de intensidad de campo para ISDB-Tb. Fuente [6]

Banda UHF - Rango de frecuencias: 470-698 MHz (CH 14 al 51)					
Parámetro		Configuración			
		DQPSK 1/2	QPSK 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 7/8
Ancho de banda de ruido (MHz)	BW	5,6	5,6	5,6	5,6
Figura de ruido del receptor (dB)	F	7,0	7,0	7,0	7,0
Tensión de ruido de entrada al receptor (dB/√V)	U _N	9,1	9,1	9,1	9,1
Relación C/N a la entrada del receptor (dB)	C/N	6,2	4,9	14,6	22,0
Ruido urbano (dB)		0	0	0	0
Tensión mínima de entrada al receptor (dB/μV)	U _{min}	15,3	14,0	23,7	31,1
Factor de conversión (dB)	K	21,9	21,9	21,9	21,9
Pérdidas de la línea de transmisión (dB)	L _f	3,0	3,0	3,0	3,0
Ganancia de la antena (dB)	G	10,0	10,0	10,0	10,0
Mínima intensidad de campo para recepción fija (dBμV/m)	E _{min}	30,2	28,9	38,6	46,0

2.2.1 Determinación del valor medio mínimo de intensidad de campo

La Recomendación UIT-R BT.1368-9 describe el procedimiento de cálculo del valor medio mínimo de intensidad de campo necesario para la recepción de señales de TV en distintas condiciones. A continuación se muestra dicho procedimiento, y se detallan todos los parámetros que intervienen.

$$P_n = F + 10 \log_{10} (KT_0 BW) \quad (2.1)$$

P_n : Potencia del ruido intrínseco del receptor (dBW)

F : Figura de ruido del receptor

K : Constante de Boltzman [$k = 1.38 \times 10^{-23}$ (J/K)]

T_0 : Temperatura absoluta (290°)

BW : Ancho de banda de ruido (5.57 MHz)

$$U_N = P_n + 120 + 10 \log_{10} R \quad (2.2)$$

U_N : Tensión del ruido de entrada al receptor (dB μ V)

R : Impedancia de la antena ($R = 73.1 \Omega$)

$$P_{s \min} = \frac{C}{N} + P_n \quad (2.3)$$

$P_{s \min}$: Mínima potencia de la señal de entrada al receptor (dBW)

C/N : Mínima relación señal a ruido de RF requerida por el sistema (dB)

$$U_{\min} = P_{s \min} + 120 + 10 \log_{10} R \Rightarrow P_{s \min} = U_{\min} - 10 \log_{10} R - 120 \quad (2.4)$$

U_{\min} : Mínima tensión de entrada al receptor (dB μ V)

$$A_a = G + 10 \log_{10} \left(1.64 \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (2.5)$$

A_a : Apertura efectiva de la antena (dB/m²)

G : Ganancia de la antena referida al dipolo de media onda (dBd)

λ : Longitud de onda de la señal (m)

$$\varphi_{\min} = P_{s \min} - A_a + L_f \quad (2.6)$$

φ_{\min} : Mínima densidad de flujo en el punto de recepción (dBW/m²)

L_f : Pérdidas en la línea de transmisión (dB)

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) \quad (2.7)$$

E_{\min} : Mínima intensidad de campo equivalente en el punto de recepción (dB μ V/m)

(2.6) en (2.7)

$$E_{\min} = P_{s \min} - A_a + L_f + 10 \log_{10} (120\pi) \quad (2.8)$$

(2.4) y (2.5) en (2.8)

$$E_{\min} = U_{\min} - 10 \log_{10} R - G - 10 \log_{10} \left(1.64 \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + L_f + 10 \log_{10} (120\pi) \quad (2.9)$$

Teniendo en cuenta que $R = 73.1 \Omega$ y resolviendo los logaritmos, se tiene:

$$E_{\min} = U_{\min} + 20 \log_{10} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) - G + L_f \quad (2.10)$$

El término logarítmico es el factor de conversión K y se expresa en dB,

$$E_{\min} = U_{\min} + K - G + L_f \quad (2.11)$$

Para fines de planificación y de acuerdo al tipo de recepción, los valores medios mínimos de intensidad de campo resultan:

Para recepción fija en viviendas, con antenas instaladas a nivel de techo:

$$E_{\text{med}} = E_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_L \quad (2.12)$$

Para recepción móvil y portátil externa:

$$E_{\text{med}} = E_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_L + L_h \quad (2.13)$$

Para recepción móvil de mano y portátil interna:

$$E_{\text{med}} = E_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_L + L_h + L_b \quad (2.14)$$

Dónde:

P_{mmn} : Factor de ruido provocado por el hombre, de acuerdo a la UIT-R P.372-10 (dB)

C_L : Factor de corrección del sitio o ubicación (dB)

L_h : Pérdidas por altura cuando el punto de recepción está a 1.5m sobre el suelo (dB)

L_b : Pérdidas adicionales por recepción dentro de un edificio o vehículo (dB)

El factor de corrección del sitio o ubicación se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_L = \mu \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_b^2} \quad (2.15)$$

Dónde:

σ_m : Desviación estándar macro escala (5,5 dB)

σ_b : Desviación estándar de las pérdidas por atenuación dentro de edificios (dB)

μ : Factor de distribución según el porcentaje de las ubicaciones.

Los valores son:

0,52 para el 70% de las ubicaciones

1,28 para el 90% de las ubicaciones

2,33 para el 99% de las ubicaciones

2.2.2 Factores en el cálculo de cobertura

Al abordar un proyecto de cálculo de cobertura MFN deben tenerse en cuenta algunos conceptos como:

Figura de ruido del receptor

Los valores de figura de ruido a emplear en los cálculos varían ligeramente. En el Anexo C de la norma brasileña ABNT NBR 15604, se establecen 10 dB, mientras que en el Anexo 3 de la Recomendación UIT-R BT.1368-9 se especifican 7 dB para la banda UHF. Para cálculos de cobertura, estos últimos valores resultan más acordes, debido a los avances tecnológicos implementados en los nuevos receptores.

Ganancia de antena receptora

El valor de este parámetro se encuentra normalizado de acuerdo al servicio cuya cobertura se desea calcular: fijo, portátil externo, portátil interno y banda utilizada. Para el caso de recepción fija en la banda de UHF, se consideran 10 dBd.

Porcentaje de las ubicaciones

En la determinación de áreas de cobertura para el servicio analógico, se utilizan las curvas 50/50. Si bien las señales pueden haber sufrido una importante degradación a lo largo de su trayectoria, aún pueden ser recibidas en áreas marginales. Para que los usuarios que habitan estas zonas puedan recibir TDT, es necesario agregar un factor de corrección que permita expresar el aumento necesario en el nivel de la señal recibida con respecto a los cálculos basados en curvas 50/50. Esta diferencia se debe al "efecto abismo" o "efecto Cliff" que existe en la TDT, que invalida toda posibilidad de recepción en zonas marginales.

Llevando las probabilidades de las ubicaciones al 70%, 95% o 99% se tiene en cuenta este aspecto, representado mediante el factor μ de la ecuación (2.15).

Relación portadora ruido mínima (C/N)

Este dato es de extrema importancia, ya que de él depende la robustez del sistema. Los esquemas de modulación más robustos requieren una relación C/N más baja.

Para la recepción de TDT con antenas fijas, se debe tener en cuenta la relación C/N bajo el modelo de canal de propagación de Rice, mientras que para la recepción con antenas internas se debe utilizar el modelo de Rayleigh. En la práctica, se suele agregar un coeficiente de seguridad de 2 a 3 dB.

El modelo de propagación de Canal de Gauss se usa en el cálculo de enlaces punto a punto. El canal de Rice es apropiado para la transmisión punto a multipunto (radiodifusión). El canal de Rayleigh toma en cuenta las atenuaciones que se producen por difracción combinada en muchos casos con reflexiones o ecos en la recepción.

2.2.3 Métodos de cálculo de cobertura

Una vez obtenido el nivel mínimo de campo necesario de acuerdo al tipo de recepción considerado, se puede determinar el área de servicio cubierta (si la estación ya está instalada) o que se desea cubrir (si se trata de un proyecto), en función de los datos y parámetros de transmisión disponibles.

Cuando no se disponía de los métodos asistidos por computadora, la realización de estos cálculos era muy laboriosa, ya que se debía partir de las curvas de Longley y Rice y

calcular punto por punto cada uno de los lugares geográficos que se deseaba cubrir, para lo cual era necesario contar con un estudio previo de la topografía y de los obstáculos del terreno, aplicando los criterios correspondientes a cada tipo de obstáculo.

Con esa información en mano, se comienza calculando la potencia irradiada equivalente del sistema transmisor-antena, al menos para cada grado de azimut y de elevación, lo que implica considerar los diagramas de radiación horizontal y vertical de la antena.

Se siguen los pasos según el Anexo 6 de la Recomendación UIT-R P. 1546-4 (Fuente [7]), bajo el título "Procedimiento paso a paso". En la actualidad existen programas de cálculo asistido por computadora que se basan en la Recomendación mencionada, en la UIT-R BT.1368-9 y en otros algoritmos. Estos programas incluyen bases de datos orográficos y poblacionales que permiten calcular con suma rapidez no solo el área efectivamente cubierta y la intensidad de campo en cada punto geográfico, sino también la población comprendida dentro de esa área. Este último es un dato valioso, de interés social y económico para los medios de comunicación masiva.

Los parámetros de transmisión de las normas basadas en un esquema de modulación COFDM son varios y las posibilidades de combinaciones entre ellos también son numerosas.

Criterios para la selección de los parámetros de transmisión

Los criterios para la selección de parámetros son fácilmente determinables con la ayuda de software especializado. Sin embargo, será necesario calcular las tasas de transmisión. La relación existente entre el C/N y la tasa es fundamental en el estudio de las redes SFN, ya que su influencia es notablemente mayor que en MFN, que puede considerarse un caso particular de las anteriores.

2.3. Redes de Frecuencia Única (SFN)

Las redes SFN ofrecen los mismos servicios que las redes MFN. La Figura 2.1 muestra un esquema, con sus respectivos dispositivos de recepción. Aunque pueda parecer trivial en este momento, el concepto de servicios y programas transmitidos es un factor muy importante, pues son y deben ser los mismos en todos los emisores que conforman la red SFN. La principal ventaja de las redes SFN es la posibilidad de transmitir el mismo programa, con transmisores que operan en la misma frecuencia en áreas de cobertura superpuestas, a diferencia de las redes analógicas donde esto no es factible.

La operación de múltiples transmisores en la misma frecuencia, implica un importante ahorro de espectro para los planificadores, ya que permite adjudicar una sola frecuencia al mismo Radiodifusor en todo el país, de ser una red.

Para que esto resulte posible, deben cumplirse algunas condiciones básicas y otras más específicas. Las condiciones básicas son las siguientes:

- Operar en la misma frecuencia.
- Transmitir el mismo programa.
- Transmitir la misma información, es decir los mismos bits de manera sincronizada en todos los transmisores de la red. Esto significa:
- Utilizar la misma relación de codificación convolucional y el mismo esquema de modulación, o Emplear el mismo modo e intervalo de guarda. El intervalo de guarda es el elemento fundamental que posibilita el funcionamiento de las redes SFN. o Utilizar el mismo canal virtual (número que identifica al programa transmitido en la parrilla de canales.
- Los "ecos" provenientes de varios transmisores de la red que llegan a un determinado punto de recepción, deben hacerlo dentro del intervalo de guarda con el cual se ha configurado la red. En una SFN, se denomina "eco" a todas las demás señales que llegan a la antena, además de la señal directa. Más adelante se describirán algunos métodos para sincronizar señales que llegan fuera del intervalo de guarda, las que a priori, causarían interferencias intersímbolo e imposibilitarían el correcto funcionamiento de la red.

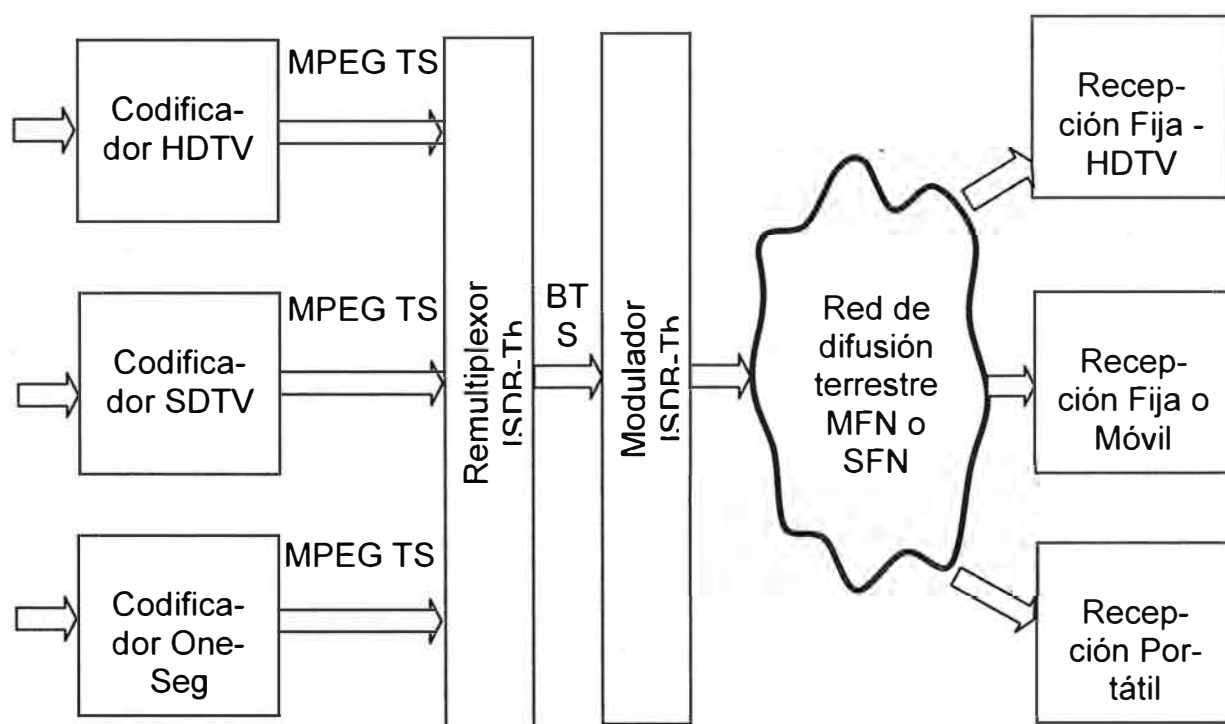


Figura 2.1 Servicios ofrecidos por las redes de TVD-T. Fuente [2]

2.3.1. Transmisores de una red SFN

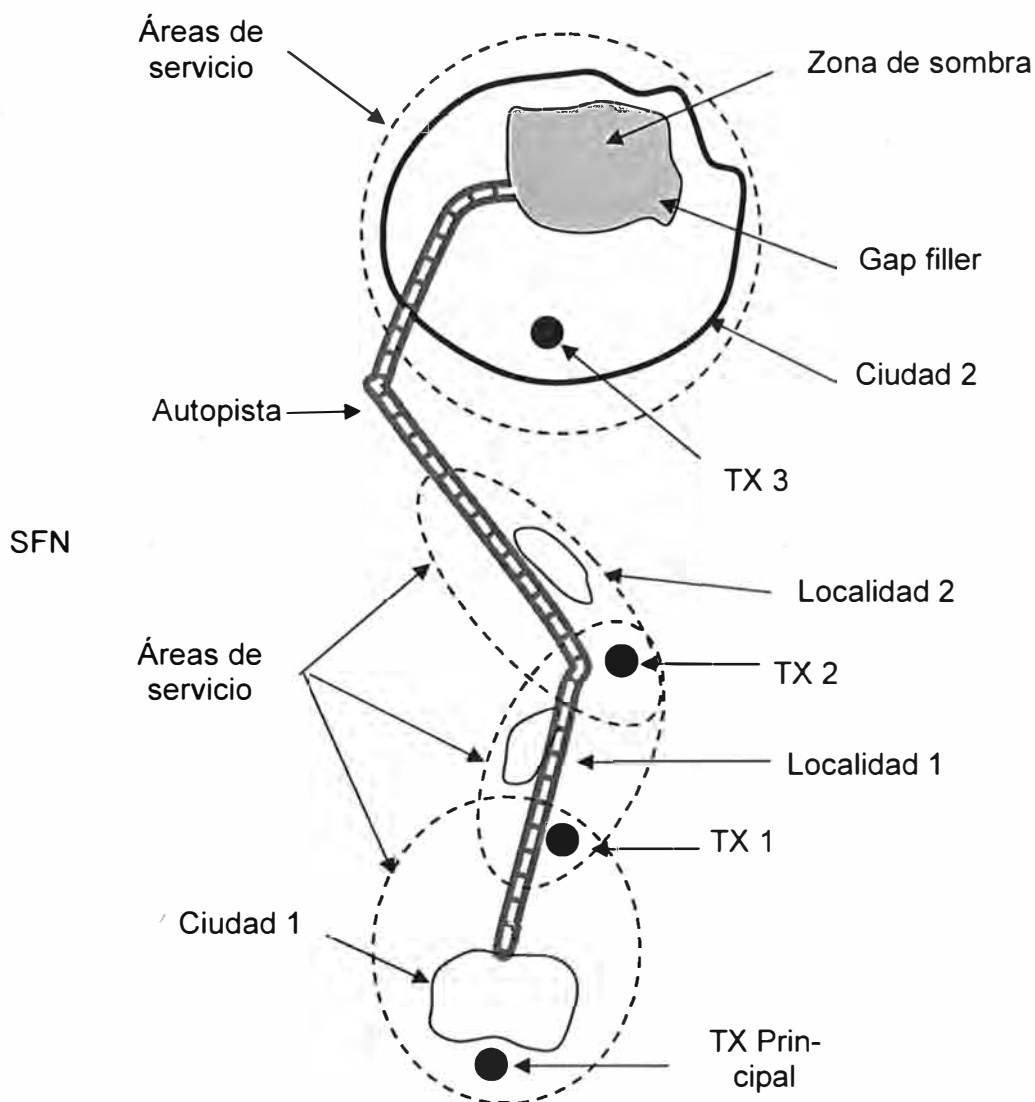


Figura 2.2 Esquema de una red SFN con Gap-Filler incluido. Fuente [2]

La Figura 2.2 muestra una red SFN en la que además, se ha instalado un Gap-Filler (repetidora de baja potencia que retransmite en la misma frecuencia) dentro del área de servicio del transmisor TX 3. En los párrafos que siguen se explicarán sus principios de funcionamiento.

Para eliminar esta zona de silencio, será necesario incrementar la cobertura de ambos transmisores, o bien colocar un transmisor adicional, respetando las condiciones de funcionamiento mencionadas.

Analizando la figura con detenimiento, se deduce que la programación debe ser enviada desde el Transmisor Principal hacia el TX 3 por medio de un radioenlace, fibra óptica o vínculo satelital y no podrá emplearse la modalidad "en banda" (es decir la técnica de "repetición" de señal).

Si dentro del área de servicio de TX 3 existe un obstáculo que impide la recepción en una parte del área de servicio proyectada, puede resultar conveniente la instalación de un Gap Filler, cuyo funcionamiento es similar al de una repetidora, comúnmente llamada "en banda", ya que retransmite la señal que recibe desde el transmisor principal en la misma frecuencia.

El Gap Filler es un dispositivo con circuitos especialmente diseñados y una potencia de salida limitada a unos pocos vatios, a los fines de evitar una realimentación positiva entre la salida y la entrada del equipo. Se utilizan en los siguientes casos:

- Áreas sucesivas servidas en la misma frecuencia, posibilitando que un receptor móvil pueda sintonizar el mismo programa durante todo el trayecto de desplazamiento.
- Zonas de sombra o de silencio, permitiendo asegurar la recepción móvil y fija en toda al área geográfica proyectada.

2.4 Repetidoras y Gap Fillers

La Figura 2.3 muestra el esquema de una instalación para una repetidora o bien, para un Gap Filler, cubriendo la zona de sombra del transmisor principal, cuya señal está siendo obstruida por un edificio (aunque la obstrucción podría deberse a la orografía del terreno).

A la izquierda, los círculos de mayor diámetro representan el área de servicio del transmisor principal, mientras que los más pequeños sombreados en gris corresponden el área de sombra provocada por un obstáculo.

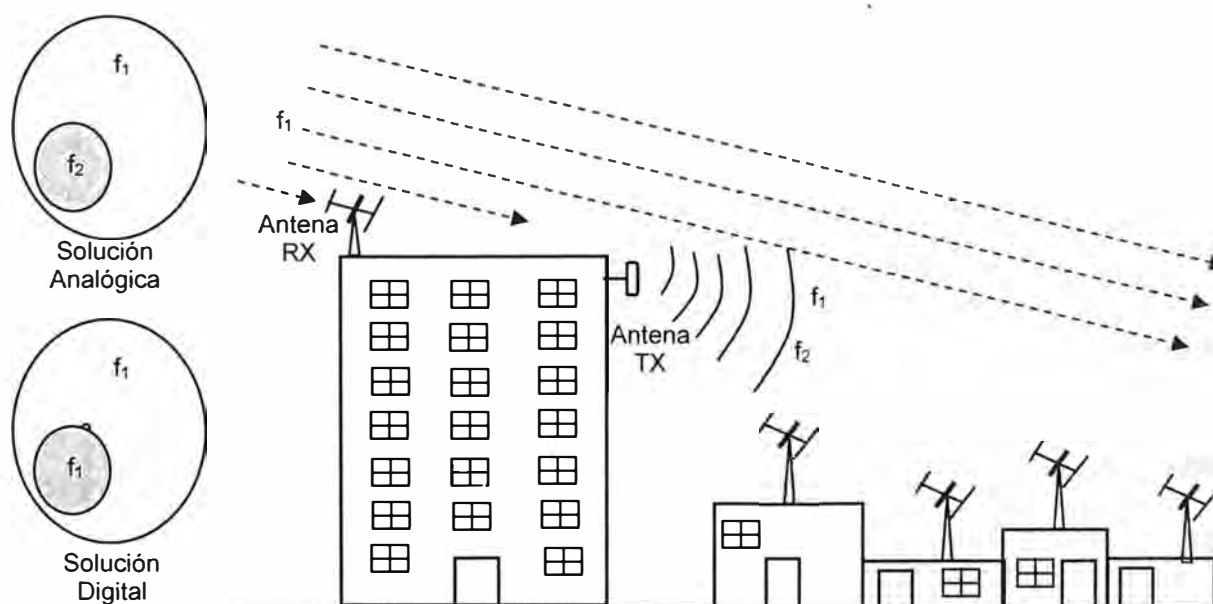


Figura 2.3 Repetidora analógica / Gap Filler digital. Fuente [15]

Se presentan dos soluciones posibles: con repetidora analógica, utilizando dos frecuencias distintas f_1 y f_2 , y con Gap Filler digital, operando con una sola frecuencia f_1 .

En los sistemas digitales que emplean un Gap Filler, gracias al intervalo de guarda del sistema OFDM, la señal realimentada puede ser considerada como un eco que llega dentro del tiempo de duración del intervalo y por consiguiente, no se comporta como una interferencia. Esto posibilita transmitir con la misma frecuencia f_1 dentro del área de sombra. En este caso también se debe tener cuidado: las antenas de transmisión y recepción deben estar físicamente separadas, tal como se muestra en la Figura 2.3, procurando lograr el mayor desacoplamiento posible. Además son necesarios algunos circuitos especiales llamados "canceladores de eco" o "canceladores de interferencia por acoplamiento (realimentación)", de acuerdo a cada fabricante. Normalmente, las potencias de estos dispositivos no superan los 50 vatios.

Debe prestarse mucha atención a la hora de elegir el sitio para instalar el Gap Filler, ya que podría ser alcanzado por las señales generadas por otros transmisores de la misma red, siendo mayores las posibilidades de acoplamiento cuando los sitios están ubicados en alturas relativamente importantes.

2.4.1 Señales y ecos

En la Figura 2.4 se representa la situación de un receptor (1) que recibe señales provenientes de los transmisores TX1, TX 2 y un eco o reflexión de TX1. Para este receptor, las tres señales pueden ser útiles si todas llegan dentro del tiempo de duración del intervalo de guarda. Es muy probable que la antena de este usuario se encuentre orientada hacia TX 1, razón por la cual las señales provenientes del transmisor TX 2 y el eco llegarán atenuadas por la directividad de la antena y la longitud del trayecto.

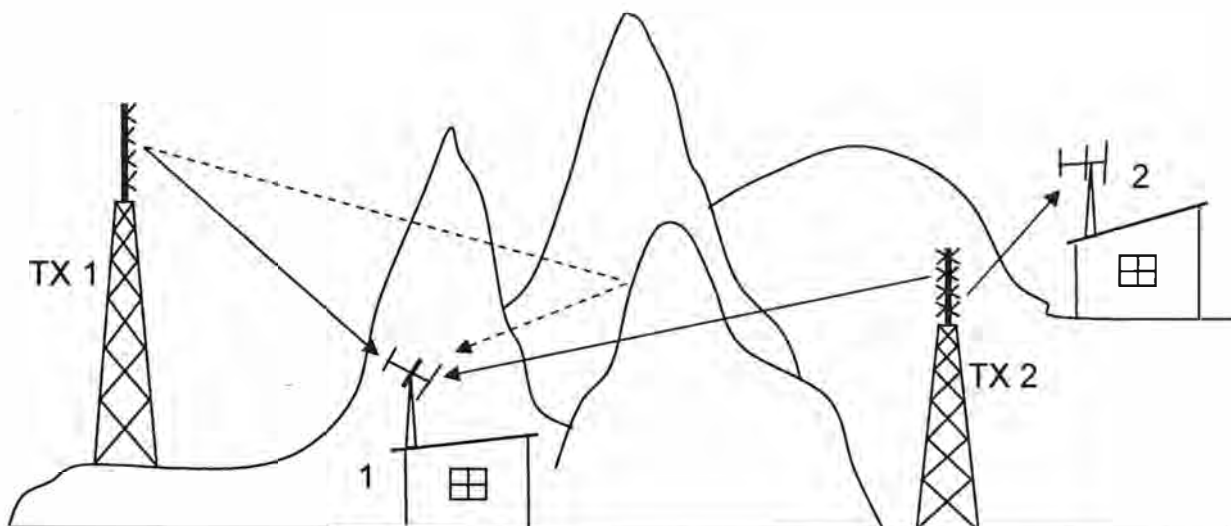


Figura 2.4 Señales recibidas por receptores fijos en una red SFN. Fuente [15]

El receptor utiliza técnicas para posicionar la ventana de cálculo de la transformada FFT. Estas técnicas, llamadas sincronización secundaria, constituyen la principal diferencia entre un receptor que funciona en un ambiente SFN y uno que recibe señales de transmisores MFN.

También, cuando se cumplen ciertas condiciones, todos los ecos pueden contribuir en el incremento del valor de intensidad de campo, concepto que se conoce como "ganancia de red". De aquí en adelante y por simplicidad, la denominación "eco" servirá para referirse a todas las señales de la misma red SFN que llegan al receptor. En este tipo de redes, una señal que se considera "directa" en un determinado punto de recepción, puede convertirse en un "eco" cuando el receptor es cambiado de posición, aunque sea ligeramente.

Para el caso de un receptor ubicado en el interior de una vivienda, equipado con una antena tipo "V" o similar, se aplica el modelo de Rayleigh, con el agregado de ecos variables provocados dentro de la vivienda, por movimiento de objetos o personas. En los procedimientos de cálculo de cobertura con antenas internas, se deben considerar los parámetros correspondientes para este tipo de recepción.

Por otro lado, en la Figura 2.5 se muestran las señales que llegan a un receptor en movimiento dentro de un ambiente SFN. Un receptor móvil puede desplazarse a velocidades muy altas, de unos 300 km/h en el caso de los trenes de alta velocidad.

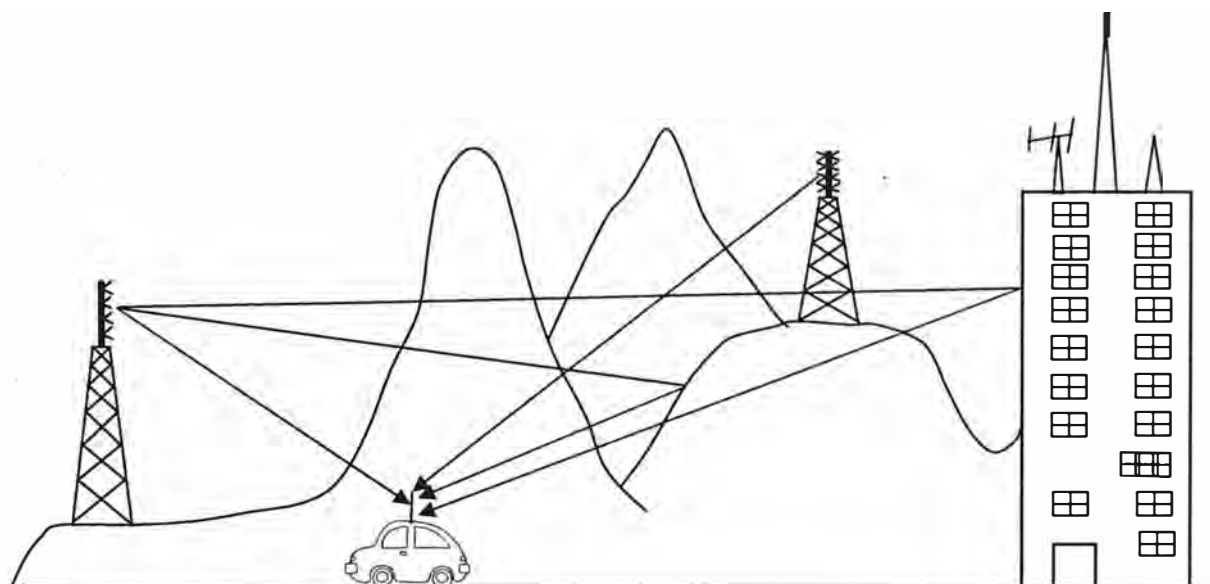


Figura 2.5 Señales recibidas por receptores móviles en una red SFN. Fuente [15]

El modelo de propagación también corresponde a un canal Rayleigh, al que se suman problemas adicionales provocados por el efecto Doppler y reflexiones fluctuantes en obstáculos naturales y construidos por el hombre, con un comportamiento cambiante a

medida que el vehículo se desplaza. El servicio móvil es fundamentalmente el de recepción parcial o one-seg, pero también puede ofrecerse multicast de servicios móviles en SDTV.

2.5 Intervalo de guarda de la señal

En la Figura 2.6 puede verse un receptor al cual llegan dos señales de la misma red, provenientes de TX 1 y TX 2. Se observa que la señal de TX 1 llega antes que la de TX 2, porque recorre un trayecto más corto. Para facilitar el análisis que sigue y por ser la que llega al receptor retardada con respecto a TX 1, se denominará "eco" a la señal originada por TX 2.

En este ejemplo, el receptor se sincroniza con la señal proveniente de TX 1, abriendo la ventana FFT al comienzo del tiempo útil del símbolo para demodular la señal. Puede verse con claridad, que el flanco ascendente de la ventana coincide con el inicio de T_U .

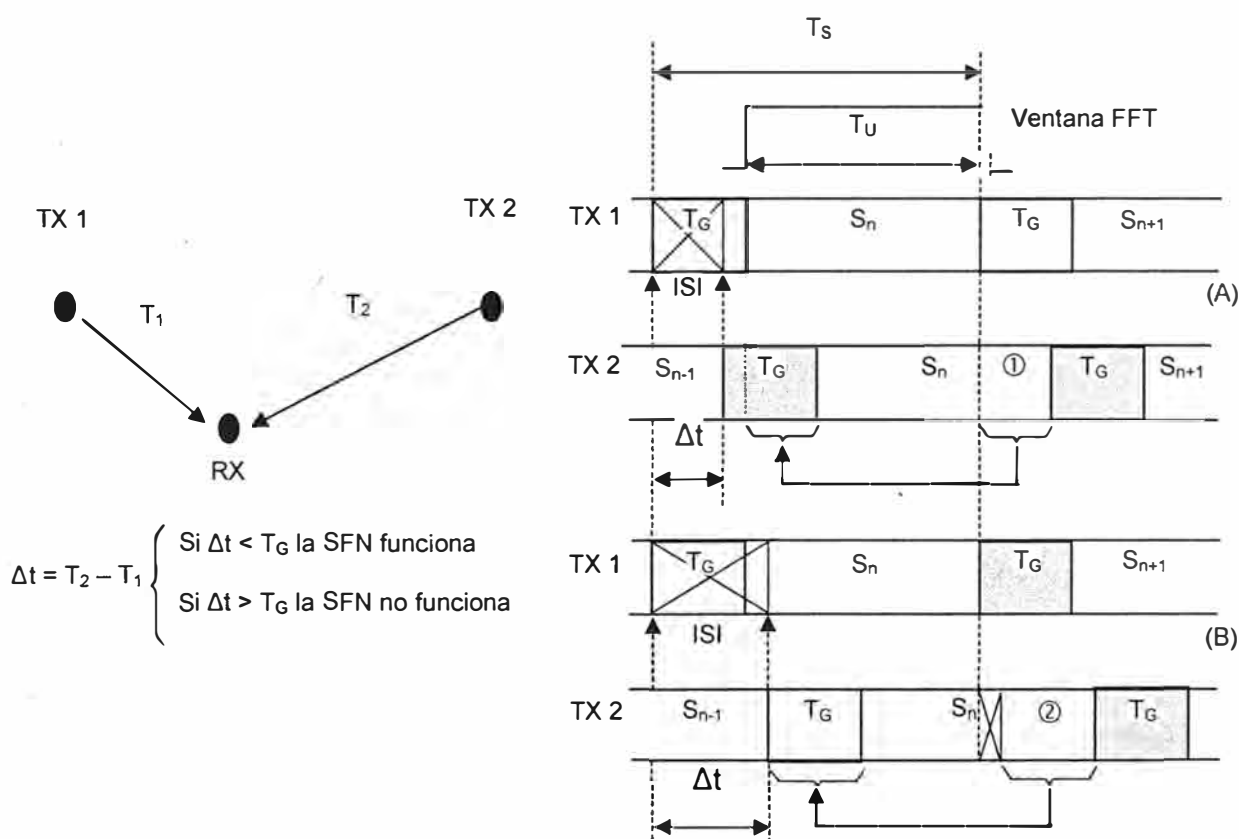


Figura 2.6 Intervalo de guarda en redes SFN. Fuente [2]

Se consideran dos casos posibles:

(A) La llegada del eco se produce dentro del intervalo de guarda de TX 1

(B) El eco arriba poco después de finalizado dicho intervalo. En ambas situaciones se producirá interferencia intersímbolos ISI, pero con distintos resultados.

En (A), cuando el retardo Δ_t es menor que T_G , la ISI se producirá dentro del intervalo de guarda de la señal TX 1, que afectará solamente a la información redundante del símbolo S_n , que además se encuentra fuera de la ventana. En cuanto al eco, si bien el retardo Δ_t deja fuera de la ventana a la parte final ① del símbolo S_n , esta parte se encuentra replicada en el intervalo de guarda del eco. Por lo tanto, dentro de la ventana FFT se encuentran únicamente muestras de un mismo símbolo", aportadas tanto por la señal TX 1 como por el eco, con la totalidad de las muestras de S_n en ambos casos, pero desalineadas temporalmente. Cuando el procesador FFT calcula la transformada, los espectros resultantes en ambas señales serán exactamente iguales en módulo, pero diferirán en sus valores de fase. Esta diferencia, provocará un giro del diagrama de constelación que deberá ser compensado, con el objetivo de minimizar los errores antes de iniciar el desmapeo de los símbolos. Existen diversas técnicas de compensación, algunas de ellas muy complejas y de su eficiencia dependerán los errores que se trasladarán a las siguientes etapas, que deberán ser corregidos por el sistema FEC.

Volviendo a la Figura 2.6, en (B) puede verse que el retardo Δ_t es mayor que T_G y que la interferencia ISI sobre la señal TX 1 continua una vez finalizado el intervalo de guarda. No solo resulta afectada la información redundante del símbolo S_n , sino también las primeras muestras de este símbolo que se encuentran dentro de la ventana y que no están repetidas en ninguna otra parte de la señal TX 1. Para la información transportada por el eco, puede verse que la parte final ② del símbolo S_n queda fuera de la ventana, pero las muestras de ese sector se encuentran completamente replicadas en el intervalo de guarda. Sin embargo, también quedan fuera de la ventana varias muestras que anteceden a la parte ② y que no se repiten en ningún otro lugar de este eco. En definitiva, la ventana FFT no solo contiene muestras correspondientes al símbolo S_n , también aparecerán muestras del símbolo S_{n-1} . Ante esta situación, el procesador FFT entregará a su salida la información correspondiente a la composición espectral de dos símbolos, apartándose del resultado esperado, es decir, con errores que inicialmente no admiten compensación. Estos errores avanzarán hacia las etapas siguientes del receptor, siendo altamente probable que el sistema de FEC no pueda corregirlos a todos. En este caso, el eco se transforma en interferente y puede llegar a destruir completamente la señal si su nivel excediera el límite de protección por interferencia cocanal, impidiendo el funcionamiento de la red SFN.

2.5.1 Criterios de selección del intervalo de guarda para proyectos de redes SFN

Durante la etapa de proyecto, es necesario considerar qué servicios debe prestar la red. Los radiodifusores mayoritariamente optan por ofrecer ambos simultáneamente. Para

el servicio móvil, se puede transmitir LDTV por medio del "one seg", o bien el multicast de varios programas SDTV.

En los comienzos del desarrollo de la TVD-T, en el sistema DVB-T se determinó que era más conveniente el Modo 2K (equivalente al Modo 1 de ISDB-T_b) para la recepción móvil, debido a la mayor separación de portadoras y su mayor inmunidad a la interferencia entre ellas (ICI) provocada por el efecto Doppler.

Sin embargo, dado que la duración del tiempo útil de símbolo es igual a la inversa de la separación de frecuencia entre las portadoras, el Modo 1 arroja un periodo útil del símbolo muy corto y por ende un intervalo de guarda limitado en términos de valor absoluto. En las redes SFN es conveniente (aunque no excluyente), instalar transmisores a una distancia tal que los puntos de recepción cercanos a uno de los emisores se encuentren dentro del intervalo de guarda de la señal proveniente del otro emisor. En caso de emplear el Modo 1, este requisito se traduciría en una mayor cercanía entre las estaciones (ver Tabla 2.2), haciendo que los costos de la red se incrementen notablemente.

Para evitar este problema, en DVB-T se incluyó el Modo 8K (equivalente al Modo 3 de ISDB-T_b), con mayor cantidad de portadoras de menor separación y un tiempo útil de símbolo e intervalos de guarda de mayor duración, permitiendo la instalación de transmisores con mayores distancias entre ellos.

Cuando se desarrolló el estándar ISDB-T_b, se tuvo en cuenta la experiencia recogida durante la implementación del DVB-T y se decidió incorporar el Modo 2, un modo intermedio que reúne (al menos en la teoría) las virtudes de los Modos 1 y 3.

En la práctica el Modo 2 no muestra diferencias significativas de funcionamiento con el Modo 3, por lo menos para las velocidades de desplazamiento de los vehículos terrestres y en general puede decirse que la implementación se está realizando en el Modo 3.

Cuando se trabaja en el cálculo de redes SFN, es conveniente manejar ciertas reglas prácticas en base a magnitudes fácilmente comparables. Una de ellas es la distancia recorrida por la onda electromagnética: 90 km cada 300 μ s, relación numérica muy sencilla y útil para trabajar con los intervalos de guarda.

La Tabla 2.2 muestra que el mayor intervalo de guarda en términos absolutos corresponde al Modo 3, con un valor de 252 μ s ($\Delta = 1/4$), que equivale a un recorrido de la señal de 75,6 km. Este valor de intervalo es el que permite instalar las estaciones de una red SFN a la mayor distancia posible, siempre que se verifique que los puntos de recepción más cercanos a alguno de los emisores se encuentren dentro del intervalo de guarda de las señales emitidas por los transmisores más lejanos.

Resulta sencillo visualizar que empleando el Modo 3, con un intervalo de guarda de $252 \mu\text{s}$ y un transmisor instalado muy cerca de la ciudad, es prácticamente imposible que los ecos que se generan puedan superar los 76 km de recorrido adicional, por más complejos que sean los rebotes que se produzcan en las estructuras y edificios. Es importante que el proyectista tenga en cuenta que si la intensidad de los ecos resulta suficientemente elevada y deteriora la relación C/I a tal punto que la ubica por debajo de la relación de protección co-canal, indefectiblemente se producirá interferencia.

Tabla N° 2.2 Duración del intervalo de guarda y sus equivalentes en distancia. Fuente [1]

Modo	T_u	Δ	$T_G(\mu\text{s})$	$T_S(\mu\text{s})$	$d_{\text{max}}(\text{km})$
1	252 μs	1/4	63,000	315,000	18,90
		1/8	31,500	283,500	9,45
		1/16	15,750	267,750	4,72
		1/32	7,875	259,875	2,36
2	504 μs	1/4	126,00	630,00	37,80
		1/8	63,00	567,00	18,90
		1/16	31,50	535,50	9,45
		1/32	15,75	519,75	4,72
3	1008 μs	1/4	252,00	1260,00	75,60
		1/8	126,00	1134,00	37,80
		1/16	63,00	1071,00	18,90
		1/32	31,50	1039,50	9,45

2.6 Tasas de transmisión y parámetros del sistema

En la teoría de la multiplexación OFDM, la deducción de los parámetros básicos que gobiernan el funcionamiento del sistema fue posible a partir del conocimiento de la relación C/N, teniendo en cuenta que esta condiciona a la tasa de transmisión.

La relación portadora ruido (C/N) es un parámetro de extrema importancia para cualquier sistema de telecomunicaciones. En un punto cualquiera del área de servicio, es la razón entre el valor de la intensidad de campo de la señal útil y el nivel de ruido en ese punto, nivel que depende de varios factores, algunos de ellos asociados directamente al receptor.

A continuación, se presentarán las relaciones existentes entre todos los parámetros de transmisión que influyen sobre la tasa de transmisión. Los estándares ISDB-T_b y DVB-T presentan la información de manera diferente. Sin embargo, estas de alguna manera se complementan, por lo que ambas resultan útiles para el trabajo del ingeniero de TV.

2.6.1 Especificación de las tasas de transmisión de acuerdo al estándar DVB-T

La Tabla 2.3 muestra los parámetros que utiliza el estándar DVB-T para especificar las tasas de transmisión en función de la relación C/N: Esquema de modulación (b_p), relación de codificación convolucional (K_i) relación de guarda (D) y modelo de canal.

Tabla N° 2.3 Tasas de transmisión y valores de C/N según estándar DVB-T. Fuente[16]

Valores para BWch = 6 MHz		Relación C/N necesaria (*)			Tasa de transmisión (Mbps)			
		Tipo de canal			Intervalo de guarda			
Esquema de modulación	K_i	Gauss	Rice	Rayleigh	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,10	3,60	5,40	3,732	4,147	4,391	4,524
	2/3	4,90	5,70	8,40	4,976	5,529	5,855	6,032
	3/4	5,90	6,80	10,70	5,599	6,221	6,587	6,786
	5/6	6,90	8,00	13,10	6,221	6,912	7,318	7,540
	7/8	7,70	8,70	16,30	6,532	7,257	7,684	7,917
16-QAM	1/2	8,80	9,60	11,20	7,465	8,294	8,782	9,048
	2/3	11,10	11,60	14,20	9,953	11,059	11,709	12,064
	3/4	12,50	13,00	16,70	11,197	12,441	13,173	13,572
	5/6	13,50	14,40	19,30	12,441	13,824	14,637	15,080
	7/8	13,90	15,00	22,80	13,063	14,515	15,369	15,834
64-QAM	1/2	14,40	14,70	16,00	11,197	12,441	13,173	13,572
	2/3	16,50	17,10	19,30	14,929	16,588	17,564	18,096
	3/4	18,00	18,60	21,70	16,796	18,662	19,760	20,358
	5/6	19,30	20,00	25,30	18,662	20,735	21,955	22,620
	7/8	20,10	21,00	27,90	19,595	21,772	23,053	23,571

(*) BER= 2×10^{-4} después de Viterbi Quasi Error Free (QEF) después de Reed-Solomon

2.6.2 Especificación de las tasas de transmisión para el sistema ISDB-Tb

A la fecha no se tiene información de trabajos de medición con métodos estadísticos aplicables a los modelos de Rice y Rayleigh para ISDB-Tb. En base a las Normas 15601 y 15608-1 ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas) y con criterios diferentes a los empleados por DVB-T, se ha construido la Tabla 2.4, donde se reflejan los valores de C/N necesarios y las tasas de transmisión en función del esquema de modulación (b_p), intervalo de guarda y relación de codificación convolucional (K_i).

Los valores de C/N se encuentran especificados únicamente para el modelo de canal de Gauss, en contraste con DVB-T, que además especifica los valores C/N mínimos necesarios para los modelos de Rice y Rayleigh. Sin embargo, en el Anexo 3 de la Reco-

mendación UIT-R BT. 1368-9 Fuente [6], se encuentran detallados los valores de C/N mínimos necesarios para cada tipo de recepción: Tabla 86 para recepción fija (reproducida en la Tabla 2.1), Tabla 88 para recepción portátil interna y externa y Tabla 89 para recepción móvil, tomando en consideración el efecto Doppler.

Tabla N° 2.4 Tasas de transmisión y valores de C/N para ISDB-T_b. Fuente [1]

Valores para 13 segmentos		Relación C/N necesaria (AWGN)	Tasa de transmisión (Mbus)			
Esquema de modulación	K _i		Intervalo de guarda			
			¼	1/8	1/16	1/32
QPSK (*)	1/2	5,0	3,651	4,057	4,296	4,426
	2/3	6,6	4,868	5,409	5,727	5,901
	3/4	7,6	5,477	6,085	6,443	6,639
	5/6	8,5	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	9,2	6,390	7,100	7,517	7,745
DQPSK	1/2	6,2	3,651	4,057	4,296	4,426
	2/3	7,7	4,868	5,409	5,727	5,901
	3/4	8,7	5,477	6,085	6,443	6,639
	5/6	9,6	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	10,4	6,390	7,100	7,517	7,745
16-QAM	1/2	11,5	7,302	8,114	8,591	8,851
	2/3	13,5	9,737	10,818	11,455	11,802
	3/4	14,6	10,954	12,171	12,887	13,277
	5/6	15,6	12,171	13,523	14,318	14,752
	7/8	16,2	12,779	14,199	15,034	15,490
64-QAM	1/2	16,5	10,954	12,171	12,887	13,277
	2/3	18,7	14,605	16,228	17,182	17,703
	3/4	20,1	16,430	18,256	19,330	19,916
	5/6	21,3	18,256	20,284	21,478	22,128
	7/8	22,0	19,169	21,299	22,552	23,235

2.6.3 Consideraciones generales sobre los parámetros de transmisión

Para la correcta configuración del sistema de transmisión, es necesario definir una gran cantidad de parámetros que están completamente interrelacionados. El proyectista debe conocer muy bien las relaciones para elegir la combinación más conveniente. Tales consideraciones generales son:

- 1) Con un canal de Rayleigh se necesita una relación C/N más elevada que con el modelo de Rice. Esta afirmación resulta fácil de comprender, ya que el canal de Rice contempla la recepción con antenas fijas, a una altura normalizada de 10 metros, mientras que en el modelo de Rayleigh se tienen en cuenta las antenas internas.
- 2) La variación del intervalo de guarda no influye en la relación C/N, siempre que se mantengan fijos los demás parámetros.

- 3) La variación del intervalo de guarda influye en la tasa de transmisión de datos, siempre que se mantengan fijos los demás parámetros que la definen.
- 4) La variación de la relación de codificación convolucional K_1 modifica el valor del C/N necesario y la tasa de transmisión. Cuando menor es su valor, más robusta es la transmisión (pero más baja es la tasa de datos).
- 5) En cuanto al esquema de modulación, a mayor cantidad de bits por símbolo, mayor es la tasa de transmisión alcanzada, pero menor es la robustez, siendo necesaria una mayor relación C/N (más potencia de transmisión).
- 6) Si se aumenta la potencia de emisión siempre habrá una mejora en la relación C/N y mayor robustez, con la condición de que dicho aumento de potencia no traiga consigo la aparición de productos de intermodulación, al trabajar en zonas no lineales del sistema.

2.7 Retardos de tiempo

En este apartado se analizarán los requisitos que deben cumplirse para lograr la sincronización de todos los transmisores de una red SFN de modo que "se transmitan los mismos bits de manera sincronizada y en la misma frecuencia".

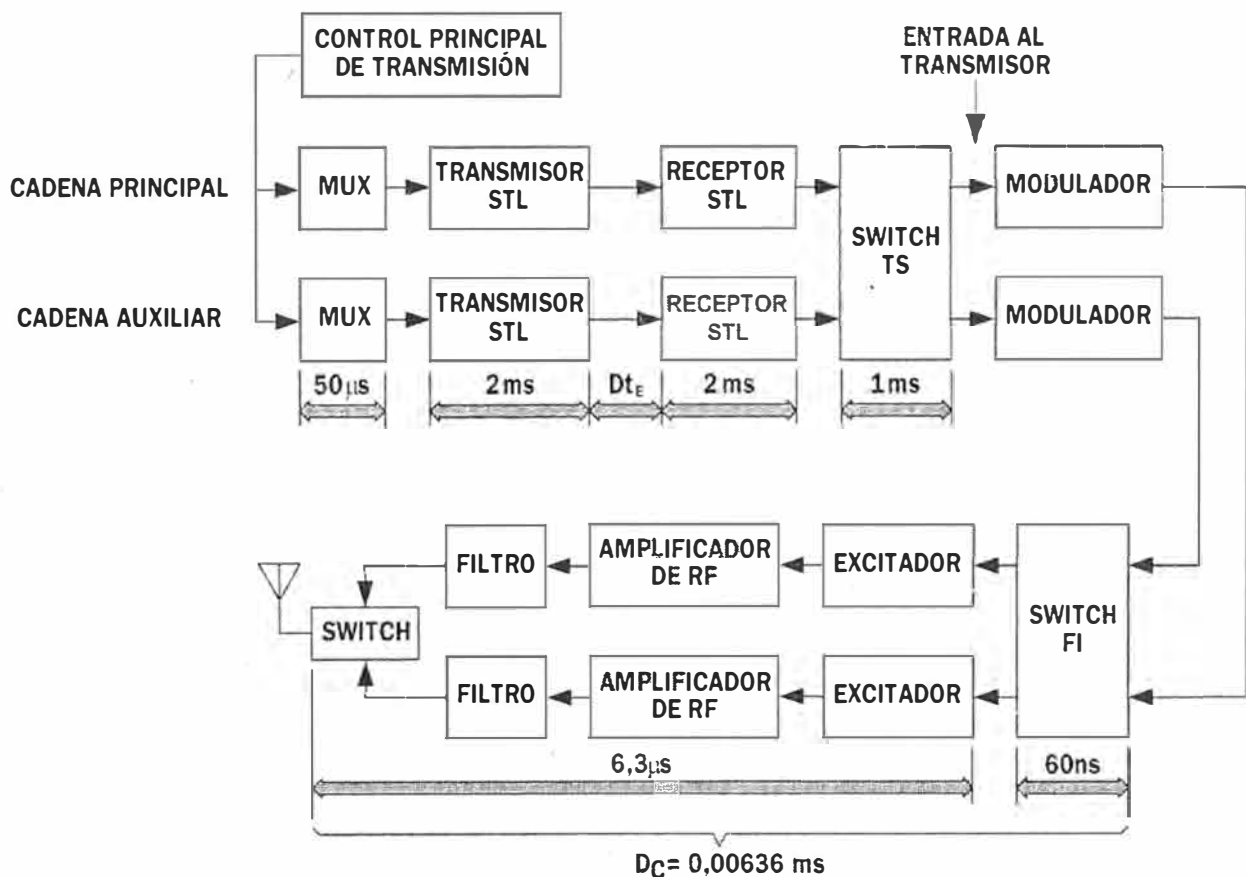


Figura 2.7 Retardos en la cadena de transmisión. Fuente [15]

La Figura 2.7 muestra un sistema de transmisión completo, desde los estudios hasta la salida del transmisor hacia la antena, ambos vinculados por medio de un enlace estudio- planta transmisora (STL).

Puede verse que prácticamente la totalidad de la cadena se encuentra duplicada, con el objetivo de asegurar la máxima confiabilidad del servicio, aspecto muy importante en emisoras de primer nivel con grandes audiencias. Los retardos que se muestran en cada etapa son ejemplificativos y por lo general se los encuentra en la mayoría de las instalaciones. Para enlaces satelitales, el valor de D_{Tf} es muy significativo, y puede superar los 500 ms, razón por la cual se lo especifica por separado.

Los bloques rotulados switch cumplen la función de conmutar parcialmente las etapas que están duplicadas.

Dado que los transmisores de una red SFN no se encuentran en la misma zona geográfica y que la señal no es procesada por el mismo hardware, ni enviada por los mismos enlaces desde la cabecera, la condición de sincronización expuesta más arriba no se cumplirá, a menos que se tomen algunas previsiones.

La solución consiste en agregar a cada transmisor de la red un retardo de tiempo, cuyo valor debe ser tal que todos los transmisores de la red logren irradiar la misma señal de manera sincrónica.

2.7.1 Compensación estática de retardo

La compensación estática consiste en programar manualmente el valor de retardo con el cual debe funcionar la línea de retardo con la que están equipados los circuitos del modulador. Esta programación puede hacerse desde dos lugares distintos:

- a) Desde el control remoto del MCT (Main Control Transmission), en los estudios de la emisora.
- b) En cada modulador de la red.

En ambos casos se requiere que el flujo BTS transporte una la señal de referencia de 10 MHz, que se genera en el control principal con un oscilador de altísima precisión y gran estabilidad, con el objetivo de sincronizar los relojes de los moduladores.

a) Ajuste de la compensación estática de retardo, desde el MCT

La Figura 2.8 muestra una red SFN compuesta por tres estaciones: la Estación Principal, la Estación 2 y la Estación 3. Puede verse que el flujo de datos BTS se va retrasando en orden sucesivo, a medida que pasa por cada estación, debido a los retardos introducidos por los STL/ TTL y las etapas de conmutación (no dibujadas aquí) por las que pasa la señal.

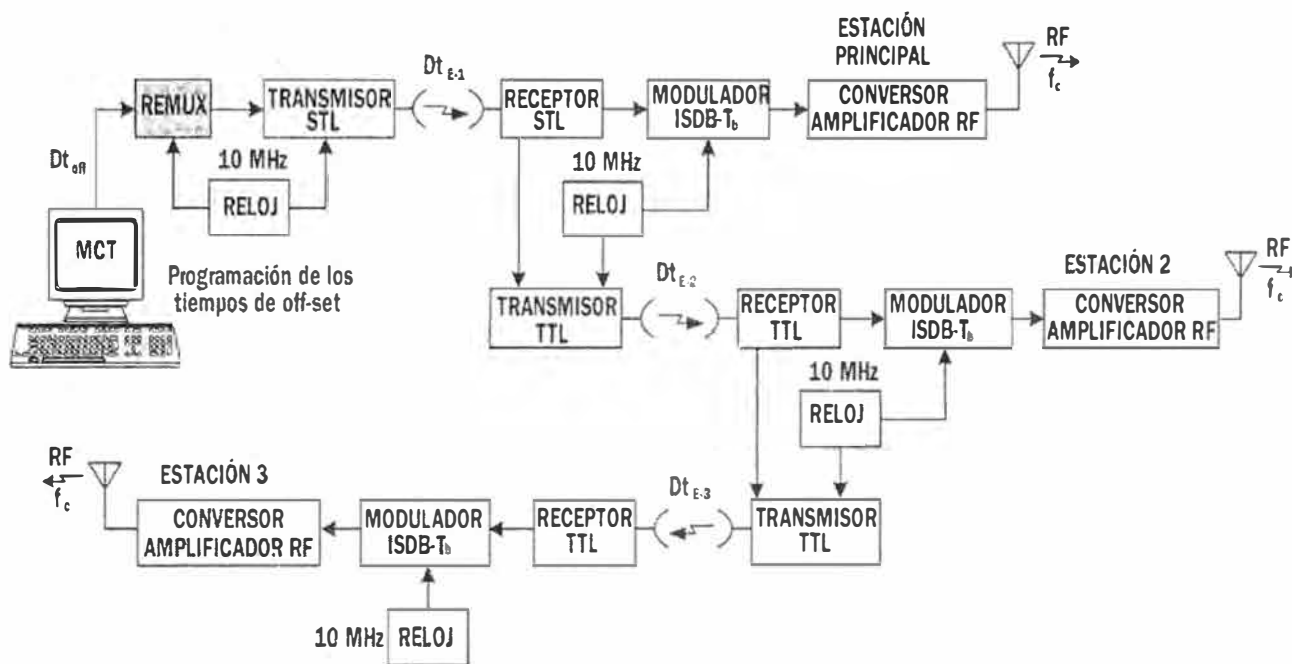


Figura 2.8 Ajuste de la compensación estática de retardo, desde el MCT. Fuente [15]

El ingeniero programa desde la computadora del MCT, los valores del retardo adicional que deben introducirse en cada modulador, para lo cual debe conocer de antemano la cadena de retardos de cada estación. El análisis detenido de la Figura 2.8 permite deducir que cada estación tendrá un valor de retardo distinto.

Llamando Dt_{off} al retardo adicional programado para cada transmisor y tomando como referencia los valores de la cadena mostrada en la Figura 2.7, se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

Para la Estación Principal:

$$Dt_{TX1} = Dt_{off1} + 5ms + Dt_{E-1} + 0,00636ms \quad (2.16)$$

Para la Estación 2

$$Dt_{TX2} = Dt_{off2} + 5ms + Dt_{E-1} + 0,00636ms + 5ms + Dt_{E-2} + 5ms + Dt_{E-3} \quad (2.17)$$

Para la Estación 3

$$Dt_{TX3} = Dt_{off3} + 5ms + Dt_{E-1} + 0,00636ms + 5ms + Dt_{E-23} \quad (2.18)$$

Nota 1: El retardo de $50 \mu s$ introducido por el remultiplexor no debe tomarse en cuenta, porque es el retardo general del flujo BTS común para los tres emisores. En caso de que sea necesario conocer el valor absoluto total de los retardos, los $50 \mu s$ deberían ser sumados a los tres.

Nota 2: De manera análoga, el retardo de $6,36 \mu s$ no es acumulativo, ya que para este ejemplo se supone que el equipamiento de las tres plantas transmisoras es exactamente

el mismo y por lo tanto introducen el mismo retardo en la parte final del procesamiento de la señal.

Nota 3: Tampoco debe considerarse el retardo introducido por el entrelazado de tiempo, pues se trata de un mecanismo de protección que opera solamente en la trayectoria de propagación desde el emisor hacia el receptor y afecta por igual a todos los transmisores de la red.

b) *Ajuste de la compensación estática de retardo, en cada modulador de la red:*

Este procedimiento de ajuste aún necesita la señal de referencia de 10 MHz enviada desde los estudios y transportada por el BTS. La ventaja de esta segunda alternativa es que se necesita menos hardware en el MCT, pero requiere la presencia de un técnico de campo en cada sitio para realizar el ajuste. La Figura 2.9 ilustra los puntos de ajuste de retardo de la red en cada uno de los moduladores.

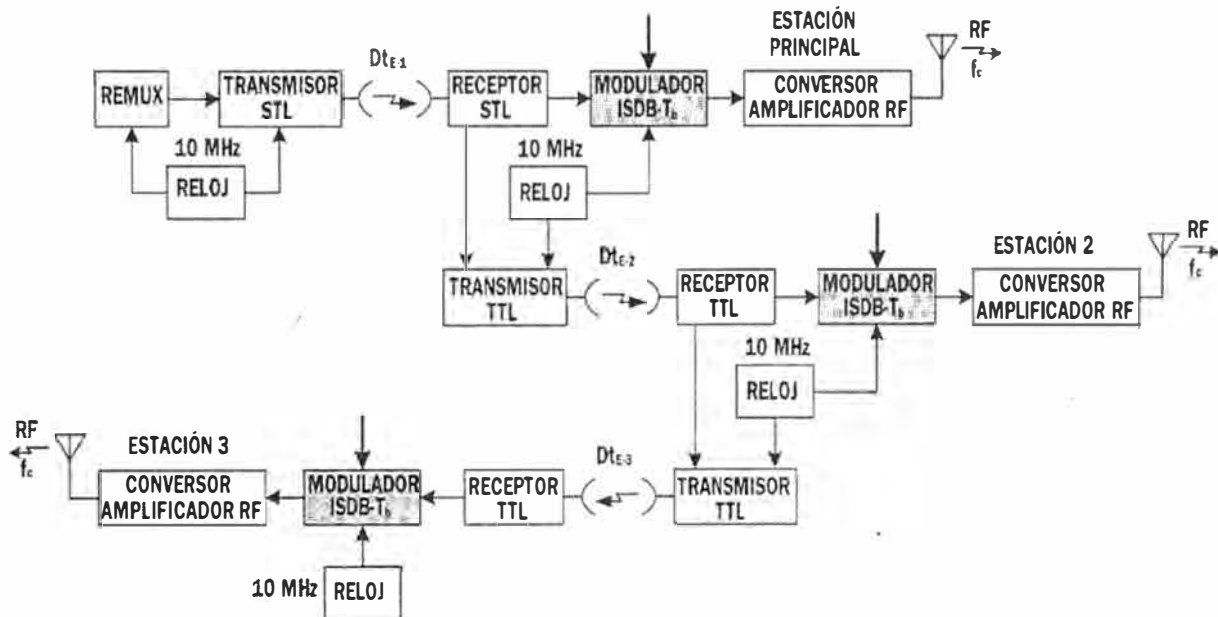


Figura 2.9 Ajuste de compensación estática de retardo, en cada modulador. Fuente [15]

2.7.2 Compensación dinámica de retardo

En la Figura 2.10, se aplica compensación dinámica de retardo a cada transmisor de la red SFN. Su principal ventaja es que los ajustes de retardo se realizan automáticamente, aún en el caso de variaciones en los circuitos electrónicos o cambios de estado de los equipos que conforman la cadena. También podría ocurrir que un STL quedara fuera de servicio y tenga que recurrirse, aunque sea de manera temporal, a un STL de respaldo o bien un enlace por satélite, que seguramente cambiará el equilibrio de los retardos programados de manera estática. Si esto ocurriera, toda la red debería ser manualmente reajustada y de manera inmediata.

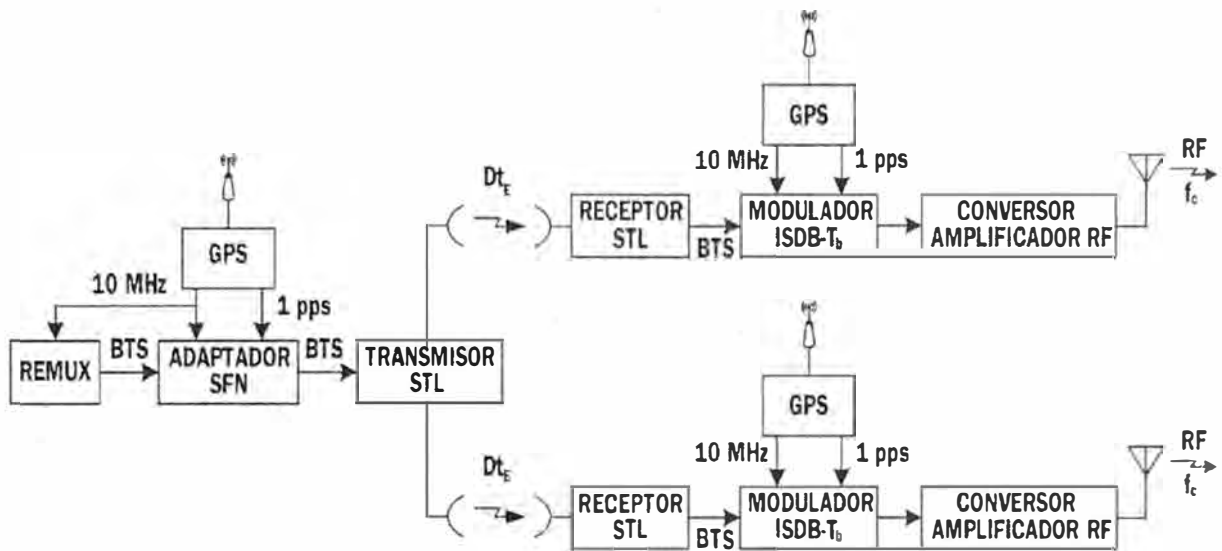


Figura 2.10 Red SFN con compensación dinámica de retardos. Fuente [15]

En la Figura 2.10 también se observa que las referencias de tiempo y frecuencia necesarias para sincronizar los transmisores de la red se toman desde receptores GPS. Por lo tanto, es muy importante duplicar el sistema de recepción del mismo, previendo incluso un sistema de recepción por diversidad de espacio (dos o más antenas) para cada uno de los receptores instalados.

El STS (Sincronization Time Stamp o Referencia de Tiempo de Sincronización), es la referencia a partir de la cual se calcula el ajuste de retardo en el esquema de compensación dinámica. La Figura 2.11 muestra un esquema simplificado de su funcionamiento.

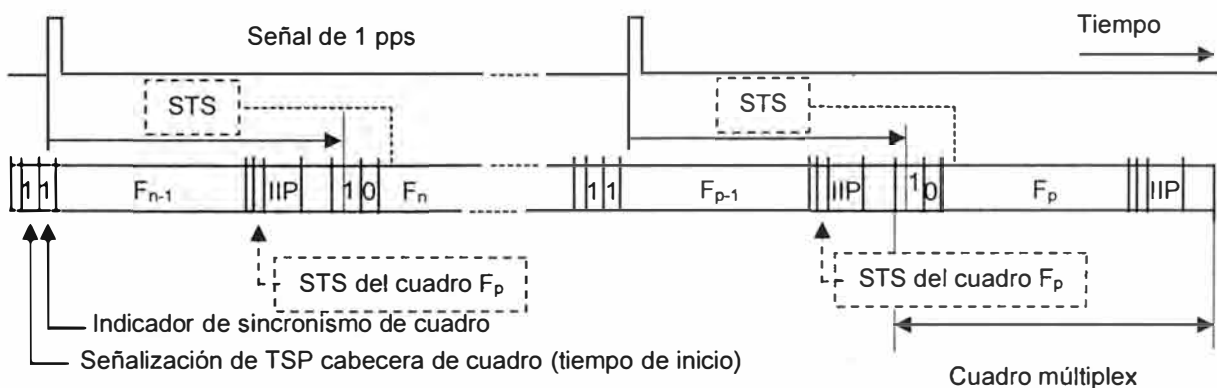


Figura 2.11 Referencia de Tiempo de Sincronización (STS). Fuente [2]

El STS es la diferencia de tiempo entre el flanco ascendente del pulso de la señal de 1 pps del GPS y el bit de señalización del TSP cabecera del cuadro múltiplex inmediato sucesivo, siempre que el bit indicador de sincronismo esté en 0, es decir se trate de un cuadro par (cuadros F_n y F_p en la Figura 2.11). Se deduce que el cuadro precedente F_{n-1} transporta en su paquete IIP la referencia STS que se mide con respecto al comienzo del cuadro sucesivo F_i es decir, le indica a cada modulador de la red cuanto tiempo transcu-

rrirá desde el pulso de 1 pus hasta la llegada del próximo cuadro. Resulta evidente que este esquema de señalización introduce cierto retardo, ya que es necesario esperar un cuadro par para calcular el STS e incluirlo en el paquete IIP del cuadro múltiplex actual.

La Figura 2.12 muestra un ejemplo de compensación dinámica de retardo ajustada en base a la referencia STS. El objetivo es lograr que todos los transmisores de la red estén sincronizados, igualando sus tiempos de salida de la emisión, como mínimo, al transmisor que presenta el mayor retardo. Esto significa que el retardo de toda la red podría ser un poco mayor, previendo que los transmisores podrían llegar a recibir las señales vía enlaces de reserva por falla de los principales o bien, ampliaciones de la red con transmisores enlazados por satélite, cuyo tiempo de tránsito es mayor.

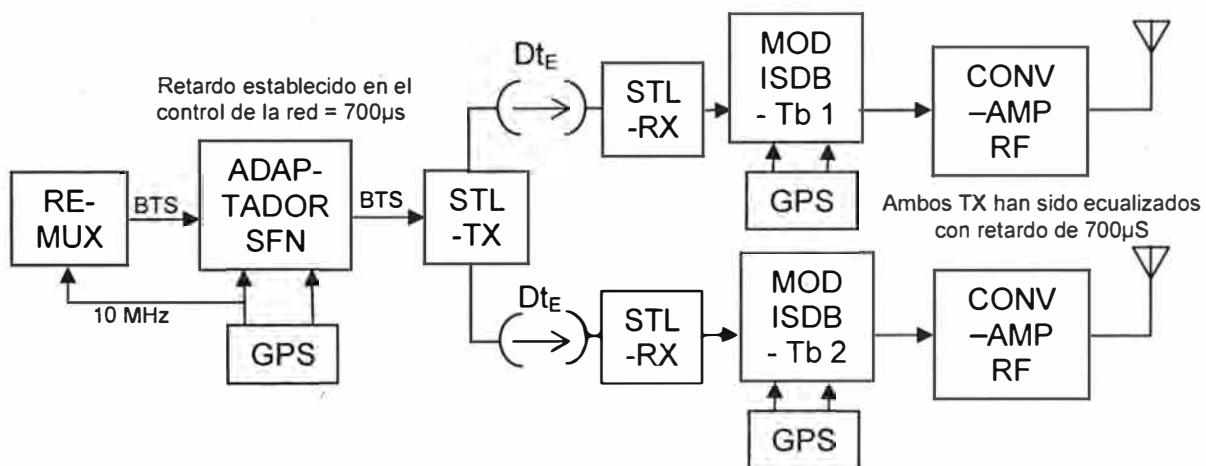


Figura 2.12 Compensación dinámica del retardo ajustada en base al STS. Fuente [15]

El Modulador ISDB-Tb 1 determina, en base al STS, que su retardo es de $200 \mu s$ y además recibe, desde el control de la red ubicado en estudios, el dato con el valor del retardo máximo de la red $Dt_{m\acute{a}x}$, que debe ser igual a $700 \mu s$. Sabiendo que se cumple:

$$Dt_{m\acute{a}x}[\text{seg}] = STS + Dt_E + Dt_{mod} \quad (2.19)$$

Con esos datos, el modulador establece el valor del ajuste de retardo que debe insertar:

$$Dt_{mod} = Dt_{m\acute{a}x} - (STS + Dt_E) \quad (2.20)$$

$$Dt_{mod} = 700 \mu s - 200 \mu s = 500 \mu s \quad (2.21)$$

Si se tiene en cuenta el retardo inherente al procesamiento de la señal OFDM de cada modulador de la red (Dt_{proc}), el retardo adicional que deberá introducir cada modulador de la red (Dt_{calc}), resulta:

$$Dt_{calc}[\mu s] = Dt_{mod} - Dt_{proc} \quad (2.23)$$

En el Modulador ISDB-Tb 2 se realiza el mismo procedimiento, obteniéndose un valor de ajuste de $400 \mu\text{s}$. Así todos los transmisores de la red quedarán correctamente sincronizados, cumpliéndose : "transmitir los mismos bits de manera sincronizada".

2.7.3 Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda

En la Figura 2.13 pueden verse dos ciudades que son servidas por dos transmisores de una red SFN. Primero se analizará lo que ocurre con la Ciudad 2.

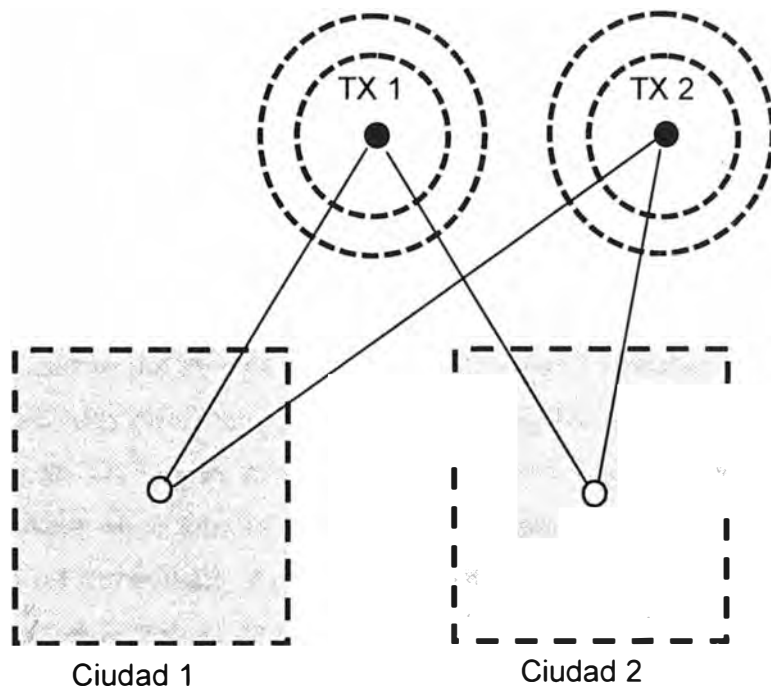


Figura 2.13 Diferencia de tiempo entre dos señales que llegan a un punto. Fuente [2]

Generalmente, las trayectorias tienen longitudes diferentes, sin embargo, en este ejemplo la diferencia entre las distancias recorridas por las señales provenientes de TX 1 y TX 2 es bastante reducida. Si esa diferencia es menor que la distancia que recorre la señal en un tiempo igual al intervalo de guarda, entonces se puede afirmar con total seguridad que la Ciudad 2 se encuentra dentro del intervalo de guarda de ambos transmisores y las señales no se interferirán entre sí. Es más, bajo ciertas condiciones se sumarán y reforzarán, dando como resultado una "ganancia de red".

En el caso de la Ciudad 1, suponiendo que la diferencia de trayectos traducida en tiempo escapa al intervalo de guarda, los transmisores se interferirán y la población no podrá recibir la programación de la red.

Existe una solución muy práctica que permite conseguir el "desplazamiento electromagnético" del transmisor TX 2 hacia el TX 1, reduciendo la diferencia entre las longitudes de los trayectos, de modo que las señales que arriban a la Ciudad 1 queden dentro

del intervalo de guarda de ambos transmisores. Esto se logra mediante la aplicación de nuevos retardos.

La Figura 2.14 muestra de qué manera se presentan las mediciones de los ecos en la pantalla de un medidor de campo equipado con esta opción. El instrumento se encuentra en algún punto de recepción ubicado dentro del área de cobertura de la red SFN. El tiempo de llegada se muestra en el eje de las abscisas, mientras que sus respectivos niveles se encuentran en las ordenadas. El término "eco" se utiliza para referirse en general a todas las señales de la red presentes en un determinado punto de recepción.

En el ejemplo de la Figura 2.14, se supondrá que el instrumento de medición está ubicado en la Ciudad 1 y que el eco 1 proviene del transmisor TX 1, mientras que el eco 4 corresponde a TX 2. Claramente, el primer eco llega dentro del intervalo de guarda y el segundo queda afuera de él.

Se puede desplazar físicamente a TX 2 hacia la Ciudad 1, de modo que el eco 4 llegue antes y quede dentro del intervalo de guarda. El mismo resultado se puede lograr sin cambiar la ubicación del transmisor, desplazándolo electro-magnéticamente, es decir insertando un retraso en TX 1 o un "adelanto" de la misma magnitud en TX 2, de modo que ambos se encuentren en el intervalo de guarda utilizado por la red. Recuerdese que el desplazamiento de un transmisor, en un sentido o en otro, puede crear una interferencia con otro transmisor de la red en una zona donde el corrimiento provoca que los ecos queden fuera del intervalo de guarda. La habilidad del diseñador junto con la versatilidad del software de cálculo, permitirán encontrar la mejor solución para el problema.

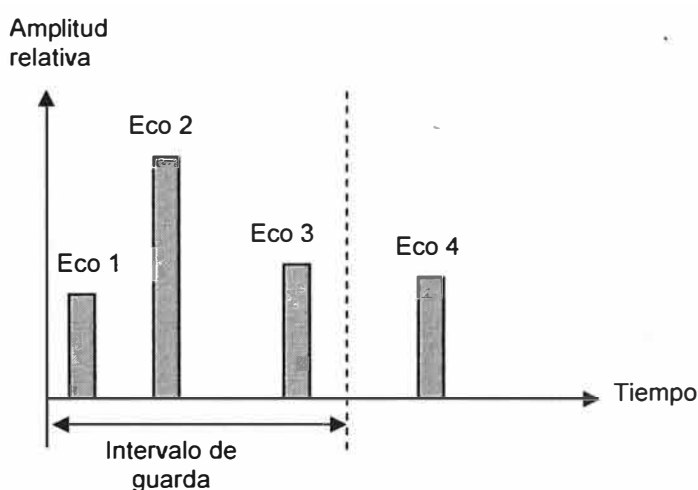


Figura 2.14 Tiempos de llegada de los ecos. Fuente [12]

En la Figura 2.15 se muestra una representación que permite comprender el significado de desplazar electromagnéticamente un transmisor. Es una gráfica de la relación existente entre la intensidad de la señal recibida y la distancia/tiempo entre el emisor y el

punto de recepción. Las curvas logarítmicas corresponden a la intensidad de campo en función de la distancia.

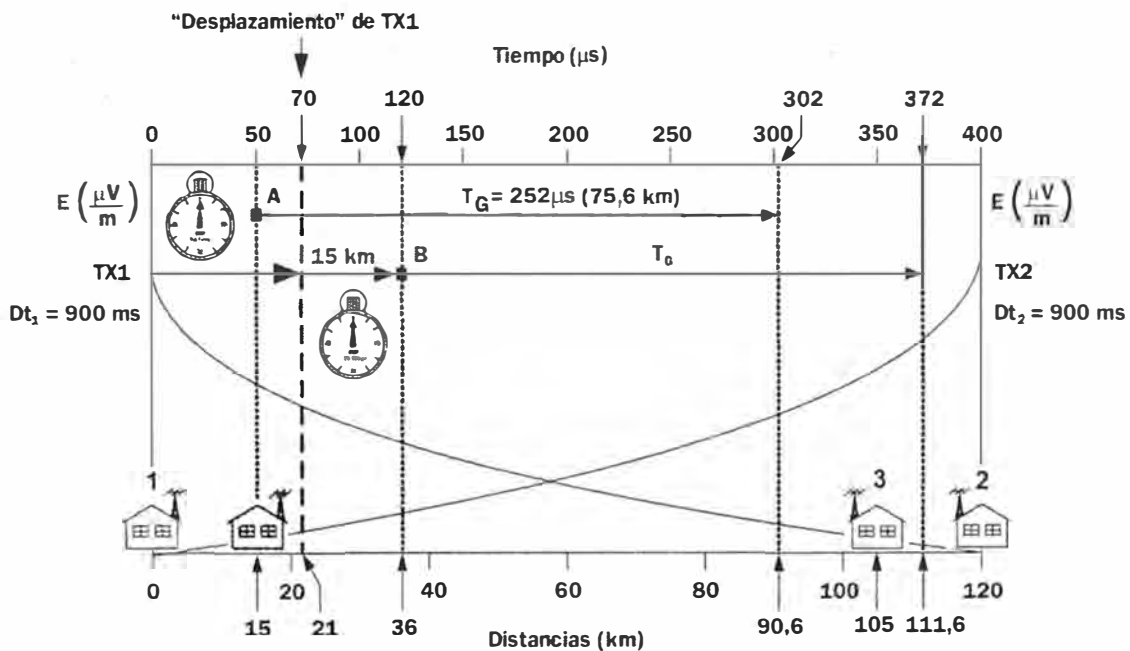


Figura 2.15 Relación entre intensidad de la señal recibida y distancia/tiempo al punto de recepción. Fuente [2]

En este ejemplo, el sistema se configura en el Modo 3 con una relación $\Delta = 1/4$, es decir un intervalo de guarda de $252 \mu s$, equivalente a 75,6 km. Se procura sincronizar los transmisores TX 1 y TX 2 para que las señales emitidas por ambos lleguen a la zona urbanizada 3 dentro del intervalo de guarda (las zonas urbanizadas están representadas por una vivienda y su antena). La zona 1 está dentro de la cobertura TX 1, mientras que la zona 2 se encuentra en el área de servicio de TX 2.

Inicialmente los dos emisores de la red han sido ajustados con un retardo total de 900 ms, puede verse con total claridad que la zona 3 se encuentra fuera del intervalo de guarda del transmisor TX 1, pero con suficiente intensidad de señal como para crear interferencia y anular la recepción en esta zona.

En efecto, el proceso de sincronización comienza cuando la señal del TX 2 llega a la zona 3, luego de recorrer 15 km en 50 ms (ver las escalas de tiempo y de distancia en la Figura 2.15). En ese preciso momento, la señal del TX 1 también ha recorrido 15 km, y llega a la posición marcada en la figura mediante una "vivienda virtual". A partir de ese instante, en el receptor de la zona 3 comienza a correr el período del intervalo de guarda de $252 \mu s$, indicado en A por el cronómetro y el inicio de la flecha T_G , se aprecia que no es suficiente para que la señal proveniente de TX 1 pueda alcanzar la zona 3, ya que en $302 \mu s$ habrá recorrido 90,6 km.

Sin embargo, el proyectista puede adelantar la señal de TX 1, por ejemplo 70 ms (ver la escala de tiempo en la parte superior de la Figura 2.15) y por lo tanto, el tiempo del intervalo de guarda recién comenzará a correr a partir de los 120 μ s (70 μ s + 50 μ s), instante señalado en B por el cronómetro y su correspondiente flecha T_G . A partir de ese punto y transcurridos 252 μ s, es decir a los 372 μ s, la señal habrá alcanzado y superado la zona 3, llegando a los 111,6 km. Así la zona quedará incluida dentro del intervalo de guarda de ambos transmisores, evitando cualquier posibilidad de interferencia.

El "adelanto" se consigue simplemente restando 70 μ s al retardo total del transmisor TX 1, es decir reajustándolo de 900 ms a 899,93 ms.

Una situación bastante común en las redes SFN se presenta cuando a una misma zona o área importante de recepción llegan varias señales provenientes de diversos transmisores de la misma red junto con sus correspondientes ecos. En estos casos debe tenerse especial cuidado de que todas ellas o por lo menos las que tengan suficiente nivel de intensidad se encuentren dentro del intervalo de guarda.

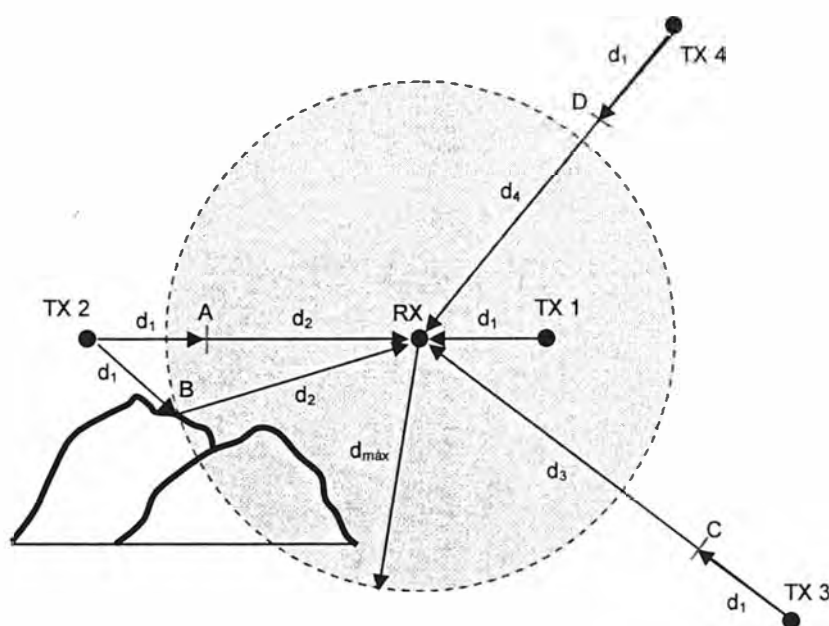


Figura 2.16 Retardos a introducir en zona servida por TX sincronizados. Fuente [15]

La Figura 2.16 ilustra una zona de recepción con un receptor RX ubicado en el centro, servida por los transmisores TX 1, TX 2, TX 3 y TX 4. El TX 2 también llega a RX a través de una reflexión producida en las montañas cercanas. El círculo sombreado en gris tiene un radio d_{\max} igual a la distancia recorrida por la señal durante el tiempo del intervalo de guarda.

Es muy importante destacar que todo el proceso de sincronización está relacionado con la posición que ocupa el receptor (área de recepción) con respecto a los transmisores.

res, tomando como referencia el instante de tiempo en el cual la primera señal llega al receptor (TX 1 en este ejemplo). La condición para que "los mismos bits se transmitan de manera sincronizada", significa que deberán llegar al receptor dentro del lapso de tiempo correspondiente al intervalo de guarda.

El objetivo que se debe perseguir es que las distancias diferenciales d_2 , d'_2 , d_3 y d_4 de los distintos haces sea menor que la distancia d_{\max} equivalente al intervalo de guarda. Esto se consigue ajustando los retardos de cada transmisor de la red.

El proceso de sincronización se inicia con la llegada a RX de la señal proveniente de TX 1 ya que es el más cercano y probablemente la de mayor intensidad en ese punto (más adelante se verán con detalle distintas técnicas de sincronización del receptor)

La señal emitida por TX 1 recorre la distancia d_1 , alcanzando al receptor RX en el tiempo t_1 . En ese preciso instante, se activa el mecanismo de sincronización del receptor, comenzando a correr el tiempo correspondiente al intervalo de guarda. En ese momento las señales emitidas por TX 2, TX 3 y TX 4 también habrán completado la misma distancia, llegando a los puntos A, B, C y D en el instante t_1 . Se aprecia que:

Las señales de TX 1 y TX 2 no se interferirán entre sí, ya que la emisión de TX 2 aún debe recorrer las distancias d_2 y d'_2 , ambas menores o iguales que d_{\max} y que se encuentran dentro del intervalo de guarda.

Las señales de TX 3 y TX 4 interferirán a la red, porque a partir del instante t_j deberán recorrer las distancias d_3 y d_4 , ambas mayores que d_{\max} , quedando fuera del intervalo de guarda.

El problema se soluciona adelantando la emisión de estos dos transmisores (mediante un desplazamiento temporal por reducción de sus retardos totales) o cambiando los lugares de sus emplazamientos físicos. Dado que el cambio del lugar de instalación inicialmente no está en discusión, el desplazamiento d_{despl} , en base a ajustes de retardo, se deberá calcular de la siguiente manera:

$$d_{\text{dif}} - d_{\text{despl}} \leq d_{\text{max}} \quad (2.22)$$

$$Dt_{\text{calc}} \times c \geq d_{\text{dif}} - d_{\text{max}} \quad (2.23)$$

$$Dt_{\text{calc}} \geq \frac{d_{\text{dif}} - d_{\text{max}}}{c} \quad (2.24)$$

$$Dt_{\text{calc}} [\mu\text{s}] \geq \frac{d_{\text{dif}} - d_{\text{max}}}{0.3[\text{km}/\mu\text{s}]} \quad (2.25)$$

Dónde:

d_{dif} es la distancia diferencial en km.

c es la velocidad de la luz.

Para realizar esta tarea, se necesitan dos herramientas básicas:

Un software de cálculo de cobertura asistido por computadora, que debe incluir todas las facilidades que aquí se describen, para poder determinar con precisión los retardos que deben introducirse en cada transmisor.

Los datos y la información recogidos en los trabajos de medición de campo durante la etapa de implementación, en el caso de verificarse alguna falta de sincronización por auto interferencias no previstas. La medición de los ecos en determinados puntos de recepción, le permite al proyectista conocer la distancia a la cual se encuentra el transmisor interferente y por lo tanto, podrá calcular el ajuste de retardo necesario para desplazarlo electromagnéticamente, logrando que sus señales entren dentro del intervalo de guarda de los otros transmisores.

Nota: Frecuentemente, en la bibliografía y en los manuales técnicos se utiliza el término delay en inglés para referirse al retardo (de hecho, en este informe se utiliza la letra D como símbolo algebraico de los retardos). En general, los programas de cálculo asistido utilizan terminología en idioma inglés. No debe confundirse el "retardo de red" $D_{t_{\text{máx}}}$ con el concepto de "atraso" o "adelanto" de un transmisor analizado en este punto, dado que los programas suelen emplear el término delay para referirse a éste último, mientras que para el retardo de red se utilizan los vocablos network delay.

2.8 Ganancia de Red

En la Figura 2.17 se muestra la superposición de las áreas de cobertura de distintos transmisores de una red SFN. En dichas áreas, si se cumplen ciertas condiciones, las potencias recibidas se suman, y dan como resultado una intensidad de campo mayor que la correspondiente a un solo transmisor. Se denomina así "ganancia de red" al incremento de nivel de campo que se obtiene en los puntos de recepción donde las áreas se superponen, comparado con el nivel generado en esos puntos por un solo transmisor.

En algunos casos se puede lograr hasta 9 dB de ganancia, lo cual es equivalente a incrementar la potencia del transmisor en ese valor. En una red SFN, existirán puntos de recepción que estarán cubiertos por más de un transmisor, lo que introduce una mejora en el nivel de señal que permitirá asegurar la disponibilidad del servicio, especialmente cuando se desea posibilitar la recepción portátil.

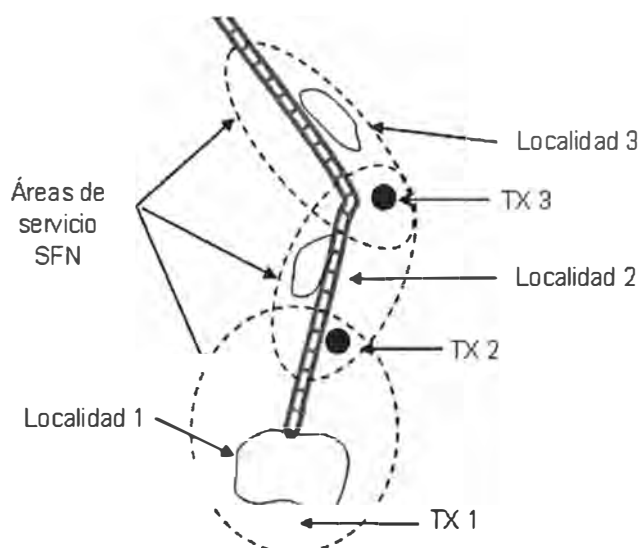


Figura 2.17 Amplitud y tiempos de llegada de los ecos. Fuente [2]

Con recepción portátil el valor de intensidad de campo colocado por un solo transmisor de la red, presenta variaciones estadísticas, las cuales se pueden reducir notablemente cuando hay varios transmisores ubicados en sitios diferentes (diversidad de espacio), de manera que cuando la señal proveniente de uno de ellos resulta afectada por el desvanecimiento, los restantes continúan colocando una buena señal.

Gracias a la ganancia de red, los transmisores principales pueden operar con potencias más bajas y la distribución de intensidad de campo es mucho más homogénea que en una red MFN. Este concepto se conoce como tecnología de potencias distribuidas.

2.8.1 Incidencia del nivel o intensidad de las señales en el sitio de recepción

En una SFN, los usuarios orientan sus antenas direccionales de recepción hacia un determinado emisor de la red, de manera que siempre prevalecerá la señal proveniente de uno de los transmisores. En estos casos, la ganancia de red se verá notablemente reducida, ya que las señales que llegan desde los otros emisores serán atenuadas por la relación frente-espalda de la antena.

Distinto es el caso de las antenas móviles omnidireccionales, donde la ventaja de la ganancia de red se hace más evidente, aunque, aun así, hay otros factores que podrían atenuarla.

Sin embargo, la suma de dos señales coherentes no siempre dará una resultante con un valor que asegure superar la relación C/N mínima necesaria para el correcto funcionamiento del receptor. En el capítulo anterior, en el apartado dedicado al estudio del desvanecimiento selectivo, pudo verse que cuando las señales recibidas tienen niveles de intensidad similares, los mínimos o valles del espectro resultante son más profundos,

comprometiendo la relación C/N con el riesgo de transformarse en una auto-interferencia de red en lugar de ganancia.

En la Figura 2.18 (A) se muestra el espectro resultante de dos señales coherentes cuyo nivel es similar, observándose la posibilidad de que los valles no lleguen a superar el C/N mínimo necesario para que el sistema funcione correctamente. En cambio, en la Figura 2.18 (B) las dos señales tienen niveles diferentes, con valles menos pronunciados y una mayor probabilidad de alcanzar o superar el C/N exigido.

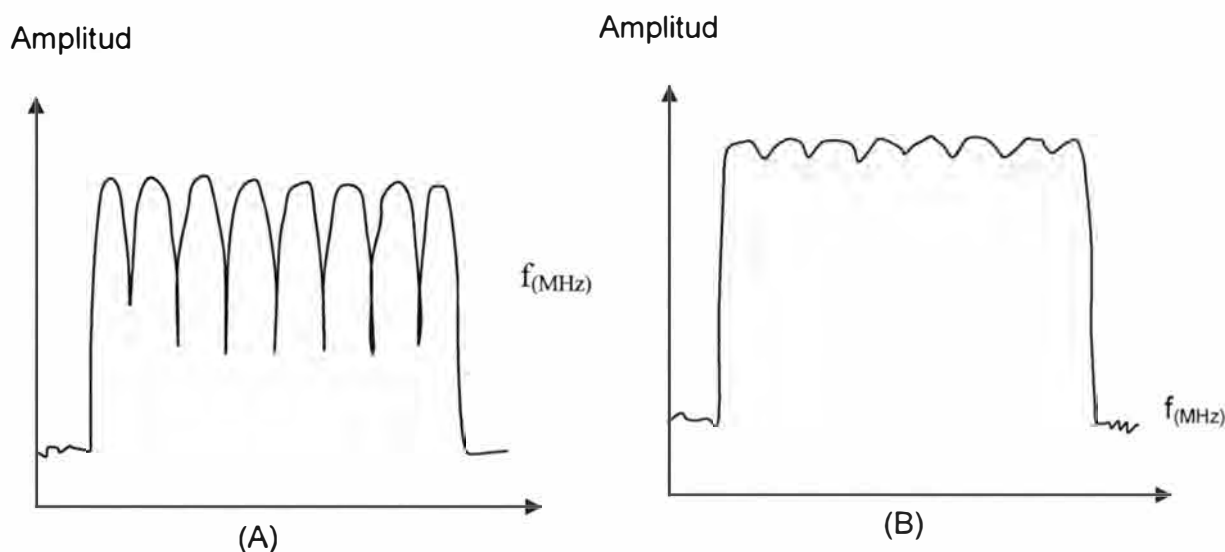


Figura 2.18 Espectros de la suma vectorial de dos señales coherentes. Fuente [2]

Si los niveles de señal de la Figura 2.18 (A) correspondiesen a transmisores de una red MFN, que el proyectista más tarde modificaría para transformarla en una SFN, sería necesario reducir la potencia de uno de los emisores para tratar de eliminar o atenuar los mínimos, evitando la posibilidad de auto-interferencia a la vez que se ahorra potencia, un beneficio que no resulta menor.

Dependiendo de su magnitud, la presencia de mínimos, valles o notches, puede no ser tan perjudicial, siempre que el aumento de la tasa de error (BER), pueda ser corregida por los esquemas de codificación concatenada del sistema.

2.8.2 Relación señal deseada a señal indeseada (D/U)

En este punto es necesario introducir el concepto de relación D/U (o también DUR, por Desired to Undesired Ratio). Este parámetro se utiliza fundamentalmente en SFN y en las normas ARIB de Japón. La D/U define la relación existente entre la señal de una red SFN que se desea demodular y el resto de las señales originadas por la misma red y que también llegan al receptor. Estas últimas son ecos que provienen de la misma emisión que se espera demodular o de otras emisiones de la red y sus respectivos ecos.

Es importante destacar que la relación D/U no es equivalente a la relación C/N, aunque las señales indeseadas pueden llegar a ser consideradas como ruido, bajo determinadas circunstancias.

La Figura 2.19 muestra con mayor detalle lo que sucede con cada una de las portadoras que se encuentran dentro del entorno del valle y de qué manera resultan afectadas. En (A) pueden verse tres portadoras por debajo del nivel de ruido y catorce portadoras que no alcanzan a superar el C/N mínimo necesario. Con 17 portadoras fuertemente degradadas, los códigos FEC no pueden recuperar los datos.

En (B) la intensidad de la señal es mayor, solo una portadora se encuentra por debajo del ruido y seis de ellas no alcanzan el nivel de C/N mínimo. En este caso, los datos pueden ser recuperados mediante los códigos de corrección de errores y la señal es utilizable, aún en presencia de un *notch* apreciable.

Se puede verificar la condición de falla de la red SFN, calculando el valor de BER para cada portadora y luego sumando los resultados, comparando el BER total obtenido con los valores máximos aceptables.

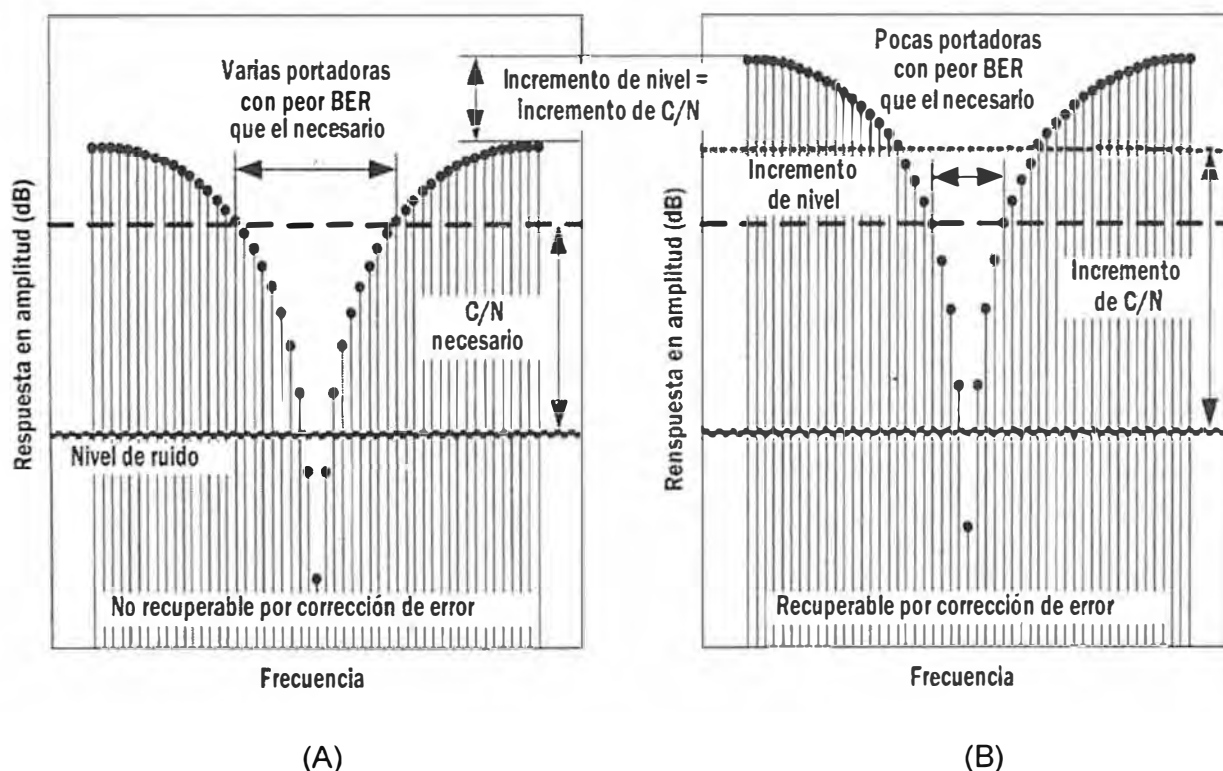


Figura 2.19 Relación C/N en función de la amplitud de 2 señales coherentes. Fuente [2]

La Figura 2.20, muestra el incremento necesario en la relación C/N de referencia para una determinada configuración del sistema de transmisión, en presencia de un eco. Estas curvas son empíricas y han sido obtenidas luego de la realización de una gran cantidad de mediciones y ensayos. Cuando el eco se encuentra 20 dB por debajo de la señal

principal (eje horizontal en los gráficos), se comporta como ruido blanco, siendo el valor C/N de referencia justamente 20 dB. En esta situación no hay interferencia .

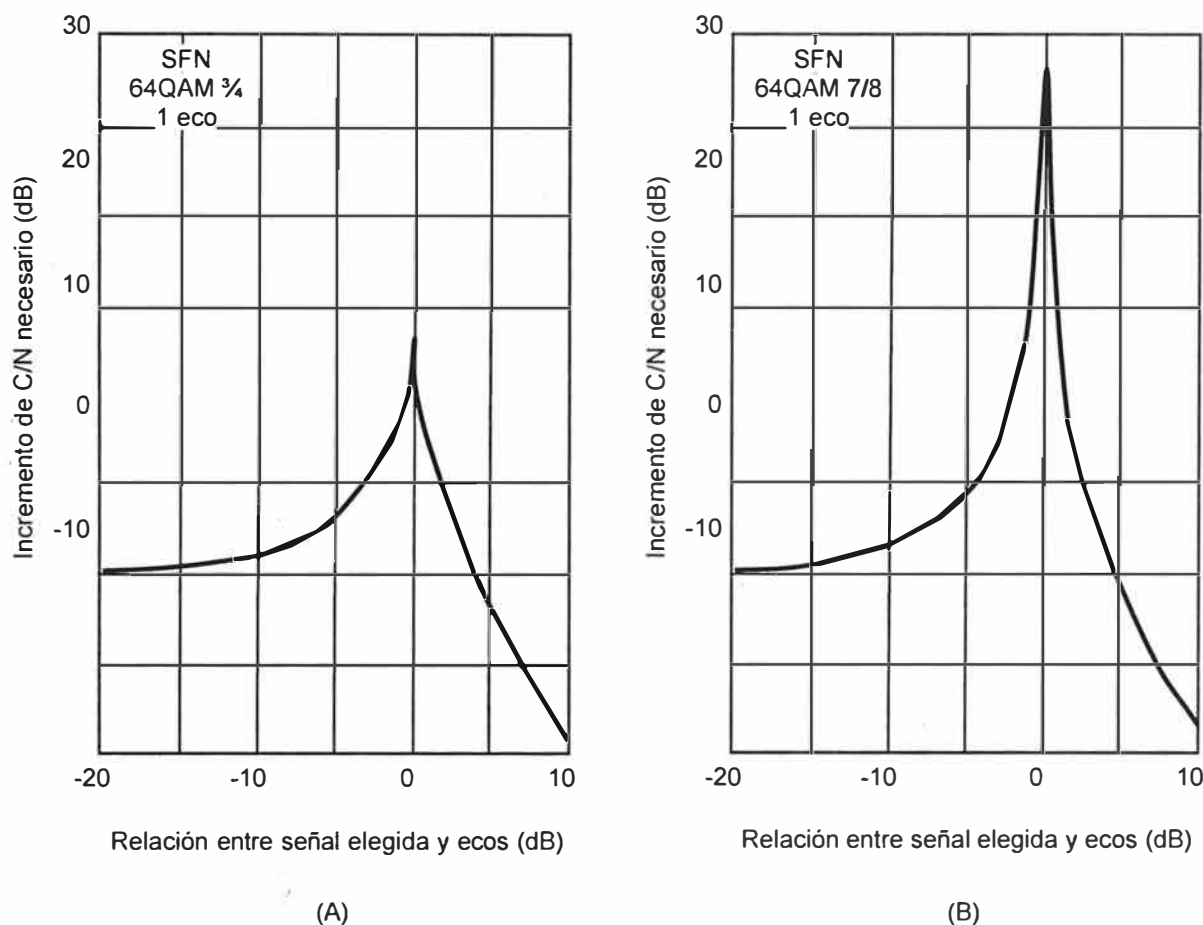


Figura 2.20 Incremento del C/N en presencia de valles (notches) en SFN. Fuente [9]

A partir de -20 dB, el nivel del eco se va incrementando y su diferencia con la señal deseada se reduce. La tendencia de la curva se comporta de manera inversa a los gráficos de la Figura 2.19 y de no mediar un incremento de potencia que se corresponda con el valor de C/N indicado por las curvas, aparecerá la auto-interferencia. Cuando el nivel del eco iguala a la señal principal, dicha auto-interferencia será máxima al igual que la profundidad de los valles, tal como se mostró en la Figura 2.19 (A).

Superado este punto, el eco prevalece por sobre la señal principal y la situación se revierte, atenuándose los valles. La señal principal deja de ser tal y se convierte en un eco de menor nivel. La pendiente de la curva descendente a partir de 0 dB no solo alcanza al valor de referencia de C/N, también comienza a reducirse el C/N necesario hasta en 10 dB, que no es otra cosa que la aparición de ganancia de red.

La Figura 2.20 (B) permite extraer una conclusión muy interesante: una red SFN con una relación K_t de 7/8 es irrealizable, dado que el incremento del C/N necesario resulta demasiado elevado, debido a la menor robustez de la señal.

2.9. Receptores en una red SFN

Los desafíos que plantea la transmisión de TDT no tienen punto de comparación con su contraparte analógica, especialmente en el diseño e implementación de redes SFN: La planificación, la cobertura, las potencias y los receptores conforman una unidad indivisible y el éxito del proyecto depende del adecuado funcionamiento de este conjunto.

Un receptor diseñado para recibir señales OFDM en un ambiente SFN debe poder manejar adecuadamente las numerosas interferencias provocadas por los ecos de la misma red, generando múltiples problemas de diseño de gran complejidad. Los principios fundamentales relacionados con el ruido, la detección de la señal y la sincronización del receptor en las primeras etapas del procesamiento, son igualmente aplicables en DVB-T e ISDB-Tb y en este apartado se presentarán los conceptos más importantes que el proyectista de una red SFN debe conocer.

2.9.1 Ruido proporcional a la amplitud (APN)

Con respecto al ruido presente en los bornes de entrada del receptor, resulta conveniente establecer dos categorías en función de las características del mismo. La primera corresponde a los ruidos cuya amplitud es independiente de la señal de entrada, que en cierto modo podría llamarse "ruido fijo". En esta categoría se encuentran el ruido térmico, el ruido impulsivo y la figura de ruido de los receptores.

La segunda se denomina "ruido proporcional a la amplitud" (APN), en referencia a la amplitud de la señal de entrada y depende de algunas características del receptor. Forman parte del APN el ruido de cuantificación de los conversores A/D, el ruido de recorte (clipping), el ruido de fluctuación de fase del oscilador local (phase jitter) y el ruido de intermodulación, ya sea que este se produzca en el circuito de potencia y filtros del transmisor o en la etapa de RF del receptor, justamente por exceso en el nivel de señal.

2.9.2 Sincronización secundaria del receptor

En un receptor ISDB-Tb la señal recibida por la antena es amplificada y convertida desde la frecuencia del canal sintonizado a un valor de frecuencia intermedia (FI) de 44 MHz. Luego de un primer proceso de amplificación y filtrado, la señal ingresa al demodulador ortogonal donde, en base a las referencias de modo (tiempo útil del símbolo) y cuadro OFDM, se genera la referencia de sincronización necesaria para el correcto posicionamiento de la ventana FFT. Así se tiene la unidad de generación de sincronismos cuyas principales funciones son los procesos de sincronización inicial, es decir, el alineamiento con el símbolo OFDM y los procesos de sincronización secundaria, cuyo mecanismo se analizará a continuación.

Se trata de determinar el momento preciso en el cual deberá abrirse la ventana FFT para demodular la señal, decisión que no resulta sencilla en presencia de múltiples ecos, propios de un ambiente SFN. La ventana FFT tiene una anchura igual a la duración del tiempo útil de símbolo y como ya se ha visto, siempre que los ecos arriben dentro del intervalo de guarda, habrá más de una posición posible en donde podrá ser situada (zona libre de ISI).

Se han desarrollado varias estrategias para optimizar la sincronización secundaria y no todas producen el mismo resultado. Dicho de otra manera: un receptor diseñado para funcionar en un ambiente de SFN debe utilizar un método eficiente de sincronización secundaria para el posicionamiento de la ventana FFT, dado que podría dejar de funcionar en algunas zonas donde se produzcan determinadas combinaciones entre los ecos presentes. Tan importante es este requisito, que algunos programas de cálculo de cobertura asistido por computadora pueden determinar la población cubierta en función del mecanismo de sincronización empleado por el receptor. En los apartados siguientes, se analizarán las estrategias propuestas para DVB-T e ISDB-Tb.

A) Sincronización secundaria de acuerdo al estándar DVB-T

Las técnicas de sincronización secundaria mencionadas en el estándar DVB-T son:

- Señal de mayor intensidad.
- Primera señal en superar un umbral.
- Promedio ponderado de tiempo-nivel de todas las señales recibidas.
- Máxima relación portadora/interferencia (C/I).
- Cuasi-óptima.

Cuando se trata de recibir la señal emitida por un solo transmisor y sus correspondientes ecos, la sincronización es más simple de conseguir. No sucede lo mismo en un ambiente SFN, donde las señales son originadas por más de un transmisor.

El óptimo posicionamiento de la ventana FFT es de fundamental importancia para la recepción móvil y portátil, dado que el receptor debe lograr sincronizarse en un ambiente rápidamente cambiante y en presencia de pre-ecos y post-ecos (señales que arriban antes o después de la que sea tomada como referencia).

Una vez posicionada la ventana FFT sobre el eco elegido, los períodos útiles de símbolo correspondientes al resto de los ecos no necesariamente coincidirán con el primero, apareciendo la interferencia intersímbolo. Los errores provocados por esta interferencia deberán ser corregidos por los decodificadores Viterbi y Reed-Solomon y si esto no sucede, se estará en presencia de auto-interferencia.

Sincronización con la señal de mayor intensidad:

En la Figura 2.21, los impulsos en gris representan el instante de llegada de los ecos al receptor. Puede verse que la señal 3 es la de mayor intensidad y de acuerdo con este método, la ventana FFT se alinea con el período útil de símbolo de aquella, es decir ni bien finaliza el intervalo de guarda correspondiente al símbolo "n" de la señal 3.

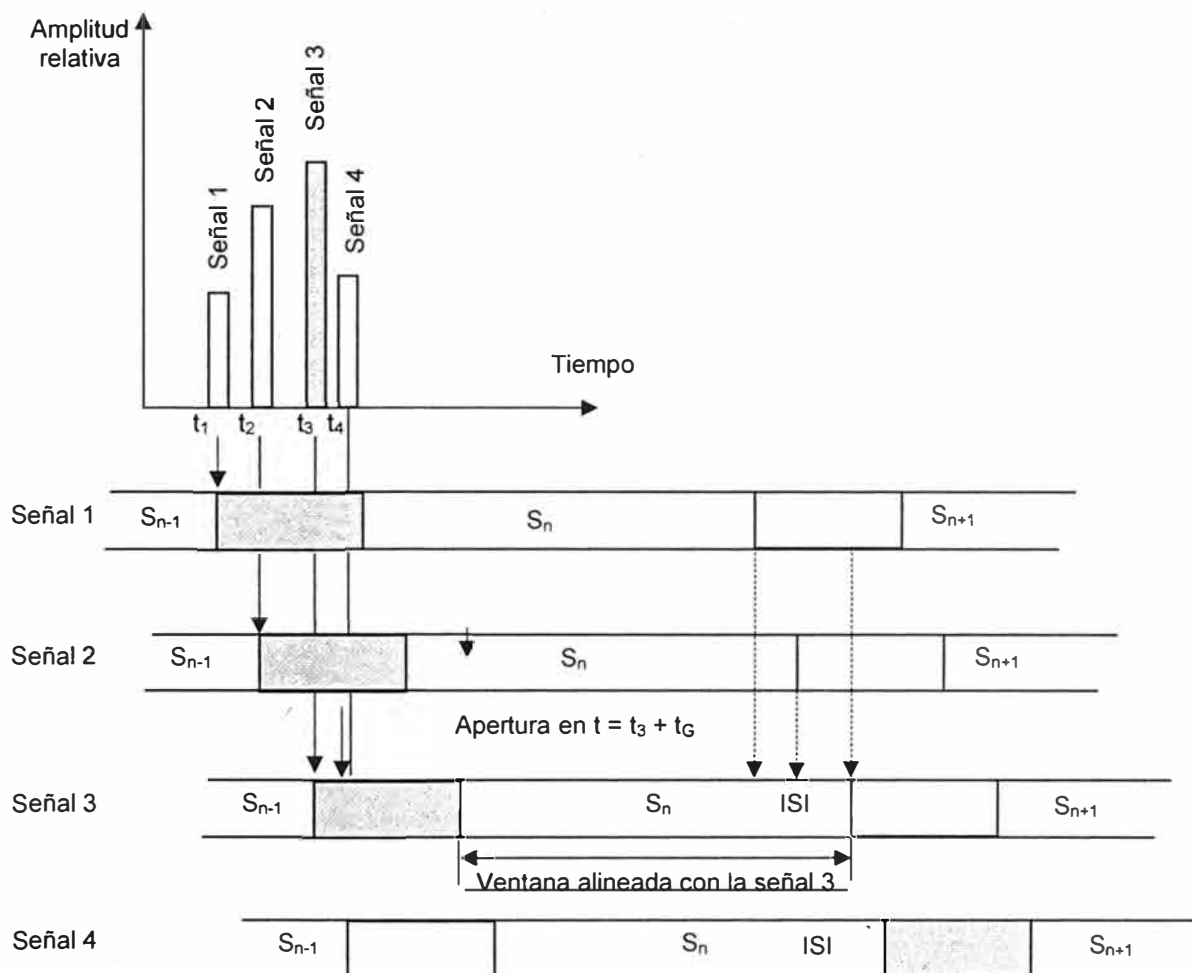


Figura 2.21 Sincronización con la señal de mayor intensidad. Fuente [2]

En la parte inferior de la figura, se observa que una parte del símbolo "n+1" de las señales 1 y 2 provocan una leve interferencia intersímbolo sobre la señal 3 (p.e., una interferencia co-canal), no así la señal 4, que sigue contribuyendo con el símbolo "n". Es interesante señalar que si el eco 1 o el 2 o ambos, arribaran al receptor con un nivel que esté por debajo del máximo permitido por la relación C/I de protección contra la interferencia co-canal para el esquema de modulación utilizado, no habrá interferencia.

Sincronización con la primera señal en superar un umbral:

En este caso se fija un umbral de decisión, la señal 2 será la primera en superarlo y por lo tanto la ventana FFT se alineará con el período útil de símbolo de aquella, tal como se ve en la Fig. 2.22.

Con esta estrategia, las señales 3 y 4 contribuyen de manera constructiva, mientras que la señal 1 provoca una interferencia ISI más limitada. Sin embargo, con un umbral adecuado, es posible eliminar completamente cualquier posibilidad de ISI, dado que las señales que antecedan a la señal 2 tendrán un nivel que estará por debajo del máximo permitido por la relación C/I de protección contra la interferencia co-canal. El valor del umbral puede ser definido en base a la intensidad de campo mínima o bien, situarse automáticamente entre 6 y 10 dB por debajo de la señal de mayor intensidad.

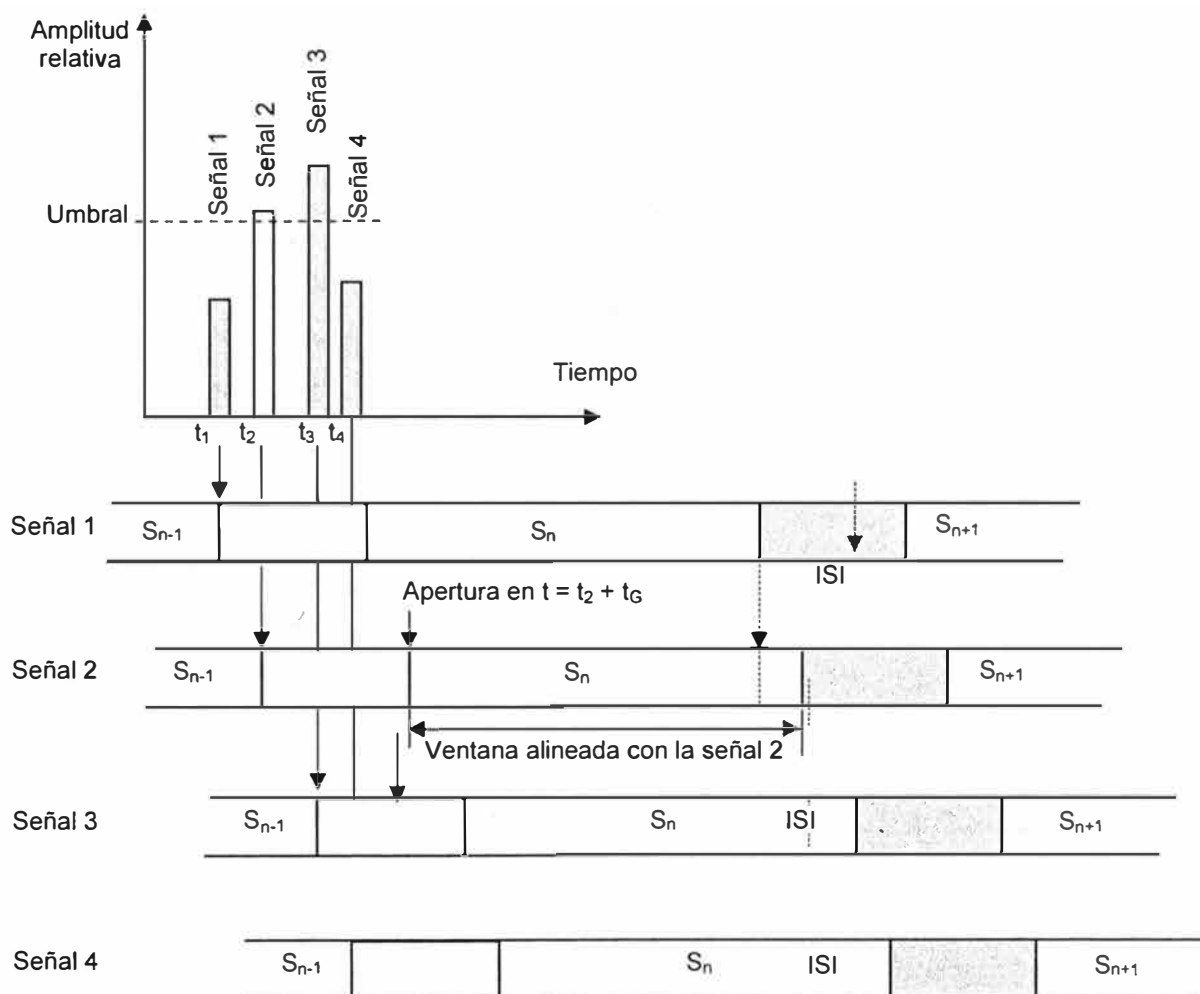


Figura 2.22 Sincronización con la primera señal en superar un umbral. Fuente [2]

Como regla práctica para comprender estos mecanismos de sincronización, se puede afirmar que la señal o las señales que contribuyen con la interferencia ISI, son las que anteceden a la señal elegida como referencia para sincronizar la ventana FFT.

La técnica de umbral hace posible desechar los pre-ecos que contribuyen con ISI. Pruebas realizadas y verificadas empleando software de cálculo con base de datos de la población servida, mostraron que esta técnica ofrece mejores resultados que la de señal más intensa, siempre que el nivel de umbral sea adecuado. En esta experiencia, se utili-

zaron umbrales ubicados a 6, 10 y 20 dB por debajo de la señal de mayor intensidad, alcanzándose mejoras de hasta un 20 % más de población incluida en el servicio.

Resultados de las pruebas de cobertura realizadas en Cerdeña, Italia. Fuente [2]:

Señal de mayor intensidad: 191.133 habitantes con $> d_i$ 95% (*)

Primera señal sobre un umbral de -6 dB: 192.226 habitantes con $> d_i$ 95% (0,5 %)

Primera señal sobre un umbral de -10 dB: 224.823 habitantes con $> d_i$ 95% (+17%)

Primera señal sobre un umbral de -20 dB: 228.171 habitantes con $> d_i$ 95% (+19%)

(*) d_i : % de localidades

Sincronización en base al promedio ponderado de tiempo-nivel de todas las señales recibidas:

Con este método, el receptor abre la ventana FFT en un instante de tiempo que no coincide con el inicio del tiempo útil de símbolo de ninguna de las señales que arriban al receptor. Este instante, corresponde a un promedio ponderado tiempo-nivel

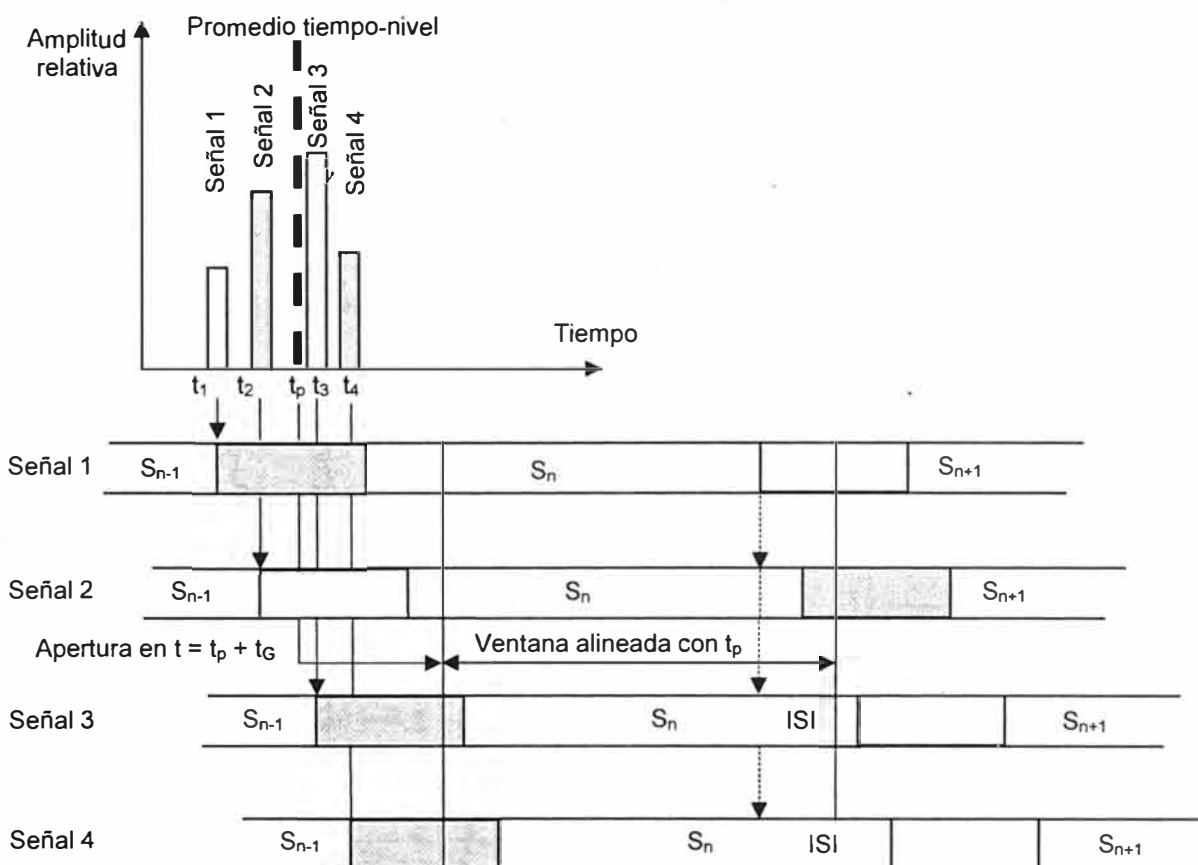


Figura 2.23 Sincronización con el promedio tiempo-nivel de señales recibidas. Fuente [2]

En la Figura 2.23, dicho instante es representado por t_p y se sitúa entre las señales 2 y 3, más cerca de esta última por su peso relativo respecto a las demás.

Por dicho motivo, esta técnica también se conoce con el nombre de "centro de gravedad". Puede verse claramente que el símbolo "n+1" de la primera señal interfiere sobre las señales 2,3 y 4, mientras que la segunda lo hace sobre las señales 3 y 4.

Este método de sincronización requiere de cierto poder de cómputo en los circuitos de procesamiento de señal que calculan el promedio.

Sincronización con la mejor relación C/I:

El poder computacional que requiere esta técnica de sincronización, es prácticamente el doble que en los métodos precedentes, razón por la cual, el cálculo del algoritmo para posicionar la ventana demanda más tiempo, pero ofrece la certeza de abrir la ventana FFT en el punto donde se logra la mejor relación C/I. Si bien en teoría demuestra ser una de las más recomendables, es de difícil implementación en los receptores y consume tiempos de cálculo considerables en los programas de cálculo de cobertura.

Sincronización cuasi-óptima:

Este método, que también necesita de un elevado poder de cálculo, combina las ventajas de las técnicas "primera señal en superar un umbral" y "mejor relación C/I", característica de la cual deriva su nombre, posicionando la ventana FFT en la zona de mínimas interferencias y sobre una señal de intensidad suficientemente alta disminuyendo el efecto de las precedentes (ventaja del método de umbral).

B) Sincronización secundaria de acuerdo al estándar ISDB-T

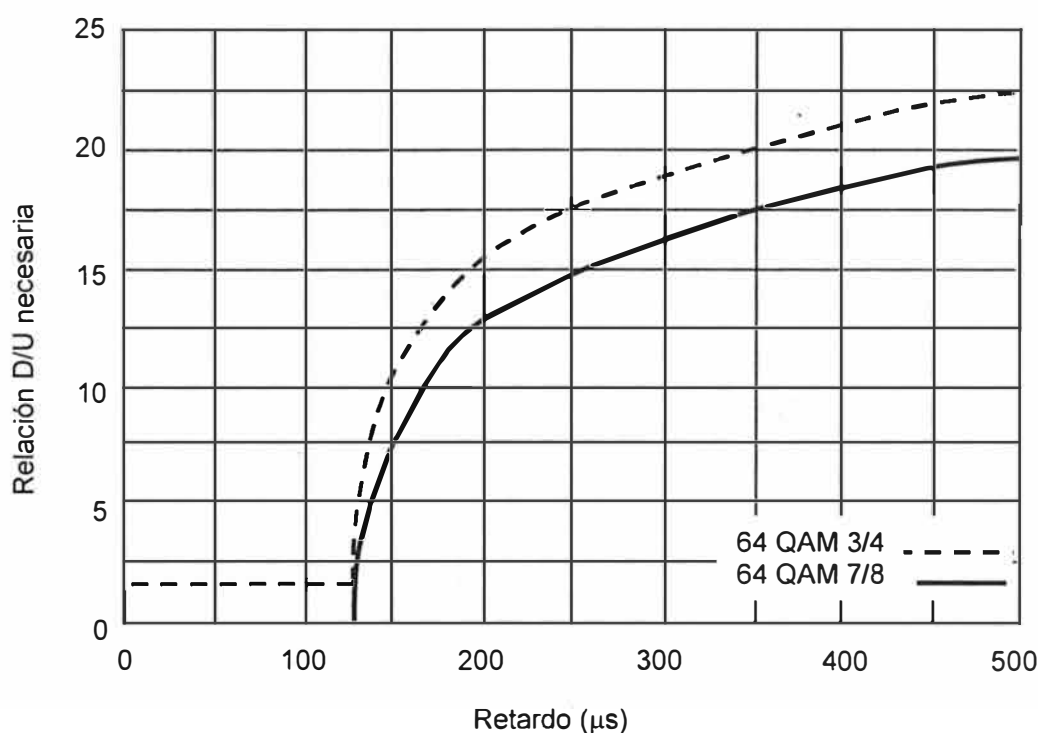


Figura 2.24 Relación D/U necesaria en función del tiempo de arribo de ecos. Fuente [9]

La sincronización secundaria ISDB-T es tratada por la Recomendación UIT-R BT.2209 (Fuente [9]). Las curvas de la Figura 2.24 (llamadas curvas bathtub por su formato), son importantes para establecer el criterio del posicionamiento de la ventana FFT. La base de las curvas tiene una anchura igual a la duración del intervalo de guarda, en este caso 126 ms, que correspondería a un intervalo de guarda de 1/8 en el Modo 3. Alejándose de esta zona, es decir fuera del intervalo de guarda, la relación D/U necesaria para evitar la auto-interferencia es cada vez mayor. Obsérvese que para $K_1 = 7/8$ el D/U necesario crece más rápidamente que para $K_1 = 3/4$, debido a su menor robustez.

En la Figura 2.25 (A) se comparan las respuestas de un filtro pasa bajos de interpolación ideal con algunos filtros prácticos y en (B) se muestra la relación D/U necesaria para poder demodular la señal

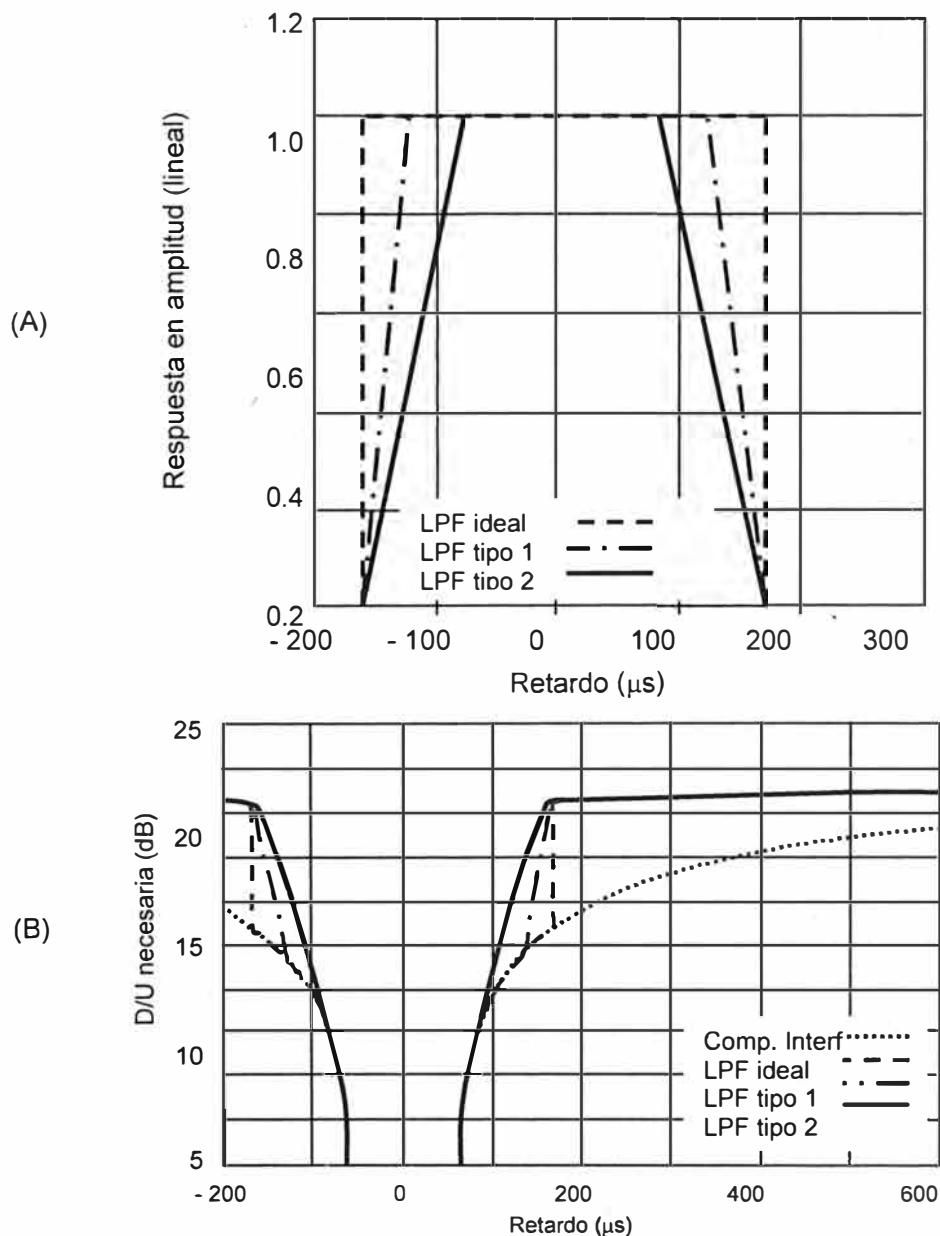


Figura 2.25 (A) Respuesta del filtro y (B) D/U según tiempo de arribo de ecos. Fuente [2]

A medida que la respuesta LPF se va apartando del filtro ideal, el D/U debe ser mayor. Por ejemplo, para el filtro tipo 2, con flancos de menor pendiente, los ecos que arriban ligeramente fuera del intervalo de guarda incrementan notablemente la relación D/U.

En la Figura 2.26 se muestran nuevamente, un poco más simplificadas, las curvas de relación D/U necesaria y de respuesta del filtro, en función de los retardos de arribo. La configuración de emisión es la misma, es decir Modo 3 e intervalo de guarda 1/8.

En (A) la relación D/U necesaria en función del retardo de llegada de los ecos, solo tiene en cuenta los componentes que provocan interferencia ISI. En (B) se muestran las características del filtro de interpolación, con respuesta en amplitud unitaria dentro del ancho de banda dado por $\pm LPF_{BW}$. La respuesta del filtro es nula fuera del ancho de banda de Nyquist ($\pm 168 \mu s$). Ambos valores están expresados en tiempo (retardo).

Finalmente, en (C) se presentan todos los elementos. El receptor ajusta su ventana FFT de manera que la señal se encuentre sobre la parte plana o piso de la curva, reduciendo o prácticamente eliminando la interferencia intersímbolo.

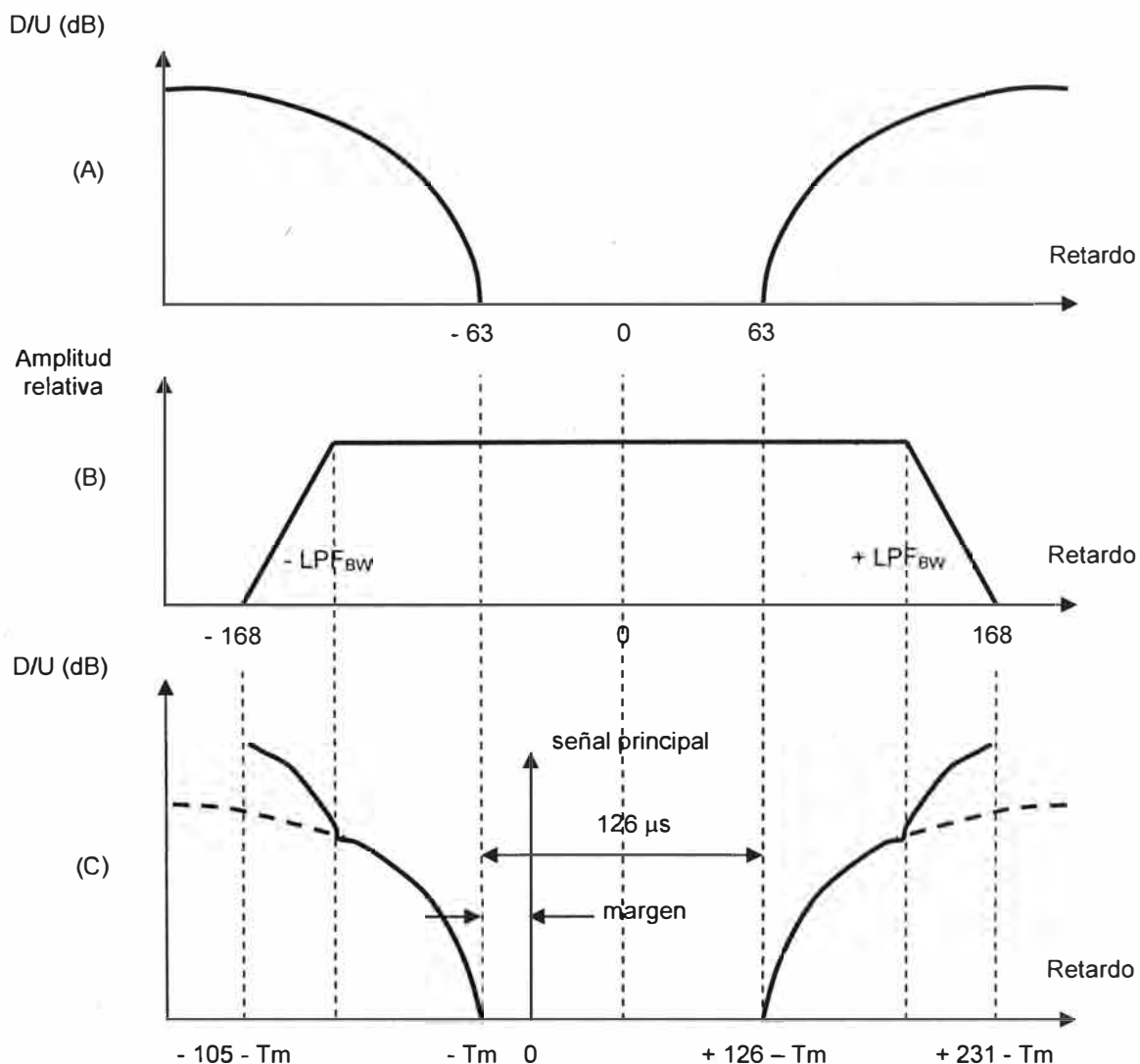


Figura 2.26 (A) Relación D/U, (B) Respuesta del filtro y (C) Curva resultante. Fuente [2]

En la Figura 2.27 se muestra la "máscara de intervalo de guarda", curva que se obtiene por la inversión de la curva bathtub. Esta máscara expresa una atenuación en dB e indica los niveles máximos permitidos para los ecos. Se aprecia la relación entre varias señales recibidas y la posición de la ventana FFT, que el receptor debe ajustar para que todos los ecos queden comprendidos dentro de esta máscara. En el caso de que alguno de ellos quedara afuera, la interferencia impediría la correcta demodulación de la señal.

Si en el punto de recepción las señales retrasadas son numerosas y sus amplitudes están cerca del límite definido por la máscara, el receptor también podría fallar. Se introduce el concepto de "diferencia de potencia" (defective power) definida como la diferencia en dB entre el límite de la máscara y la amplitud de los ecos.

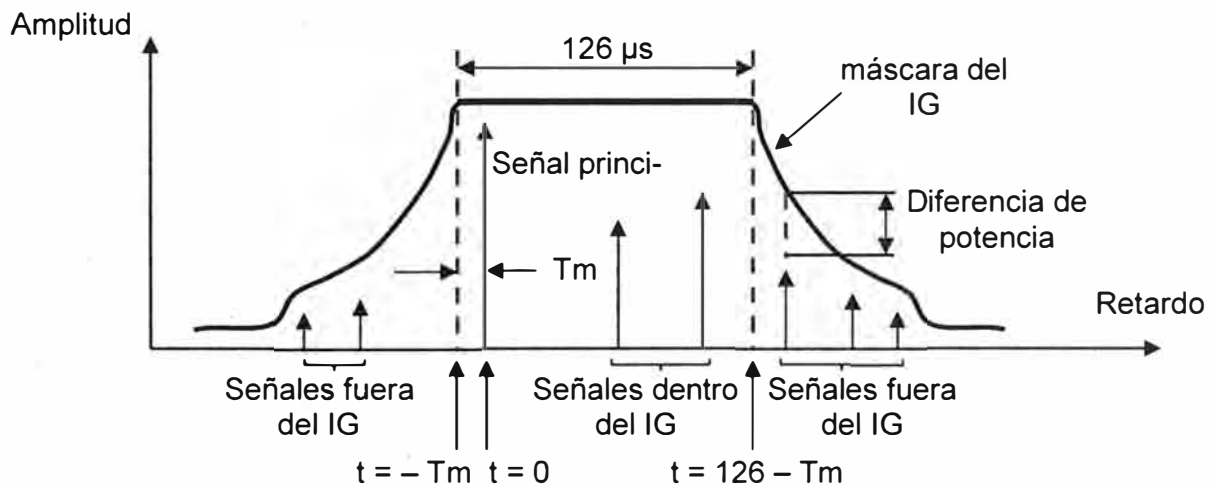


Figura 2.27 Máscara de intervalo de guarda. Fuente [12]

Cuando esta diferencia se acerca a 0 dB o se torna negativa, los ecos que se encuentran fuera del intervalo de guarda exceden el límite y la recepción no resulta posible. Por lo tanto, durante el proceso de ajuste de la ventana FFT, además de buscar la zona plana, el receptor debe maximizar la diferencia de potencia. En la Tabla 2.5 se resumen los requerimientos básicos analizados hasta aquí.

Tabla N° 2.5 Requerimientos básicos para RX ISDB-T (Rec. UIT-R BT.2209).Fuente [1]

Requerimiento	Especificación ARIB	Comentarios
Ruido APN	-35 dB	Relativo al nivel de la señal de entrada
Filtro de interpolación para recuperación de portadora	Zona plana	-126 μs a 126 μs
	Transición	-168 μs a -126 μs y 126 μs a 168 μs
Margen de poscionamiento de la ventana FFT	6 μs	-

En la Figura 2.28 pueden verse algunos ejemplos de la máscara de intervalo de guarda correspondientes a receptores comerciales, en comparación con la curva sugerida por ARIB (en línea llena negra). En particular, la curva en línea de puntos corresponde a los filtros de interpolación de receptores producidos antes de la publicación de las especificaciones ARIB.

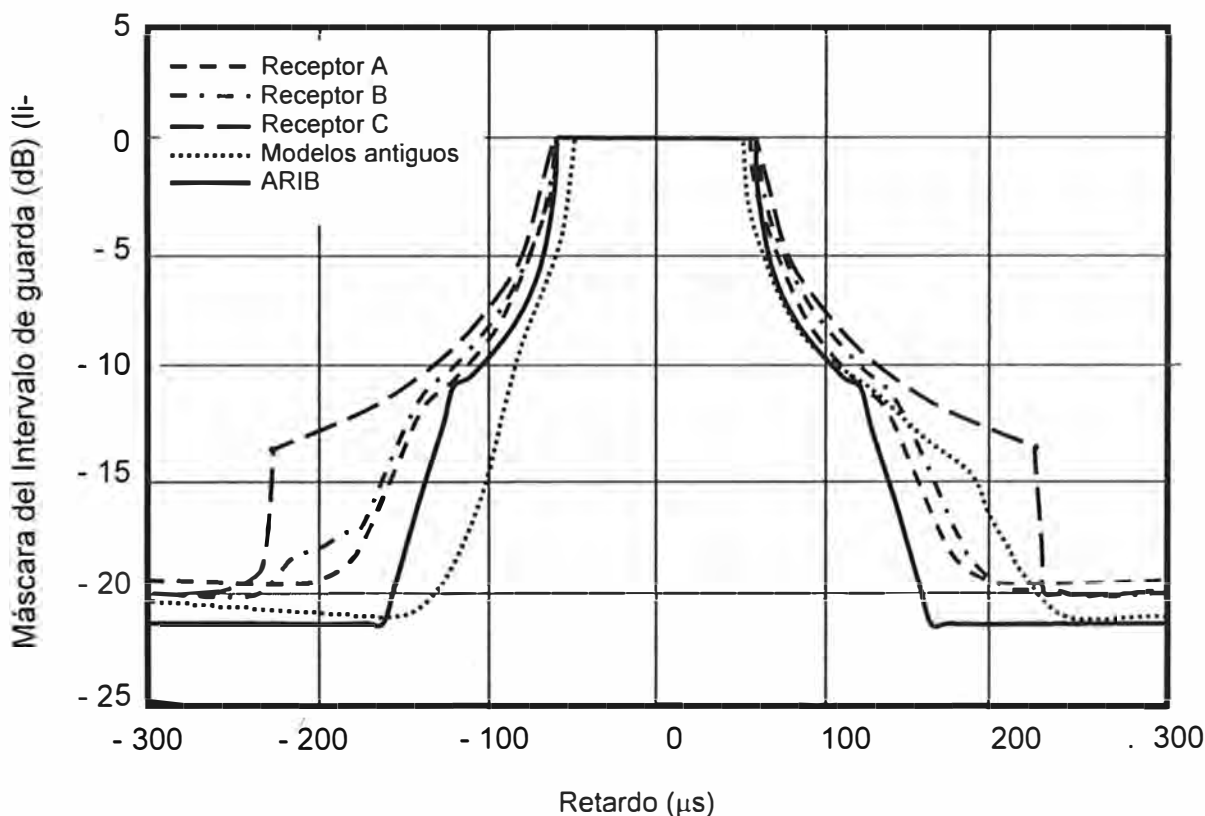


Figura 2.28 Máscaras de intervalo de guarda de receptores comerciales. Fuente [13]

B) Sincronización secundaria de acuerdo al estándar ISDB-Tb

En cuanto al estándar ISDB-Tb, específicamente la norma brasileña ABNT NBR15604 (2007) [1], trata este tema en los apartados titulados "Procesamiento de señal en los receptores full-seg" y "Procesamiento de señal en los receptores one-seg". Referido a la sincronización secundaria para el posicionamiento de la ventana FFT, se encuentra el siguiente texto en la citada norma, en los puntos 7.2.10.1 y 7.2.10.2:

"La operación FFT se ejecuta por un período correspondiente a la duración efectiva de un símbolo OFDM. Debido al ruido de trayectoria múltiple de la señal recibida, el procesamiento FFT se deberá ejecutar en un período apropiado".

Considerando la profundidad e importancia de todo lo visto hasta aquí sobre este tema puntual, resultaría conveniente que la norma pueda brindar mayores especificaciones sobre él o los métodos a seguir.

En base al análisis presentado, se deduce que resulta de extrema importancia la inclusión del método más adecuado de sincronización para el posicionamiento de la ventana FFT dentro de las especificaciones técnicas para los receptores ISDB-Tb (observación que también aplica en DVB-T).

La falta de información y de recomendaciones adecuadas, podría llevar a un fabricante de receptores a elegir inadvertidamente un método inapropiado, poniendo en riesgo el correcto funcionamiento de sus equipos dentro de un ambiente SFN.

2.10. Conceptos de planificación

La planificación es un tema de gran importancia en TDT debido entre otros factores, a la posibilidad de instalar redes que abarquen una gran extensión geográfica y que utilicen una sola frecuencia en áreas de servicio solapadas. Planteando un nuevo desafío para las administraciones nacionales y organismos de gestión del espectro radioeléctrico de los distintos países.

2.10.1 Sitio de Transmisión

Para aclarar su significado, simplemente puede decirse que hasta la llegada de la TDT, la planificación en TV analógica se hacía en base a assignments, aunque en esa época no se usaba este término.

El sitio de transmisión (conocido como assignment en inglés) es un sitio geográfico con determinadas características de transmisión fijadas por los organismos de gestión del espectro: potencia, frecuencia, ganancia y directividad de la antena. De hecho, el concepto de assignment nació con la TV analógica, donde en los comienzos cada radiodifusor proponía la ubicación para su planta transmisora y los parámetros de transmisión.

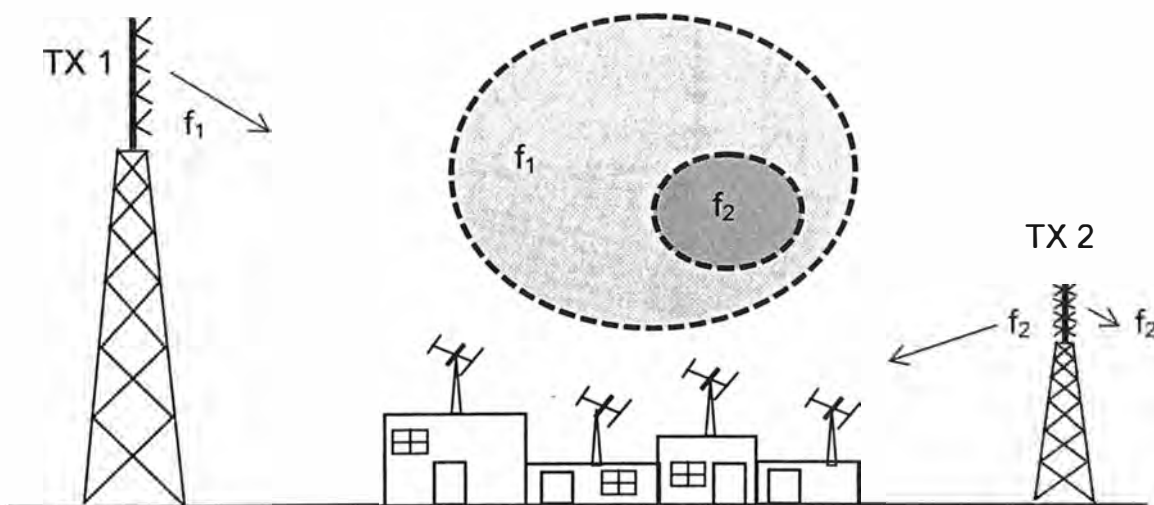


Figura 2.29 Concepto de Sitio de Transmisión, basado en la ubicación y características de las emisiones. Fuente [15]

Posteriormente y con la proliferación de nuevas emisoras de TV, fue necesario crear un sistema de planificación técnica coherente, que respetara los derechos adquiridos por los pioneros de la radiodifusión, a la vez que permitiera la mayor pluralidad, respetando las leyes naturales de la propagación electromagnética.

En la Figura 2.29 cada transmisor es un assignment, donde TX 2 se utiliza para cubrir lugares obstruidos por obstáculos en la señal del transmisor principal. En este ejemplo se emplean dos frecuencias, pero podrían ser necesarias algunas más, en función del tipo y cantidad de obstáculos y del tamaño de la red.

El empleo de dos o más frecuencias simplificaba notablemente la implementación, porque no era necesario ningún tipo de sincronización entre las emisiones. Sin embargo, se hacía un uso muy poco eficiente del espectro radioeléctrico, pues ningún otro radiodifusor podía utilizar esas frecuencias en áreas cercanas, debido al riesgo de producir interferencia co-canal.

2.10.2 Dividendo digital

Concepto para incluir a los entornos geográficos en los que operan varios transmisores en la misma frecuencia. A partir del mismo, cambian notablemente las condiciones de planificación, generando lo que se conoce como "dividendo digital" (allotment en inglés), es decir un ahorro importante de espectro. Como contrapartida, aparecen nuevos problemas de interferencia y sincronización que el ingeniero de TV debe resolver.

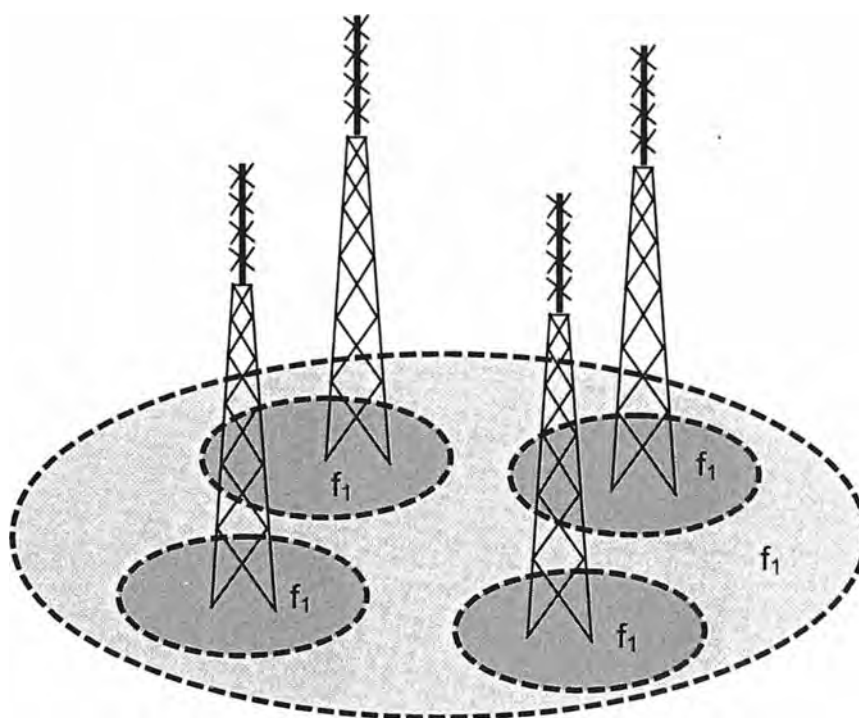


Figura 2.30 Dividendo digital, en el entorno geográfico de las redes SFN. Fuente [15]

2.10.3 Variantes del sistema

Es el juego completo de parámetros de configuración del sistema. Se le conoce como system variant en inglés y son todas las combinaciones posibles de modo (1,2 y 3), intervalo de guarda (1/4, 1/8, 1/16 y 1/32), esquemas de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM) y relación de codificación convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8).

La elección de la combinatoria influye sobre la robustez del sistema y la tasa de transmisión y debiera dejarse a criterio del radiodifusor la elección del juego de parámetros más conveniente en función de las condiciones del área y cantidad de población donde ofrecerá el servicio.

2.10.4 Relaciones de protección

En los anexos de la Recomendación UIT-R BT 1368-9 [6], pueden encontrarse las especificaciones para cada una de las normas de TVD-T. En particular, el Anexo III del mencionado documento está dedicado a ISDB-T.

Estos criterios permiten determinar, una vez asignada una frecuencia, cuáles serán los niveles de intensidad de campo máximo permitidos, dentro de su área de cobertura, para los canales adyacente inferior, adyacente superior y co-canal, contemplando también las posibles interferencias entre servicios analógicos y digitales. Este tipo de estudios también deben realizarse con emisoras de los países limítrofes.

A) Relaciones de protección co-canal (ISDB-T interferido por ISDB-T, en dB)

En la Tabla 2.6. por ejemplo, con 16-QAM y $K_i = 3/4$, la señal deseada debe estar 15 dB por encima de la señal interferente, ambas digitales. Disminuyendo la robustez la exigencia es mayor y puede verse que para 64-QAM la relación debe ser de 21 dB.

Tabla N° 2.6 Relaciones de protección co-canal (en dB). Fuente [6]

K_i	Esquema de Modulación		
	QPSK/DQPSK	16-QAM	64-QAM
1/2	6	12	17
2/3	8	14	20
3/4	9	15	21
5/6	9	16	22
7/8	10	17	23

Las relaciones de la Tabla 2.6 coinciden con las relaciones C/N mínimas para una determinada configuración del sistema. En efecto, en este caso la interferencia de la señal digital indeseada se comporta como si fuera ruido blanco en la banda de la señal deseada.

El esquema de modulación 64-QAM permite una mayor tasa de transmisión que 16-QAM, a expensas de necesitar 6 dB más de potencia que esta última (excepto para $K_1 = 1/2$, por su mayor robustez).

B) Relaciones de protección con canales adyacentes (ISDB-T interferido por ISDB-T, en dB)

Se presentan en la Tabla 2.7 y Tabla 2.8. En este caso aparecen números negativos, lo que significa que los canales adyacentes pueden tener mayor nivel que el canal deseado, ya que no operan en la misma frecuencia. Por supuesto, este mayor nivel tiene un límite que si es sobrepasado, provocará interferencias.

Tabla N° 2.7 Relaciones de protección para canal adyacente inferior (en dB). Fuente [6]

K_1	Esquema de Modulación		
	QPSK/DQPSK	16-QAM	64-QAM
1/2	-29	-28	-27
2/3	-29	-28	-26
3/4	-29	-27	-26
5/6	-28	-27	-25
7/8	-28	-27	-24

Tabla N° 2.8 Relaciones de protección para canal adyacente superior (en dB). Fuente [6]

K_1	Esquema de Modulación		
	QPSK/DQPSK	16-QAM	64-QAM
1/2	-30	-29	-28
2/3	-30	-29	-27
3/4	-29	-28	-27
5/6	-29	-28	-27
7/8	-29	-28	-27

Por ejemplo, para el caso de 16-QAM y $K_1 = 3/4$, la señal no deseada de canal inferior puede encontrarse hasta 27 dB por encima de la señal deseada como máximo. En cambio, con modulación 64-QAM ese límite desciende a 26 dB, por la menor robustez de este esquema.

C) Relaciones de protección con canales adyacentes analógicos (en dB)

Con respecto a las interferencias provocadas por canales adyacentes analógicos, las tablas del Anexo III de la recomendación aluden al sistema CCIR 525/60 (NTSC-M).

Las cifras consignadas en las tablas, se calculan en base a la relación entre el valor eficaz de la potencia pico de sincronismo para la señal analógica y el valor eficaz en la

banda correspondiente a la frecuencia de operación para la señal digital. La información proporcionada por estas tablas tiene su importancia, ya que ambos sistemas (analógico y digital) tendrán un período de convivencia no despreciable.

En la Tabla 2.9 y la Tabla 2.10 se presentan las relaciones de protección. En el caso de la señal analógica, los valores se determinan considerando también a la portadora de sonido.

Tabla N° 2.9 Relaciones de protección canal adyacente inferior (en dB). Fuente [6]

Señal deseada		Señal no deseada
Esquema de Modulación	K_i	NTSC-M
QPSK-DQPSK	1/2	-34
	2/3	-34
	3/4	-33
16-QAM	1/2	-34
	2/3	-33
	3/4	-32
64-QAM	2/3	-32
	3/4	-31
	5/6	-29
	7/8	-29

Tabla N° 2.10 Relaciones de protección canal adyacente superior (en dB). Fuente [6]

Señal deseada		Señal no deseada
Esquema de Modulación	K_i	NTSC-M
QPSK-DQPSK	1/2	-35
	2/3	-35
	3/4	-34
16-QAM	1/2	-35
	2/3	-34
	3/4	-33
64-QAM	2/3	-33
	3/4	-33
	5/6	-32
	7/8	-31

2.10.5 Suma de campos electromagnéticos

Resulta de vital importancia para los cálculos de cobertura e interferencia y también para la planificación. Existen varios métodos para calcular la suma de campos pero en

particular, interesan aquellos que son de aplicación en redes SFN OFDM, donde los ecos contribuyen de manera positiva o, en el peor de los casos, provocan interferencias en allotments vecinos.

Los métodos de suma son de tipo numérico-estadísticos o analíticos-aproximativos. En cualquier caso es necesario computar una gran cantidad de puntos dentro del área cobertura o de interferencia, según sea el caso. La presentación y el desarrollo de estos métodos escapan al alcance de este trabajo.

Los métodos de cálculo más utilizados en redes SFN son:

- LNM (Log Normal Method)
- k-LNM (corrected LNM)
- t-LNM (true LNM)

El nivel de la interferencia co-canal debe ser menor al especificado para una determinada configuración del sistema en el modelo de canal de propagación correspondiente: Rice para antenas fijas y Rayleigh para móviles y portátiles.

La interferencia generada por los transmisores de un allotment debe ser menor o igual al límite de umbral del allotment vecino. Debe tenerse presente que el 2 pertenece a la red SFN de otro radiodifusor (quizás de otro país) y por consiguiente la planificación debe ser realizada de manera conjunta. La Figura 2.31 ilustra estos conceptos.

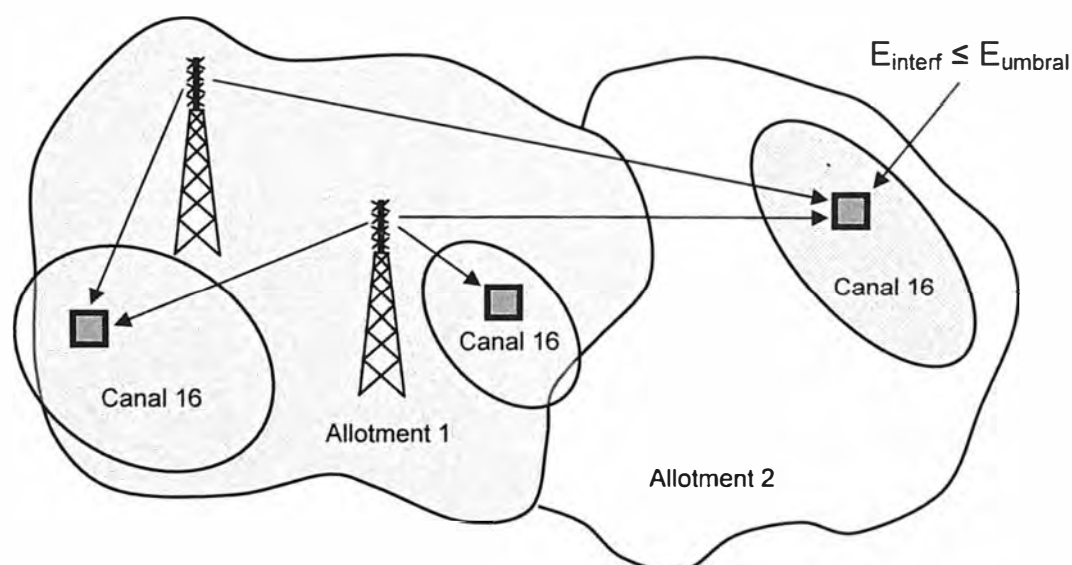


Figura 2.31 Suma de campos recibidos y posibilidades de interferencias. Fuente [12]

2.10.6 Ahorro espectral de las redes SFN en comparación con redes MFN

La Figura 2.32 permite visualizar fácilmente la economía de frecuencias que se consigue con las redes SFN en comparación con las redes MFN, donde en estas últimas

además está vedado el uso de canales adyacentes y co-canales. La red MFN necesita nueve frecuencias, mientras que en la red SFN, solo es necesaria una frecuencia.

La disposición en rombo, usada en planificación, representa un allotment, mientras que los círculos representan las áreas cubiertas por cada assignment del allotment.

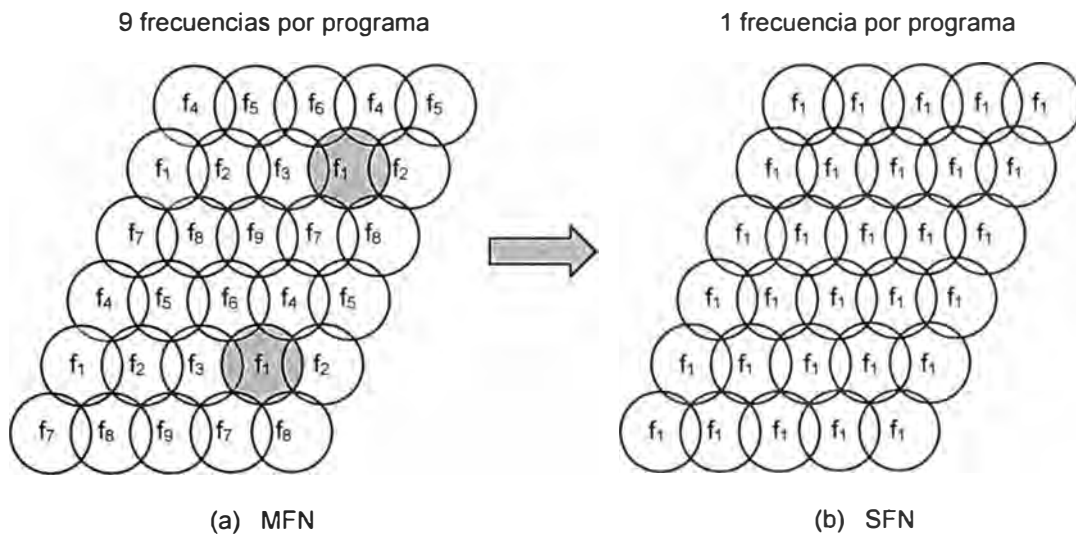


Figura 2.32 Comparación de la utilización de espectro entre redes MFN y redes SFN.

Fuente [2]

CAPITULO III METODOLOGÍA PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

3.1 Pasos en el diseño de una red SFN usando software especializado

Si se dispone de programa especializado de cálculo asistido por computadora en línea (Fuente [5]) habría que seguir los siguientes pasos:

1. Estimación de la ubicación geográfica de las estaciones.
2. Carga de datos generales de las estaciones de la red.
3. Selección de la base de datos orográficos y modelo de propagación.
4. Configuración del sistema de transmisión.
5. Diseño de los sistemas de antenas y enlaces de las estaciones de la red.
6. Primera estimación de cobertura de la red.
7. Ajuste de retardos en función de los resultados obtenidos.
8. Verificación final de la cobertura obtenida.

3.1.1 Estimación de la ubicación geográfica de las estaciones

El procedimiento para determinar la mejor ubicación posible para los transmisores, debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Existencia de caminos transitables y de alimentación eléctrica.
- Centros urbanos a cubrir con el servicio.
- Distancias entre estaciones y coordenadas geográficas.
- Perfiles del terreno entre las estaciones.
- Distancia entre las estaciones en función del intervalo de guarda elegido.
- Verificación de la superposición entre áreas de servicio de las estaciones.

3.1.2 Carga de datos generales de las estaciones de la red

Datos generales de las estaciones de la red como localización, coordenadas geográficas, cotas de emplazamiento, altura de las antenas, frecuencia, potencias y distancia entre cada emisor son requeridos en los programas de cálculo. Parte de esta información puede ser suministrada directamente por el software mientras que otros deberán ser recopiladas por el proyectista (altura de antenas, potencia, nombre de repetidoras, etc) e ingresados al sistema en forma manual.

3.1.3 Selección de la base de datos orográficos y modelo de propagación

Se selecciona los datos orográficos de la zona elegida y la resolución que tendrá el trazado del mapa de cobertura de salida. Se elige el modelo de propagación y se ajusta el modelo en función de las características de la zona (abierta o urbana), tipo de suelo (seco, húmedo, etc), efectos de reflexión y difracción, etc.

3.1.4 Configuración del sistema de transmisión

Se ingresan los parámetros de recepción, tales como sincronización de la ventana FT, ganancia y pérdidas del sistema de antena, ruido y porcentajes de cobertura considerados como buenos y aceptables, que el software necesita para modelar el sistema de transmisión-recepción completo. Datos como la duración del Intervalo de guarda, el Modo y el ancho de banda del canal son mostrados en la pantalla del programa.

3.1.5 Diseño de los sistemas de antenas y enlaces de las estaciones de la red

En base a las potencias de cada transmisor y la disposición geográfica de las estaciones y las distancias que se desean cubrir, el software especializado genera los diagramas de radiación horizontal y vertical de la antena.

Los perfiles de terreno son imprescindibles, especialmente si se proyectan STL por radioenlace Terrestre VHF, UHF y microondas o bien satelitales para el transporte de programa hasta cada uno de los sitios de transmisión. Se deberán trazar los perfiles necesarios y aplicar la metodología de cálculo correspondiente a cada tipo de servicio.

3.1.6 Primera estimación de cobertura de la red

El software entrega resultados de la primera estimación de cobertura realizada, como son:

- Las distintas contribuciones de intensidad de campo provenientes de otros transmisores de la red en el punto geográfico.
- Los tiempos de retardo de los distintos ecos que arriban a ese punto versus las intensidades de los mismos.
- Las emisiones de los transmisores que están dentro y fuera de los intervalos de guarda de cada transmisor.
- Zonas de auto-interferencia de red.

3.1.7 Ajuste de retardos en función de los resultados obtenidos

Si no es factible desplazar de ubicación el transmisor, el proyectista debe evaluar otras alternativas como son reducir el intervalo de guarda o introducir retardo al transmisor para conseguir “desplazarlo temporalmente” haciendo que su emisión llegue más tar-

de a la zona de recepción interferida. Deberá volver a simular con el software asistido por computadora y realizar la verificación de la cobertura obtenida.

3.2 Proyecto de la red SFN

A continuación, se presentará un ejemplo con todos los pasos que deben seguirse durante la fase de proyecto y diseño de una red SFN.

La red cubre las localidades alrededor de Lima Metropolitana y que son las más importantes en función a la población a servir y su área geográfica:

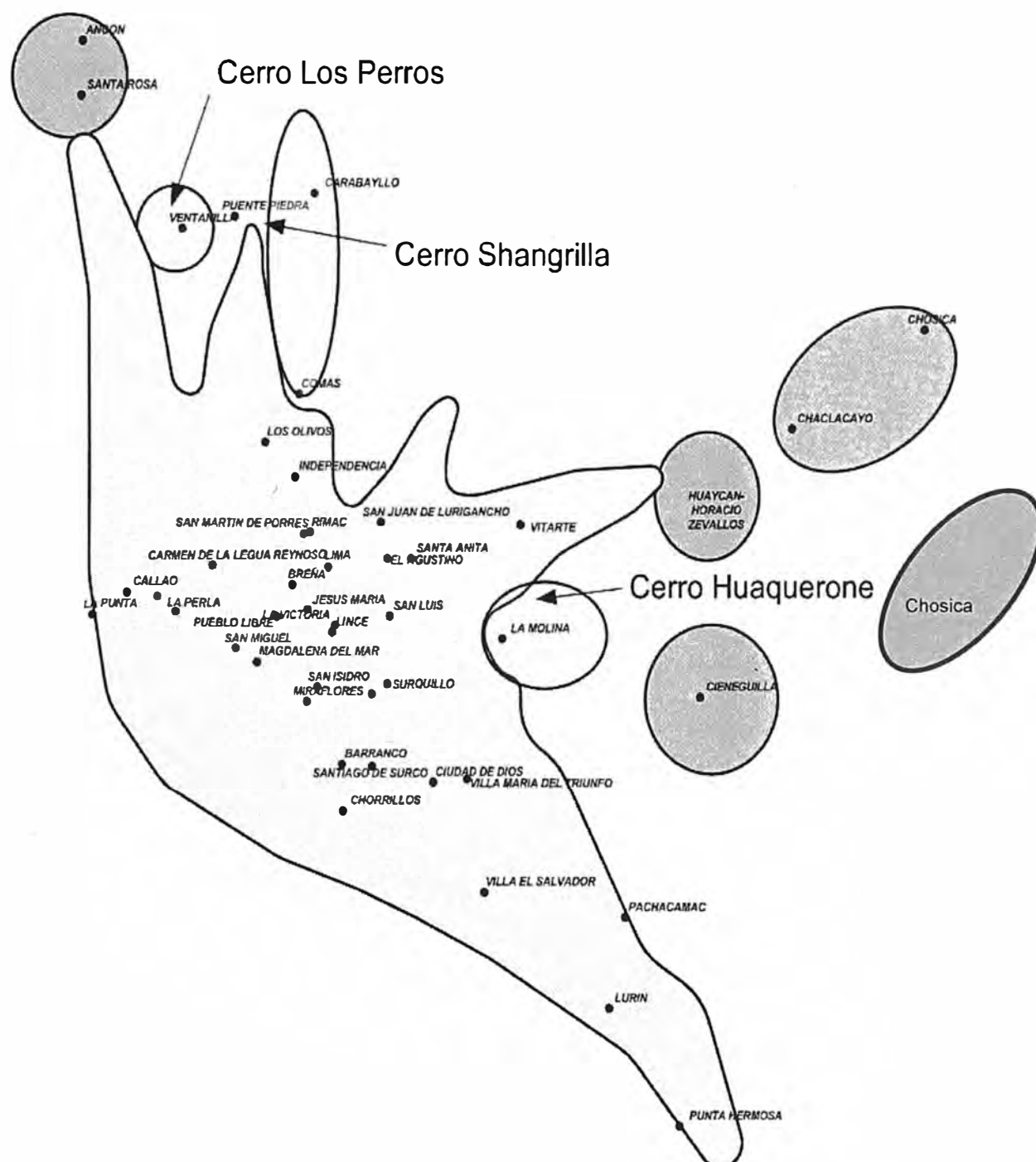


Figura 3.1 Cobertura. Fuente [3]

Las localidades alrededor de Lima Metropolitana a cubrir son:

1. Comas
2. Ventanilla
3. Ancón
4. La Molina (MUSA)
5. Huaycan
6. Chosica
7. Cieneguilla
8. Chaclacayo

Primero vamos a presentar un diagrama de disposición de las repetidoras, enlazadas por aire o por microondas:

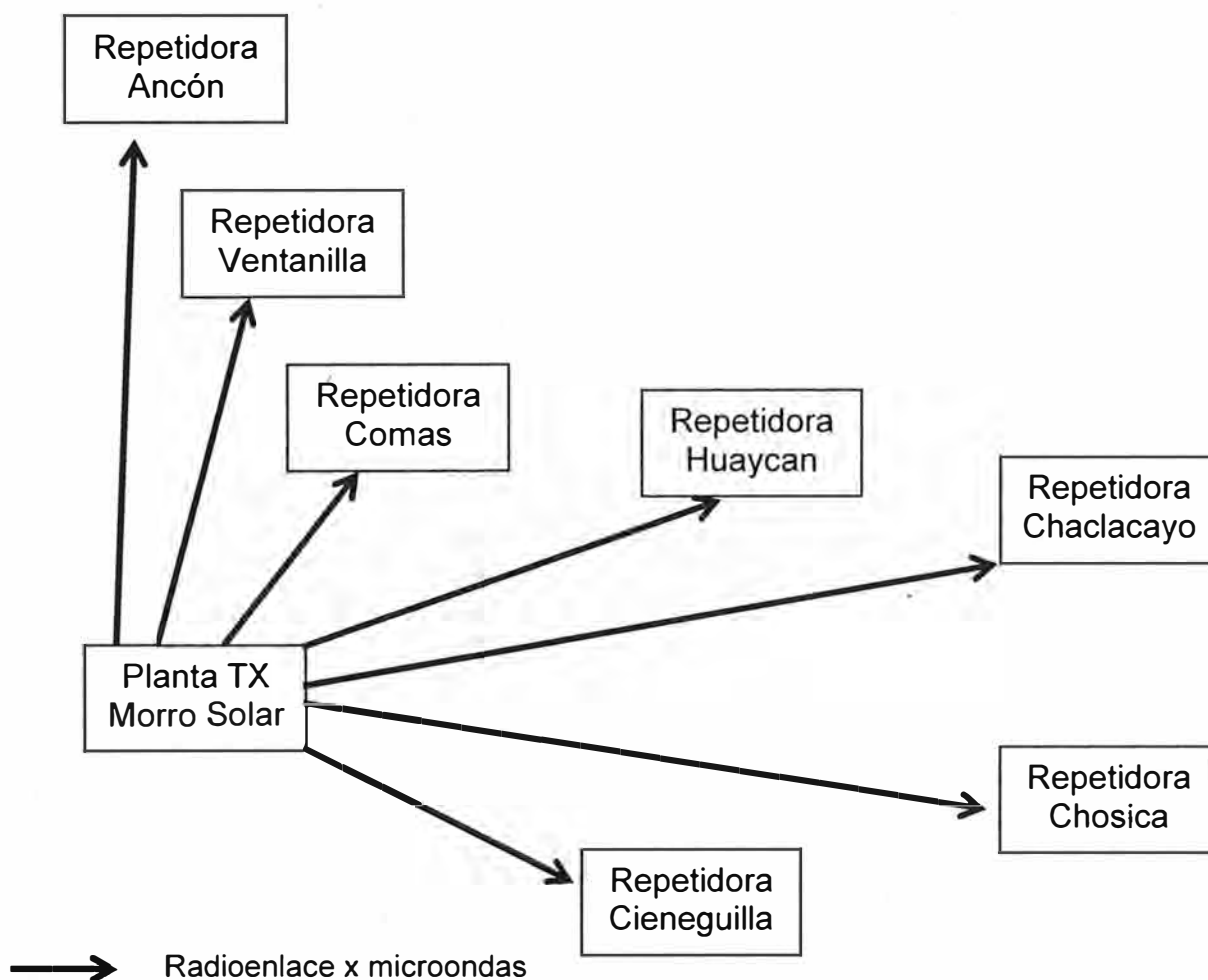


Figura 3.2 Diagrama de bloques. Fuente Elaboración propia

3.3 Diseño de la red

Este proceso es repetitivo, para todas las repetidoras de la red, por lo cual solo vamos a desarrollar principalmente el caso de la estación de Comas (ubicada en el Cerro

Shangrila en el distrito de Puente Piedra) que es la primera repetidora y la más importante, ya que atiende a una localidad de más de un millón de habitantes:

Los parámetros de la repetidora de Comas son:

- Latitud : 11°55'38.28"S
- Longitud: 77°05'04.40"O
- Altitud : 205 m.s.n.m.
- Distancia desde el Morro Solar hasta la repetidora: 29.7 km.



Figura 3.3 Ubicación de la retransmisora de Comas (Cerro Shangrila).
Fuente Google earth

En la siguiente figura 3.4 vemos el traslape de las señales provenientes del Morro Solar y las de la repetidora de Comas ubicada en el Cerro Shangrila, esta es una aproximación gráfica para visualizar la zona de interferencia, para la implementación de estas repetidoras, deberán hacerse diagramas mucho más detallados, asimismo, también deberá constatarse que las señales en los puntos de recepción de ambas fuentes estén dentro del intervalo de guarda, para evitar zonas sin señal. De no estarlos deberán asignársele retardos tal como se ha descrito en el capítulo 2.

Para esta repetidora, dado que su distancia desde el Morro es relativamente corta (menor a 30 Km), no se prevé mayores problemas con el retardo ya que de las mediciones que se han hecho en casos de prueba, éstas han estado dentro de los intervalos de guarda (Fuente [3]). Su sistema de antena TX lo conformaran un panel de 2 antenas.

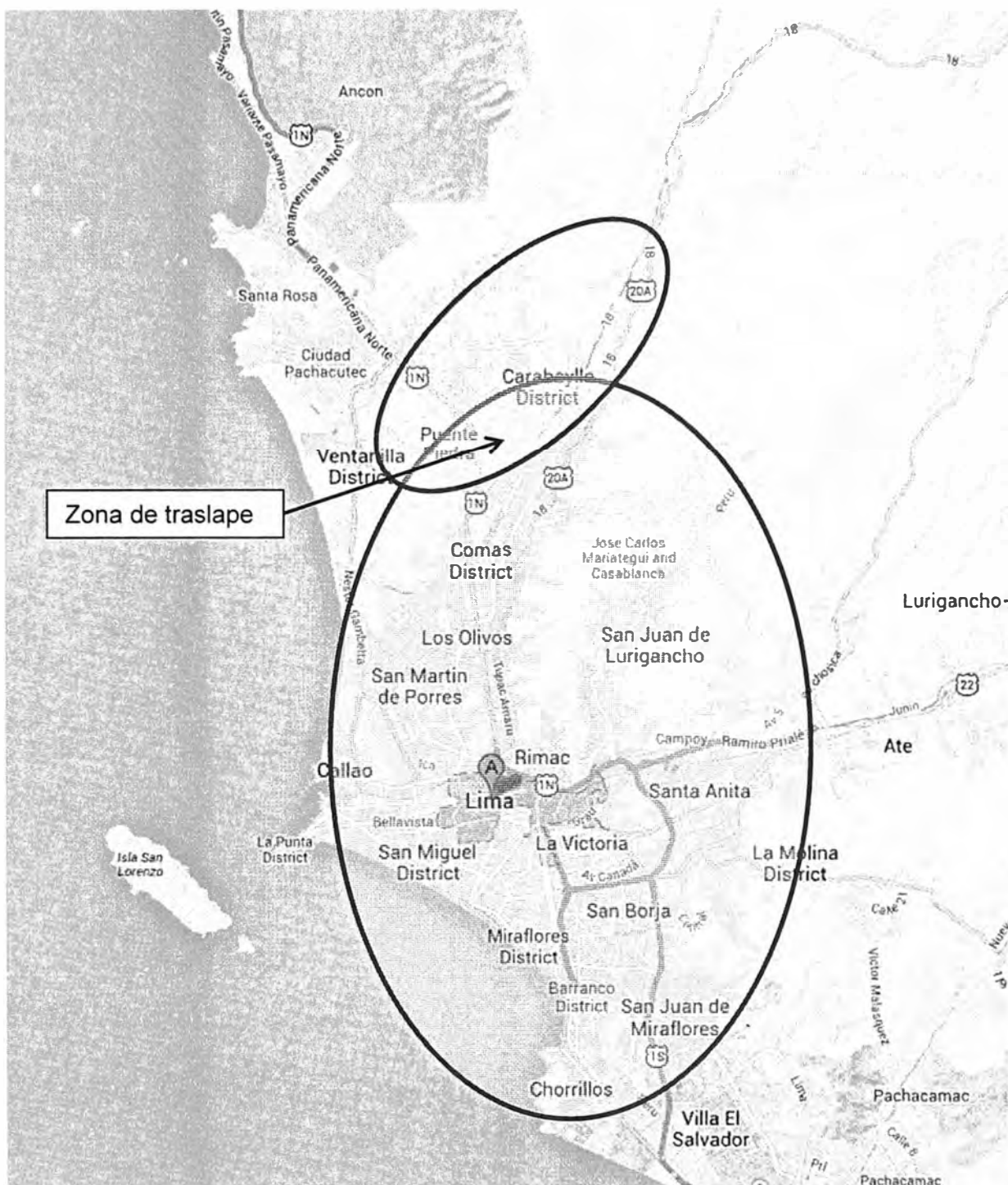


Figura 3.4 Diagrama aproximado del traslape de las coberturas.

Fuente Maps Google

La selección de las antenas y enlaces de las estaciones de la red se da en base a la potencias de cada transmisor, usando un software de simulación se diseñan los patrones de radiación de las antenas para cada estación y se escoge el tipo de antenas más adecuadas, teniendo en cuenta la disposición geográfica de las estaciones y las distancias.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama de bloque de un sistema de retransmisión típico aplicable a todas las retransmisoras, cada una consta de:

Un enlace de microondas desde la planta transmisora del Morro Solar a cada sitio de transmisión, el retransmisor propiamente dicho con su remultiplexor, el sistema de antenas de transmisión de cada repetidora lo conformaría un arreglo de 4 antenas en apilamiento vertical con una ganancia de 9 dBd con llenado de nulos (null fill) por cada acimut a cubrir, colocados en una torre ventada de por lo menos 18 metros de altura.

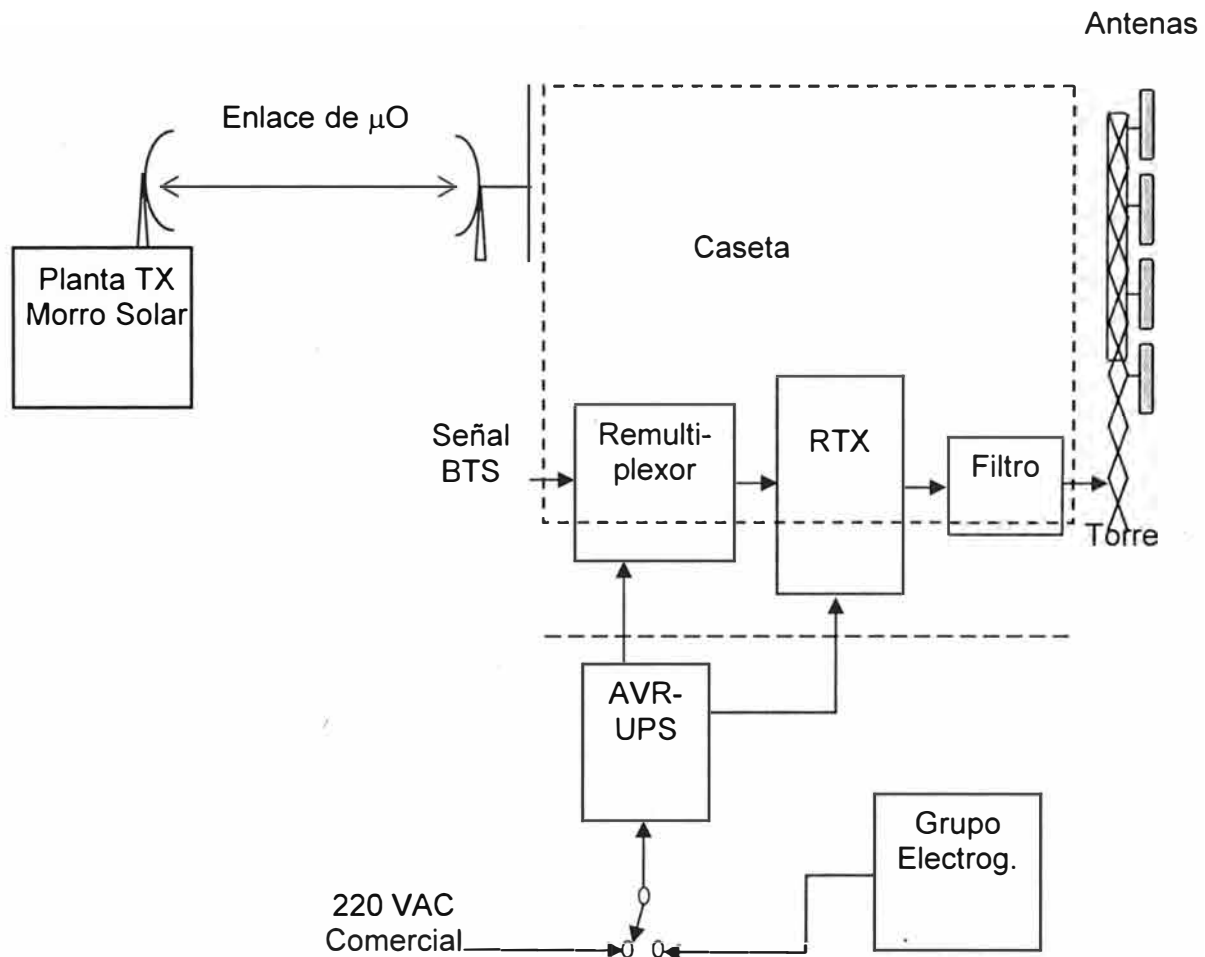


Figura 3.5 Diagrama de bloques de la retransmisora. Fuente Elaboración propia

También hay que mencionar que todos los sistemas deberán tener una fuente de poder ininterrumpida (UPS) así como un estabilizador de voltaje, un grupo electrógeno con una autonomía de al menos 48 horas y su tablero de transferencia automático, asimismo al ser los enlaces de microondas de ida-vuelta, tener la telemetría y control remoto por el mismo, para de esa forma monitorear el estado de la repetidora, registrar y comunicar cualquier contingencia o alarma que se presente en tiempo real. La caseta deberá ser de construcción noble y con cerco perimetral de preferencia de ladrillo y cemento. Otro tema importante considerando los altos niveles de inseguridad que hay en la actualidad, es necesario contar con un servicio de guardianía las 24 horas del día, adicional a cualquier sistema de alarma o protección que se pueda disponer.

De requerirse ajustes en los retardos estos se harán en la retransmisora, asimismo la referencia externa a un sistema GPS se adicionará de necesitarse, como en casi todos los casos las distancias de los enlaces no son mayores a 40 km, por consiguiente la referencia del clock de 10 MHz puede ir en conjunto con la señal del BTS y solo en la planta transmisora del Morro Solar se tendría un reloj maestro referenciado a GPS con un sistema de antenas de recepción diferencial para mayor precisión.

Si bien es cierto que en la mayoría de los casos no sería crítico el uso de microondas, si es importante ya que con el tiempo se añadirán gap fillers para pequeñas zonas de sombra dentro del área de servicio de la retransmisora y ahí será crítico el ajuste de los retardos para garantizar que en los traslapes de señal provenientes del morro, la retransmisora y el gap filler ocurra refuerzo de la señal en los puntos de recepción en estas zonas, con el uso de enlaces de microondas podemos ajustar el retardo de la retransmisora a los valores necesarios.

En la Figura 3.6 se muestran los diagramas de radiación horizontal y vertical de la antena generados por el software especializado, se diseñan las antenas para cumplir con este requisito, eligiendo un diagrama de radiación horizontal en forma de cardioide. El objetivo es lograr cobertura en un sector.

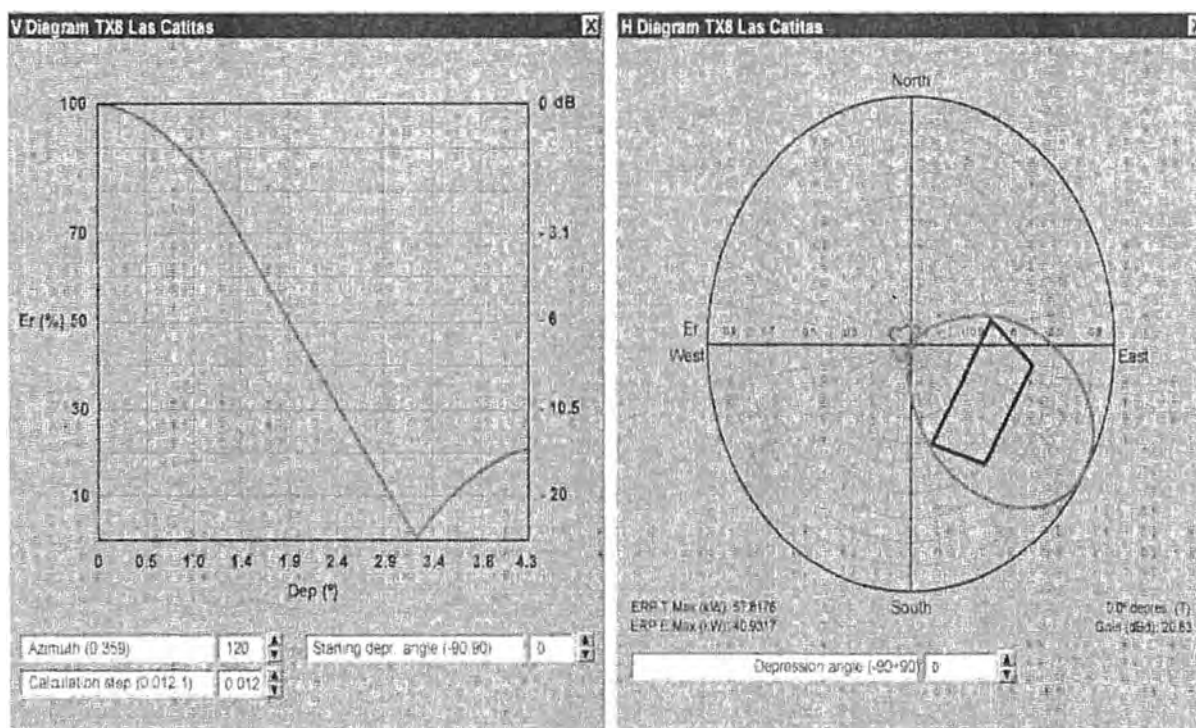


Figura 3.6 Diagramas V y H de la antena del TX. Fuente EM Lab, Aldena. Fuente [5]

El software permite, tal como puede verse en la Figura 3.7, realizar la corrección de los nulos del diagrama vertical, mejorando la cobertura en zonas pobladas que se encuentren cercanas a la antena.

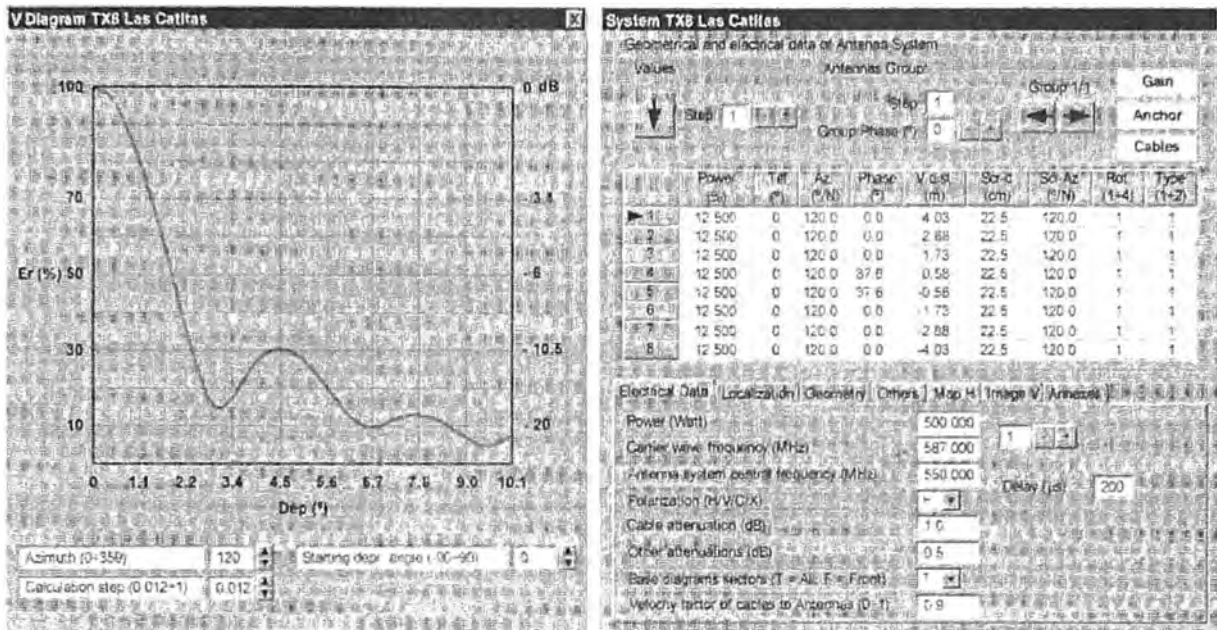


Figura 3.7 Corrección de los nullos del diagrama vertical de la antena.

Fuente: EM Lab Aldena [5]

Perfiles del terreno entre las estaciones:

Para que los enlaces funcionen correctamente, deberán tener línea de vista entre ellos. En la figura 3.8 se muestra el perfil del enlace de microondas de la estación de Comas. En el caso de la repetidora de Cieneguilla, va a ser necesario o usar un repetidor pasivo o un doble salto, ya que la topografía de la zona es muy complicada.

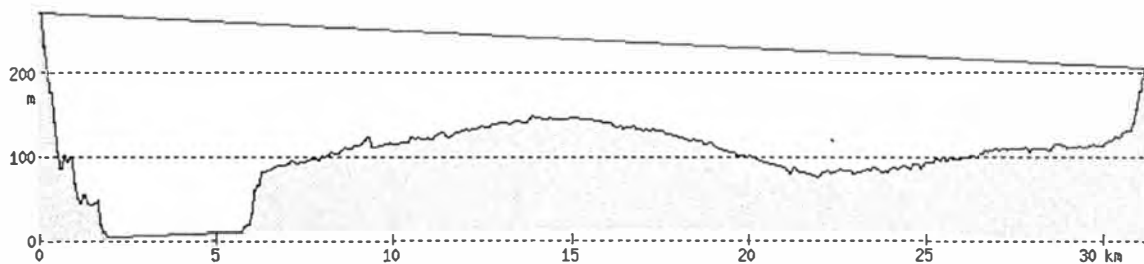


Figura 3.8 Perfil de enlace μ O entre el Morro y C° Shangrila. Fuente Elaboración Propia

Para los otros enlaces no se presentan mayores problemas ya que cuentan con línea de vista. En el caso de Chosica deberá colocarse el enlace en alguno de los cerros alrededores a dicha localidad, ya que tienen una buena altura y hay enlaces de microondas operando en dichas ubicaciones sin problemas desde hace muchos años, por lo que el enlace desde el Morro Solar hasta la parte alta de Chosica se conectará sin problemas.

Sincronización

Debido a que operan en redes SFN se requiere de una rigurosa sincronización. Para solucionar esto, en el caso de que el retardo sea mayor al intervalo de guarda OFDM, los

Gap-Fillers permiten el uso de sistemas de sincronización en base a GPS y con diversidad de antenas de recepción, tal como se describe en el capítulo 2, Marco Teórico .

En el caso de la repetidora de Comas no va a ser necesaria una sincronización con GPS, ya que los retardos están dentro del intervalo de guarda (Fuente: [3])

Para las otras repetidoras el proceso es similar, salvo los casos de La Molina, donde si bien es cierto es posible usar un gap filler (ATV lo usa), es recomendable alimentarlo con un radioenlace ya que alimentará también a la repetidora de Cieneguilla donde si se va a tener que usar un radioenlace de microondas doble ya que no es posible recibir la señal ni del Morro Solar ni de ninguna otra repetidora de la red. Esta localidad también podría ser alimentada por una señal vía satélite, en el caso de que la estación principal disponga de segmento satelital y lo use para enviar señal digital en HD.

A continuación datos particulares de ubicación y cobertura de las demás repetidoras:

Repetidora de Ancón:

Los parámetros de la repetidora de Ancon son:

- Latitud : 11°42'58.65"S
- Longitud: 77°02'29.96"O
- Altitud : 1786 m.s.n.m.
- Distancia desde el Morro Solar hasta la repetidora: 52.63 km.

Su sistema de antena transmisora lo conforma un arreglo de 2 antenas panel para dar cobertura a las poblaciones de Ancon y de Santa Rosa



Figura 3.9 Ubicación de retransmisora Ancon y diagrama de cobertura.
Fuente: Google earth

Repetidora de Chosica:

Los parámetros de la repetidora de Chosica son:

- Latitud : 11°55'22.21"S
- Longitud: 76°41'35.42"O
- Altitud : 1330 m.s.n.m.
- Distancia desde el Morro Solar hasta la repetidora: 47.05 km.

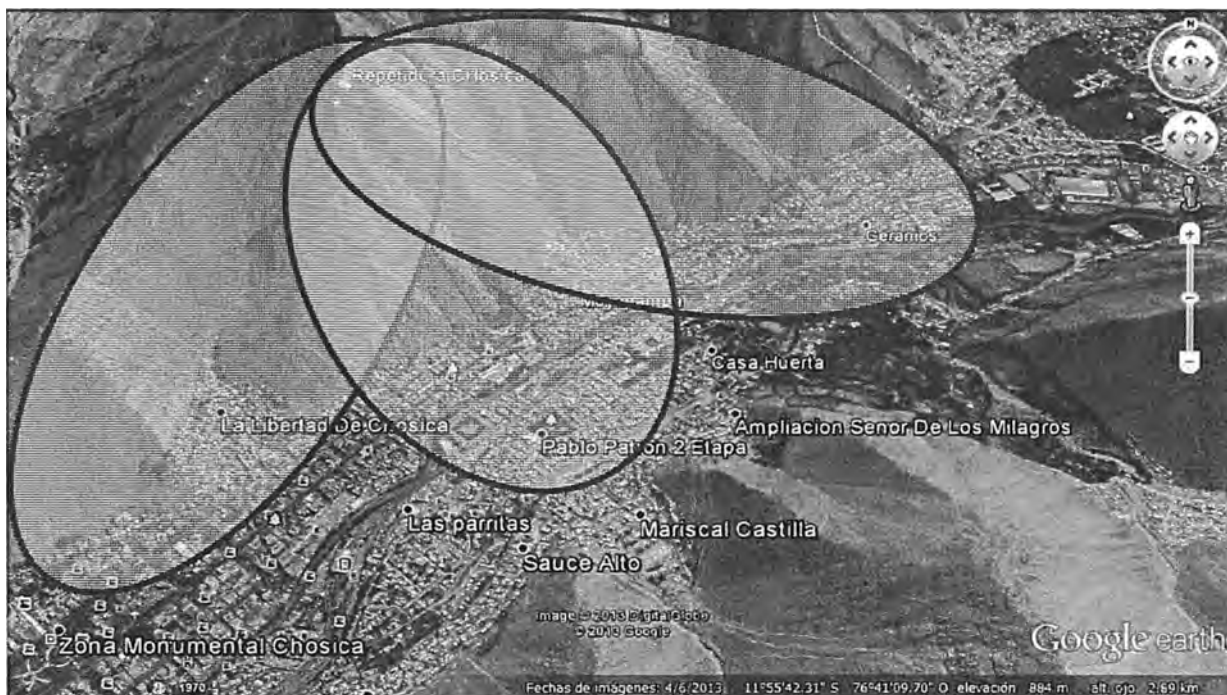


Figura 3.10 Ubicación de retransmisora Chosica y diagrama de cobertura.
Fuente Google earth

Su sistema de antena transmisora lo conformarían arreglos de 2-4-2 antenas panel configuradas adecuadamente según el software asistido por computadora lo indique para coberturar a las poblaciones de Chosica, Mariscal Castilla y Geranios.

Repetidoras de La Molina y Cieneguilla

Los parámetros de la repetidora de La Molina son:

- Latitud : 12°03'56.53"S
- Longitud: 77°55'30.12"O
- Altitud : 628 m.s.n.m.
- Distancia desde el Morro Solar hasta la repetidora: 17.92 km.

Los parámetros de la repetidora de Cieneguilla son:

- Latitud : 12°05'56.41"S
- Longitud: 76°50'15.74"O
- Altitud : 501 m.s.n.m.

- Distancia desde el Morro Solar hasta la repetidora: 23.31 km.

Sus sistemas de antena transmisora lo conformarían arreglos de 2-4. La distancia lineal entre las repetidoras es de unos 10.2 km. Una cadena de elevados cerros las separan. La repetidora de La Molina alimentará vía un radioenlace de microondas de doble salto a la de Cieneguilla.

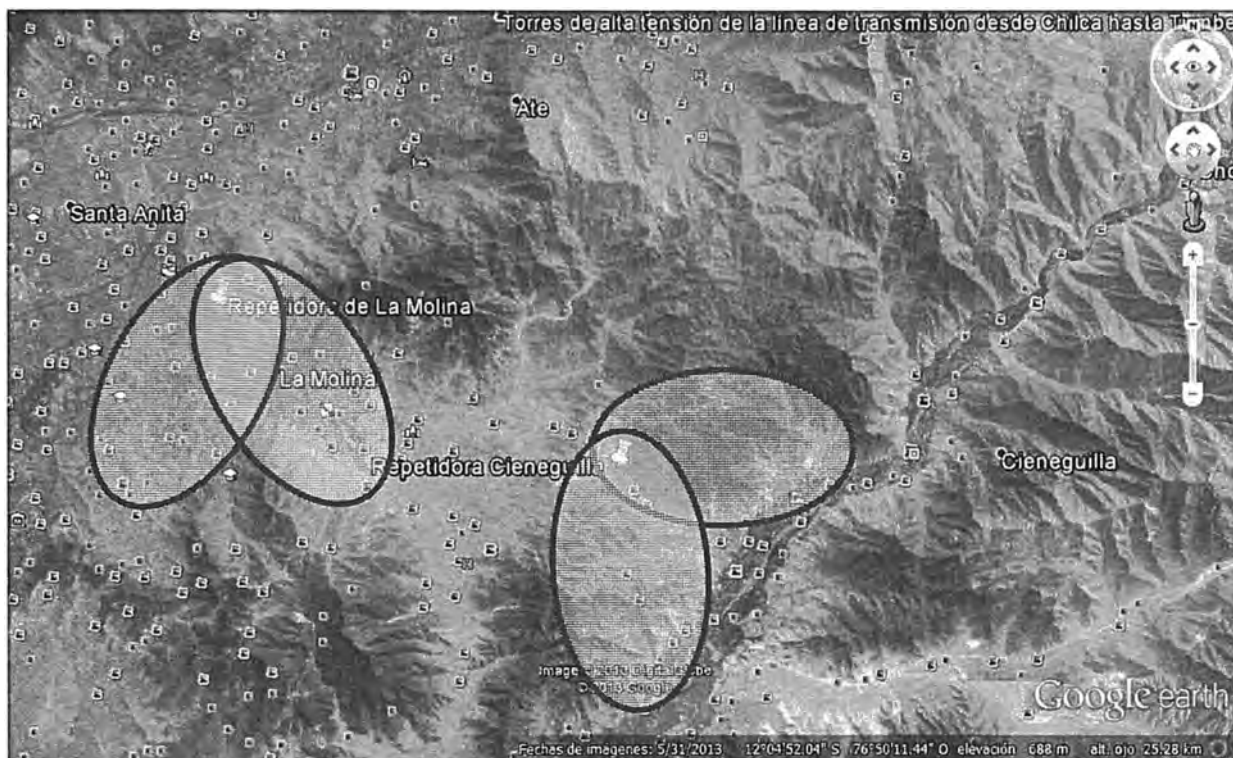


Figura 3.11 Ubicación de repetidoras La Molina y Cieneguilla y diagrama de cobertura.
Fuente: Google earth

CAPITULO IV ANÁLISIS ECONOMICO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza el análisis económico y un estimado del tiempo de implementación de la red de repetidoras, que permitan el despliegue de Redes de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre

4.1 Monto de la inversión de los equipos de retransmisión

Vamos a analizar primero los costos de las repetidoras, que se muestra en la tabla 4.1. En este caso no incluye inyección de otra señal como ocurre a veces en caso de estaciones en capitales de región, por lo que no se ha considerado encoders. Luego siguen las antenas de transmisión, y la interconexión con enlaces de microondas. Los enlaces de fibra óptica no se han considerado para este informe ya que los proveedores de este servicio (operadores de comunicaciones fijos o móviles) no han desplegado todavía fibra óptica a los lugares de ubicación de las repetidoras, una instalación propia de un canal implicaría un costo adicional que estaría fuera de alcance de cualquier estación de televisión.

Tabla N° 4.1 Listado de equipos para una retransmisora

Ítem	Descripción	Precio Local US \$
1	Retransmisor de 100 vatios	28,000
2	Sistema de antenas de transmisión	4,000
3	Sistema de protección eléctrica (Pararrayo)	1,000
4	Sistema de puesta a tierra (2 pozos)	1,000
5	Televisor-monitor para chequeo	500
6	Regulador de voltaje – UPS – Supresor picos	7,000
7	Sistema de aire acondicionado (24,000BTU)	1,000
8	Grupo electrógeno 7.5 KW	4,000
Total por cada lugar US \$		46,500

Fuente: Páginas web de Proveedores USA de Equipos

Este es el caso general, Comas tiene el agregado de cubrir una gran área geográfica, por lo que la potencia estimada debe ser de 400 vatios, razón por la cual su costo total sube a US \$ 58,500, resultando así el costo total de la repetidora de Comas de unos US \$ 66,500.

Todos las otras estaciones tienen una potencia referencial de 100 vatios, lo cual no implica que transmitan a esa potencia, puede darse el caso que en algunos lugares sea necesario menor potencia, por lo que se ajustará a la potencia que se requiere. El hecho de no diversificar potencias redundará en mayor facilidad para el mantenimiento.

Se ha considerado grupo electrógeno con autonomía de 48 horas, UPS y supresor de picos de voltaje para evitar daños a los equipos por fluctuaciones en el voltaje de alimentación y poder seguir transmitiendo aún cuando no se tenga fluido eléctrico en la zona a servir, esto fundamentalmente para poder ser un medio de aviso de emergencia EWS a los teléfonos que tengan receptor de one-seg y que estén en la zona de cobertura de la repetidora.

Una vez presentado el diseño de las redes de transporte procederemos a realizar el flujo de caja. Se ha usado precios referenciales de los diferentes fabricantes; los cuales obviamente variaran en el transcurso del paso del tiempo y para la realización del proyecto deberán ser actualizados.

4.2 Redes de microondas para enlazar las repetidoras

Los costos relacionados con la red de transporte se presenta en la tabla 4.2. Cada enlace de microondas consta así de las siguientes partes :

Tabla N° 4.2 Listado de equipos para los enlaces de μ O

Ítem	Descripción	Precio Local US \$
1	Enlace de microondas	18,000
2	Códec	8,000
3	Líneas de transmisión	500
4	Antenas (2 unidades)	4,000
5	Sistemas de energía	1,000
Total por cada lugar US \$		35,500

Fuente: Páginas web de Proveedores USA de equipos.

Esto quiere decir que cada canal de TV deberá invertir los \$ 35,500 por cada enlace que necesite.

Los radioenlaces por microondas deberán usar las bandas licenciadas por el MTC para tal fin, es decir la banda de 10/11 GHz y la banda de 12/13 GHz, según los dispuesto en el PNAF.

Debido a que los equipamientos en algunas ubicaciones comparten el mismo ambiente y la mayoría de los costos tales como el la torre, el sistema de energía, el sistema de protección, entre otros, puede omitirse, para fines del presente informe, salvo en los casos donde no exista caseta, es decir donde la localidad no sea servida actualmente.

4.3 Costos de operación y de mantenimiento

Los costos relacionados con la operación y mantenimiento de la red son los siguientes.

- Para los retransmisores y enlaces de microondas:
- Canon (derecho anual de utilización del espectro)
- Mantenimiento correctivo anual
- Mantenimiento preventivo anual

En la tabla 4.1 se detallan los precios de los equipos de microondas así como líneas de transmisión, infraestructura de telecomunicaciones, equipos para la videoconferencia y switch. La construcción e instalación de las torres y soporte para las ODU/antenas quedará a cargo de contratistas locales. Además la fabricación de los soportes para las antenas deberá ser encargada al mismo fabricante de las torres ello con el fin de ahorrar costos y uniformizar materiales.

Para garantizar un correcto funcionamiento de la red se debe elaborar un plan de mantenimiento tanto correctivo como preventivo. A continuación se detalla en qué consistirá cada uno:

Mantenimiento Correctivo: Se realizará cada vez que sea detectada una falla en alguna de las estaciones, la respuesta deberá ser muy rápida porque la falla podría causar la interrupción del servicio de TV.

Mantenimiento Preventivo: Se realizará una visita semestral a todas las estaciones. En estas visitas realizarán diversas pruebas para corroborar el rendimiento, y el mantenimiento indicado por los fabricantes en sus manuales.

Los costos totales del proyecto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 4.3 Costos del proyecto. Fuente Elaboración Propia

Ítem	Estación retransmisora	Precio Local US \$
1	Comas	102,000
2	Ventanilla	82,000
3	Ancón	82,000
4	La Molina	82,000
5	Huaycan	82,000
6	Chosica	82,000
7	Cieneguilla (1)	117,500
8	Chaclacayo	82,000
Gran Total US \$		931,000

(1) Requiere un segundo salto de microondas

4.4 Estimación del tiempo de ejecución

El tiempo promedio de adquisición para los canales de TV en el país es de 4 meses por lo engorroso de los procedimientos de permisos de ingreso o de importación de equipos transmisores, pero para el presente informe se asume el plazo más largo. A esto hay que sumarle el tiempo que demora conseguir la licencia (que incluye la estación retransmisora de TV y su enlace de microondas respectivo, que se tramita casi simultáneamente con los permisos de ingreso) lo cual se ha estimado en tres meses en promedio para todas las localidades.

Tabla N° 4.4 Diagrama de tiempos de implementación. Fuente Elaboración propia

ACTIVIDADES	TIEMPO EN MESES					
	1	2	3	4	5	6
Planificación del Sistema	■					
Obtención de la Licencias (TV y μ O)	■	■	■			
Adquisición de Equipos					■	
Instalación				■	■	
Pruebas					■	■
Capacitación						■

4.5 Enlaces de fibra óptica

Es de prever que en un futuro cercano (unos 5 años en adelante), la disponibilidad de enlaces de fibra óptica punto a punto empiecen a interconectar las celdas del servicio de comunicaciones móviles que ahora son alimentadas por enlaces de microondas, las cuales incluirán los lugares donde hemos estimado se deban colocar los repetidores y como es una práctica común, siempre hay circuitos de fibra óptica disponibles como backup, por lo que alguno de ellos puede ser rentado por los canales de TV para la interconexión de la planta transmisora con las repetidoras.

Este punto sólo debe ser considerado cuando exista disponibilidad de fibra oscura, preferentemente; ya que si se usa fibra en uso compartido con otros servicios deberán tener implementados el servicio de MPLS para garantizar las velocidades necesarios, en este caso de 23 Mbps, lo cual no siempre se consigue si la información de la señal de TV es multiplexada con otras informaciones sin MPLS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

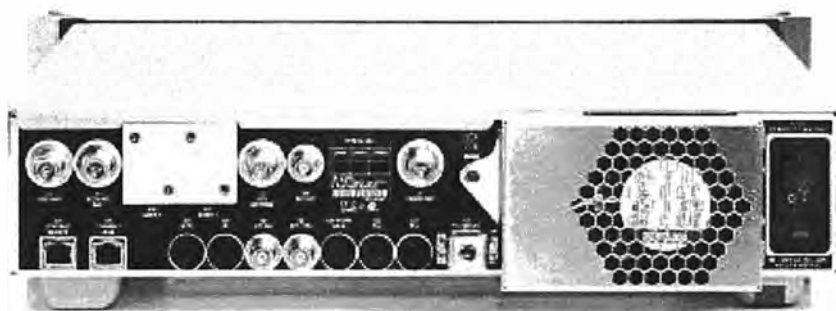
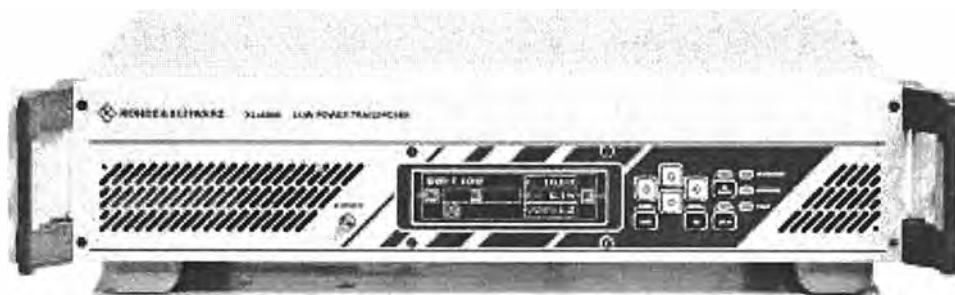
1. De los resultados obtenidos en el caso de la repetidora SFN de Comas se observa que el retardo entre las señales del Morro Solar y la del cerro Shangrila es menor que el intervalo de guarda de la modulación OFDM en el área de estudio, por lo que se comprueba las ventajas de implementar la repetidora en SFN.
2. En las zonas de repetición que se encuentran sin línea de vista al Morro no es tan crítico el ajuste del retardo, ya que no hay traslape entre las señales, con lo cual puede ahorrarse la sincronización por GPS.
3. Es necesario en estas zonas el empleo de antenas exteriores de regular ganancia y en algunos casos con amplificadores de señal o boosters.
4. Las repetidoras en isofrecuencia representan la alternativa más económica y adecuada para la dar cobertura a las zonas de Lima Metropolitana, independientemente de lo complicada que pueda ser su topografía.

Recomendaciones

1. Todo el despliegue de la TDT en el Territorio 01: Lima y Callao, deberá estar debidamente cubierto por lo menos un año antes del apagón-analógico del tercer trimestre del 2020 con el fin de realizar correcciones y/o ajustes si los hubiera.
2. Las empresas radiodifusoras de Televisión Digital Terrestre que realicen el despliegue de sus redes en base a retransmisoras mediante la tecnología SFN deberían usar sistemas de sincronización GPS y elegir el intervalo de guarda de modulación OFDM más adecuado.
3. Las empresas de TV deberán compartir la infraestructura de los repetidores a fin de reducir sus costos de inversión.
4. Debe darse énfasis en caso de usar gap fillers, al aislamiento de la antena transmisora y receptora para evitar el acople de señales y así poder desplegar redes SFN sin ningún problema en zonas pequeñas y muy particulares, aún dentro de la cobertura de un repetidor SFN.

ANEXO A
EQUIPOS TRANSMISORES Y ANTENAS

Equipo Retransmisor de TV: R&S®XLx8000 UHF/VHF Transposers



					Height units		
Frequency band	DVB-T, DVB-T2, DVB-H, ISDB-T ISDB-T _S , DTMB, CMMB (RMS)	ATSC, ATSC Mobile DTV (RMS)	ATV (sync peak)	DAB(+), T-DMB (RMS)	2	3	4
UHF	2 W	3 W	—	—	•		
	5 W	8 W	12 W	—	•		
	10 W	16 W	25 W	—	•		
	25 W	40 W	60 W	—		•	
	50 W	80 W	125 W	—		•	
	100 W	150 W	250 W	—		•	

Fuente: http://www.rohde-schwarz.com/en/product/xlx8000-products_63492-10435.html

48
pag

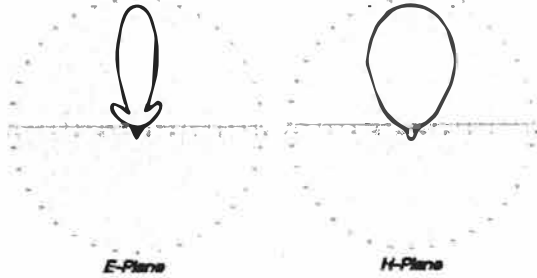
ELECTRICAL FEATURES

WORKING BAND: 470+862 MHz
BANDWIDTH: UHF M/V band
GAIN: 10.5 dBd (12.8 dBi)
VSWR: ≤ 1.1:1 (-25.6 dB)
POLARIZATION: vertical
HALFPOWER BEAMWIDTH:
 E-Plane - 27°
 H-Plane - 83°

LIGHTNING PROTECTION: all metal parts DC grounded including inner conductors

AVAILABLE VERSION AND CODE:

ATU0807420V - EIA 7/8" flange - max 2500W (single car.)
 ATU0807421V - DIN 7/16 female - max 1000W (single car.)
 ATU0807422V - N female - max 400W (single car.)



MECHANICAL DATA

MATERIALS: reflector in stainless steel, lines and dipoles in copper and brass, teflon substrates, silicon O-Rings

MOUNTING: directly on supporting structure via 4 holes Ø8mm

MOUNTING BRACKET: optional fixed brackets (cod. XZATUM) tiltable brackets (cod. XZATU)

ICING PROTECTION: SMC (fiberglass) radome

TREATMENTS: silver-plated lines, dipoles and connector

PRESSURIZATION: 5.0 psi

ANTENNA DIMENSIONS: 460x780x280 mm

WEIGHT: 14 Kg net

WIND SURFACE: 0.46 m² front - 0.23 m² side

WIND LOAD (at 160km/h and 30° C air temperature):

88.14 Kg front - 43.99 Kg side

SURVIVAL WIND: 220km/h

PACKING DIMENSIONS: box 820x630x300 mm - 18Kg

ARRAY DATA

RAY	PANEL PER RAY	SYSTEM GAIN (dB)	GAIN (dBd)	WEIGHT (Kg)	SYSTEM HEIGHT (m)	WIND LOAD (Kg)
2	1	13.68	23.34	37	1.7	172.3
4	1	16.71	46.89	74	3.5	344.6
6	1	18.48	70.47	111	5.3	516.4
8	1	19.73	93.97	148	7.1	688.1
12	1	21.90	141.25	232	10.7	1033.7
1	2	7.40	5.50	37	0.8	130.1
2	2	10.43	11.04	74	1.7	260.3
4	2	18.47	22.23	148	3.5	520.5
6	2	15.24	33.24	232	5.3	780.8
8	2	16.50	44.57	346	7.1	1041.0
12	2	18.27	67.14	464	10.7	1561.6
1	3	6.00	3.98	55	0.8	174.1
2	3	9.07	6.97	106	1.7	348.2
4	3	12.08	15.14	212	3.5	696.5
6	3	13.85	24.27	326	5.3	1044.7
8	3	15.11	38.43	474	7.1	1393.0
12	3	16.88	48.75	656	10.7	2089.4
1	4	4.95	3.13	74	0.8	174.1
2	4	7.94	6.22	148	1.7	348.2
4	4	10.95	12.45	296	3.5	696.5
6	4	12.72	18.71	464	5.3	1044.7
8	4	13.98	25.00	622	7.1	1393.0
12	4	15.75	37.58	828	10.7	2089.4

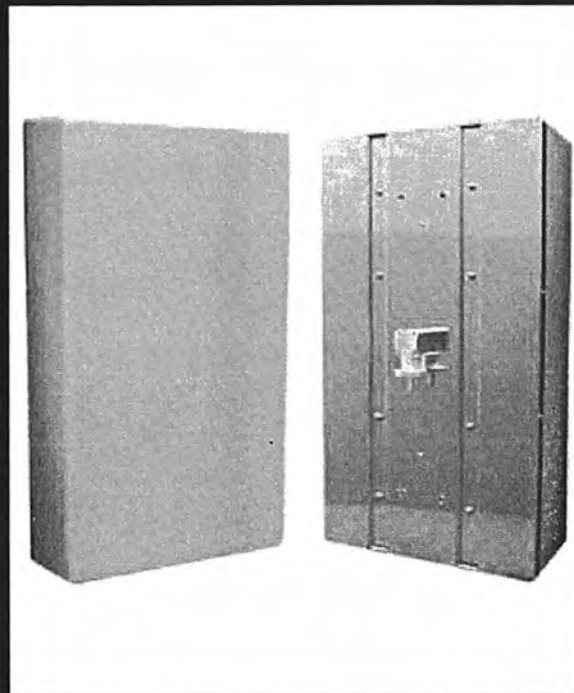
1 - 1" rail flange and electrical fit not take into account
 2 - mounting hardware not take into account
 3 - 160km/h wind and 30° C air temperature

ATU 08 07 42xV

UHF
 Band IV/V
 DVB-T/H
 TV Broadcasting

Pannello a 4 dipoli.
 Irradiazione direttiva.
 Adatta per sistemi collineari o con accoppiamenti a 90°.
 Pressurizzabile.
 Banda larga 470 + 862 MHz.

4 dipoles panel.
 Directional radiation pattern.
 Suitable for stacked or 90° couplings arrays.
 Pressurizable.
 Broadband 470 + 862 MHz.



ANEXO B
EQUIPOS DE MICROONDAS

Anexo C - Equipos de microondas

TrangoLINK GigaPro™



High Performance, Ethernet & SDH/PDH Native Licensed Microwave Backhaul System 6-40 GHz [10]

GigaPro Overview

The TrangoLINK GigaPro™ is a high-performance point-to-point wireless microwave system designed for Service Provider, Government, and Enterprise networks using licensed microwave spectrum. The GigaPro provides 750 Mbps of full duplex wireless capacity that is ideal for native IP (Ethernet) traffic via GigE and fiber interfaces as well as native TDM connectivity through STM-1, OC-3, T1 and E1 interfaces.

Dual Modem Architecture

The GigaPro is a dual modem, split architecture system offering full duplex capacity over licensed frequency bands 6-40 GHz. The GigaPro offers advanced features and performance such as high power ODUs, exceptional receiver sensitivity and hitless adaptive coding and modulation (ACM). As a dual modem system, the GigaPro also offers various forms of advanced hitless link protection such as 1+1 hot standby, space diversity, frequency diversity, as well as 2+0 link aggregation and East-West modes. With these features, coupled with QoS features, the GigaPro can achieve capacity and reliability levels and link distances for voice and data not previously achievable using conventional fixed modulation techniques.

Future-Proof Design

GigaPro's future-proof design protects your microwave backhaul investment. Embedded software keys enable flexible speed and feature upgrades - allowing you to unlock speeds ranging from 100 to 750 Mbps. The software keys also unleash additional TDM functionality. GigaPro's future-proof protection allows you to easily migrate from your TDM network today to the 4G all Ethernet architecture of tomorrow.

TrangoLINK GigaPro™ Key Features

- Up to 1.5 Gbps (750 Mbps Full Duplex) Capacity
- Dual & Single Modem Options
- Hitless Adaptive Coding and Modulation (ACM)
- Hitless 1+1 Hot Standby
- Frequency & Spatial Diversity
- Industry-Leading System Gain
- 6-40 GHz Support
- 3.5-56 MHz Channel Bandwidth
- Up to 2,000,000 Packets per Second

- 2x GigE Fiber & 4x GigE Copper Ports
- 2x STM-1/OC-3 Interfaces
- 32x T1/E1 Ports
- Support for up to 8 Classes of Service (CoS)
- Min/Max shaping per port
- FCC/ETSI & NEBS Compliant
- Ultra low latency, as low as $<100 \mu\text{S}$ (.1 ms), ideal for triple play
- Standard 2-Year Manufacturer's Warranty



Private and Enterprise Networks

Private and Enterprise Networks using Trango Systems' licensed microwave systems can realize significant cost savings in recurring costs over traditional leased lines while simultaneously increasing the capacity of their LAN/WAN.

Both the TrangoLINK ApexPlus™ and the TrangoLINK GigaPro™ feature guaranteed throughput and ultra-low latency to support video, voice and data traffic. Coupled with the most configurations for improving link reliability, the TrangoLINK line leads the industry with the most flexible and scalable options.

Trango products can be expanded remotely as the network capacity demands increase, via simple software updates. Remote software updates, out-of-band management and easy to learn GUIs with full SNMP support ensure a seamless transition into the most demanding LAN/WAN environments.



High Performance antenna

ANEXO C
GLOSARIO DE TÉRMINOS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Asociación Brasileña de Normas Técnicas, Televisión digital terrestre. Receptores, Norma ABNT <http://forumsbtvd.org.br/acervo-online/normas-brasileiras-de-tv-digital/>
- [2] Pisciotta, Liendo y Lauro, Transmisión de la Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb, Cengage Learning, 2013,.
- [3] Carlos Barraza Flores, Estudio, diseño e instalación de un retransmisor isofrecuencial de televisión digital terrestre para el cono norte de Lima, Tesis de Bachiller , Pontificia Universidad Católica del Perú 2011.
- [4] Jorge Arisméndiz Campos, Diseño de una red interuniversitaria híbrida por microondas y fibra óptica para aplicaciones educativas, Informe de Suficiencia, UNI 2011.
- [5] Aldena, EM Lab, Software para cálculo de cobertura de redes de TV, [en línea], , <http://www.aldena.it>.
- [6] ITU Radiocommunication Study Groups, Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/ UHF bands, Recommendation UIT-R BT.1368-9, 2011.
- [7] ITU Radiocommunication Study Groups, Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz, Recomendación UIT-R P. 1546-4, 2009.
- [8] ITU Radiocommunication Study Groups, Métodos de corrección de errores, de configuración de trama de datos, de modulación y de emisión para la radiodifusión de televisión digital terrenal, Recomendación UIT-R BT.1306-3, 2006
- [9] .ITU Radiocommunication Study Groups, Calculation model and reference receiver characteristics of ISDB-T System, Reporte UIT-R BT.2209, 2010.
- [10] Trango Systems <http://www.trangosys.com/products/point-to-point-wireless-backhaul/licensed-wireless/trangolink-gigapro.shtml>
- [11] ITU Radiocommunication Study Groups, Propagación por Difracción - Serie P - Propagación de las ondas radiolétricas, Recomendación UIT-R P-526-11 (10/2009).
- [12] Francisco A. Sandoval N , Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial ISDB-T e ISDB-Tb, http://www.slideshare.net/blog_fralbe/7-isdb
- [13] Association of Radio Industries and Businesses, Transmission system for digital terrestrial television broadcasting, ARIB Standard STD-B31 v1.6, Japan 2005.
- [14] .ITU - Radiocommunication Study Groups, Criterio Error Second Ratio, Documento UIT 6E/64-E.
- [15] Pisciotta, Nestor, Sistema ISDB-Tb (Primera parte), Serie de materiales de Investigación de la Universidad Blas Pascal, Año 3, Num 9, 2010
- [16] Bertella, Sacco e Tabone, Reti SFN DVB-T , Elettronica e Telecomunicazione Num 2, <http://www.crit.rai.it>

AC	Auxiliary Channel
BPSK	Binary Phase Shift Keying
C/N	Carrier to Noise Ratio
CP	Continual Pilot
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
FFT	Fast Fourier Transformer
HDTV	TV de alta definición
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ISDB-Tb	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brasil
ISI	Interferencia entre Simbolos
MFN	Multiple Frequency Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
OCT	Octal Notation
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
One Seg	Recepción de TV digital para teléfonos móviles
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RS	Reed Solomon
SIMULCAST	Simultaneous broadcast - Transmisión simultánea de más de un servicio
SDTV	TV de definición estándar
SFN	Single Frequency Network
SP	Scattered Pilot
TDT	Televisión Digital Terrestre
TVD-T.	Televisión Digital Terrestre
TMCC	Transmission and Multiplexing Configuration Control
TS	Transport Stream
TSP	Transport Stream Packet
UIT	Unión Internacional de las Telecomunicaciones