



Universidad Nacional del Nordeste

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Y AGRIMENSURA

MAESTRÍA EN SISTEMAS Y REDES DE
TELECOMUNICACIONES

PLANIFICACIÓN DE LA RED DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE EN EL ÁREA DE
CORRIENTES-RESISTENCIA

Alberto Daniel Valdez

Ingeniero Electricista (Orientación Electrónica)

Director: Dr. Ing. Juan Reig Pascual

Codirectora: Dra. María Inés Pisarello

2019

*A la memoria de mis padres
Isabel Arata y Santiago Valdez*

Agradecimientos

A mi Director de Tesis Dr. Ing. Juan Reig Pascual

A mi Codirectora de Tesis Dra. María Inés Pisarello

Al Dr. Ing. Jorge Monzón Director de la Maestría

A los Profesores que hicieron de esta Maestría una realidad

A mis compañeros con quienes compartí momentos inolvidables

A mi maestro el Ing. Eduardo del Valle

A mi familia que transitó conmigo este proceso

A todos aquellos que sin saberlo hicieron posible esta quimera

A Felipe y Floppy incondicionales compañeros de alegrías y tristezas

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ACRÓNIMOS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
1 - INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Motivación.....	4
1.3 Estado del arte	5
1.4 Fundamentos.....	7
1.5 Metodología y procedimientos	7
1.6 Plan de Tareas	8
1.7 Metas parciales definidas como nodos de control	9
1.8 Cronograma.....	9
1.9 Comentarios y Discusiones.....	10
CAPÍTULO II	11
2 - ESTÁNDAR ISDB-T.....	11
2.1 Características principales.....	11
2.2 Descripción del sistema de transmisión.....	13
2.3 Comentarios y Discusiones.....	22
CAPÍTULO III	23
3 - PARÁMETROS BÁSICOS ISDB-Tb.....	23
3.1 Modos del sistema ISDB-Tb.....	23
3.2 Esquema de codificación de canal	26
3.3 Organización del espectro de transmisión.....	27
3.4 Requisitos de utilización de frecuencia	28
3.5 Comentarios y Discusiones.....	29
CAPÍTULO IV	30
4 - TRANSMISORES Y RECEPTORES ISDB-Tb.....	30
4.1 Introducción	30
4.2 Transmisores ISDB-Tb.....	30

4.3	Antenas.....	33
4.4	Filtros y combinadores	37
4.5	Receptores ISDB-Tb.....	42
4.6	Especificaciones de los receptores ISDB-Tb [20].....	44
4.6.1	Antena de recepción	44
4.6.2	Especificaciones del IRD	45
4.7	Comentarios y Discusiones.....	46
CAPÍTULO V		48
5 - PROPAGACIÓN		48
5.1	Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre.....	48
5.2	Propagación por difracción	51
5.3	Modelos de propagación.....	54
5.3.1	Okumura-Hata.....	55
5.3.2	Rec. UIT-R P.1546	57
5.3.3	Rec. UIT-R P.1812	60
5.3.4	Rec. UIT-R P.526	62
5.3.5	COST 231	63
5.4	Comentarios y Discusiones.....	65
CAPÍTULO VI		67
6 - REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN) Y REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE (MFN)		67
6.1	Introducción	67
6.2	Redes SFN.....	68
6.2.1	Retardos de tiempo y sincronización	71
6.2.2	Compensación estática	72
6.2.3	Compensación dinámica	73
6.2.4	Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda	75
6.2.5	Ganancia de red	76
6.3	Receptores en redes SFN ISDB-Tb.....	77
6.4	Conceptos de planificación	79
6.5	Suma de campos electromagnéticos	81
6.6	Ahorro de espectro radioeléctrico de una red SFN en comparación de redes MFN	81
6.7	Comentarios y Discusiones.....	82
CAPÍTULO VII		83

7 - HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN	83
7.1 Introducción	83
7.2 Software de planificación de sistemas radioeléctricos	83
7.3 XIRIO® Online	83
7.3.1 Proceso de planificación.....	84
7.3.2 Proceso de planificación de redes de acceso de servicios de radiodifusión	84
7.3.3 Análisis de necesidades - Configuración	84
7.3.4 Parametrización de estaciones	85
7.3.5 Planificación de redes.....	86
7.3.6 Capas de cartografía.....	86
7.3.7 Parámetros del estudio de cobertura	89
7.3.8 Ejemplo de resultado de cobertura.....	91
7.3.9 Cálculo de interferencias.....	91
7.3.10 Parámetros de interferencia	92
7.3.11 Cálculo de interferencia SFN	92
7.4 Sirenet	93
7.5 Principales características de XIRIO® Online y Sirenet.....	95
7.6 Comentarios y Discusiones.....	95
CAPÍTULO VIII	97
8 - PLANIFICACIÓN. ANÁLISIS DE COBERTURA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ÁREA DE CORRIENTES-RESISTENCIA.....	97
8.1 Introducción	97
8.1.1 Resoluciones de planificación de frecuencias.....	97
8.1.2 Estaciones de TDT en funcionamiento	100
8.2 Simulación de coberturas utilizando Xirio Online	100
8.2.1 Parámetros técnicos utilizados en la simulación	100
8.2.2 Simulaciones de cobertura EDT Puerto Tirol.....	103
8.2.3 Simulaciones de cobertura multitransmisor de la red SFN conformada por la EDT Puerto Tirol y EDT Santa Catalina	111
8.2.4 Simulaciones de cobertura 13MAX Digital.....	118
8.2.5 Simulaciones de cobertura Canal 9 de Resistencia	120
8.2.6 Simulaciones de cobertura red SFN de la TDA Puerto Tirol y Santa Catalina, 13MAX Digital y Canal 9 de Resistencia	122
8.3 Análisis de interferencias	123

8.4	Comentarios y Discusión de resultados	125
CAPÍTULO IX	126
9	- CONCLUSIONES. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.....	126
9.1	Conclusiones.....	126
9.2	Líneas futuras de trabajo.....	128
ANEXO I	129
BIBLIOGRAFÍA	132

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Normalización del nivel de modulación.....	18
2.2	Especificación de las máscaras del espectro de transmisión.....	21
3.1	Parámetros del segmento OFDM.....	24
3.2	Tasa binaria R (Mbps) para diferentes modos y codificaciones internas.....	26
3.3	Parámetros del sistema de transmisión.....	27
3.4	Número de portadoras OFDM correspondiendo a la frecuencia de ondas portadoras.....	28
3.5	Canales UHF y frecuencias de la señal ISDB-Tb.....	28
4.1	Relación de protección.....	46
5.1	Datos básicos de entrada.....	61
6.1	Relaciones de protección co-canal.....	80
6.2	Relaciones de protección para canal adyacente inferior.....	80
7.1	Resumen principales características XIRIO® Online y Sirenet.....	95
8.1	Plan Técnico de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre Abierta en el área Corrientes – Resistencia.....	97
8.2	Registro de licencias y autorizaciones para Televisión Digital Terrestre Abierta en el área Corrientes – Resistencia.....	99
8.3	Categorías de las estaciones del Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Banda de frecuencias del dividendo digital 4G.....	4
1.2	Evolución de la TDT bajo la norma ISDB-Tb en Argentina.....	5
2.1	Banda de guarda de frecuencia de un canal radioeléctrico.....	11
2.2	Organización del canal radioeléctrico en segmentos.....	12
2.3	Estructura de transmisión jerárquica en tres capas.....	12
2.4	Diagrama en bloque general de un sistema de transmisión de TDT ISDB-T.....	13
2.5	Diagrama en bloque de un sistema de transmisión de TDT ISDB-T.	13
2.6	Estructura de los paquetes TSP a nivel BTS.....	14
2.7	Codificación de canal.....	14
2.8	Circuito de codificación del código convolucional con profundidad k de 7 y tasa de codificación de $KI = \frac{1}{2}$	16
2.9	Modulador ISDB-Tb.....	17
2.10	Diagrama del sistema de modulación 16QAM.....	17
2.11	Constelación 16QAM.....	18
2.12	Configuración de la sección de entrelazamiento en frecuencia.....	19
2.13	Máscara del espectro de transmisión para radiodifusión de televisión digital terrestre.....	21
3.1	Ejemplo del arreglo de portadoras de la señal OFDM para la señal ISDB-T.....	28
4.1	Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb en la banda de UHF.....	30
4.2	Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb EDINEC TXUD-1200.....	31
4.3	Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb LIECOM TRUD1200.....	32
4.4	Arreglo de antenas tipo panel de cuatro pisos y tres direcciones.....	34
4.5	Diagramas de radiación típicos de un arreglo de antenas de paneles planos: a) Omnidireccional b) Cardioide ancho.....	35
4.6	Fotografía del sistema de antena de la TDA de Puerto Tirol Chaco a) Vista de la torre arriostrada b) Vista del arreglo de paneles superior (rojo) e inferior (blanco).....	36
4.7	Atenuación y pérdida de retorno UHF Bandpass Filter BW = 8 MHz	38
4.8	Especificaciones del filtro pasabanda de UHF BPF4-8C20-1N11...	38

4.9	Acoplador híbrido de -3 dB.....	39
4.10	Combinador con línea de transmisión.....	40
4.11	Combinador con filtros direccionales.....	41
4.12	Sumador con combinadores con filtros direccionales.....	41
4.13	Configuración básica del receptor ISDB-Tb.....	43
4.14	Configuración básica del IRD tipo convertidor digital (STB).....	43
4.15	Configuración básica del IRD tipo integrado.....	44
5.1	Efecto de la Tierra en la propagación.....	50
5.2	Anchura de penumbra.....	51
5.3	Zona de Fresnel en un perfil de radioenlace.....	52
5.4	Pérdidas de difracción por aristas.....	53
5.5	Combinación de pérdidas de trayecto, por sombra y desvanecimiento de banda angosta.....	54
5.6	Parámetros del modelo Okumura-Hata.....	56
5.7	Curvas de valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 500 m por 500 m durante el 50% del tiempo para trayectos terrestres.....	59
5.8	Escenario típico de propagación NLOS utilizado en el modelo COST 231. a) vista de perfil. b) vista superior.....	64
6.1	Áreas de cobertura de una red MFN y SFN.....	67
6.2	Señales directa y retardada en el receptor en una red SFN.....	69
6.3	Posición en el tiempo del intervalo de guarda en la señal directa y retardada.....	69
6.4	Retardos en la cadena de transmisión ISDB-Tb.....	72
6.5	Compensación estática de retardo desde el MCT.....	73
6.6	Compensación dinámica de retardo.....	74
6.7	Sincronización de señales provenientes de dos transmisores en una red SFN.....	75
6.8	Ganancia de red SFN de dos transmisores simétricos.....	76
6.9	Ajuste óptimo de la ventana FFT.....	78
6.10	Comparación entre dos allotment entre redes SFN y redes MFN....	81
7.1	Modelo Digital de Terreno MDT (a).....	87
7.2	Modelo Digital de Terreno MDT (a).....	87
7.3	Modelo Digital del Suelo MDS versus MDT.....	88
7.4	Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficies	88

	(MDS) obtenidos a partir de datos LIDAR	
7.5	Menú Propiedades del transmisor - Parámetros de radio.....	89
7.6	Menú Propiedades del Diagrama de Radiación.....	90
7.7	Menú Parámetros de radio – receptor.....	90
7.8	Resultado cálculo de cobertura típico.....	91
7.9	Pantalla de cobertura típica Sirenet.....	93
8.1	Propiedades del estudio de cobertura del transmisor TDT Puerto Tirol.....	104
8.2	Parámetros del transmisor TDT Puerto Tirol.....	105
8.3	Propiedades del diagrama de radiación de antena del transmisor TDT Puerto Tirol.....	106
8.4	Diagramas de radiación horizontal y vertical del sistema de antena del transmisor TDT Puerto Tirol.....	107
8.5	Propiedades del radio receptor.....	108
8.6	Resultado de cobertura transmisor Puerto.....	109
8.7	Área de cobertura EDT TDA Puerto Tirol.....	109
8.8	Nivel de potencia de cobertura transmisor Puerto Tirol en la ciudad de Resistencia.....	110
8.9	Propiedades del estudio de cobertura multitransmisor red SFN Resistencia - Corrientes Puerto Tirol. TDA.....	112
8.10	Propiedades del método de cálculo de cobertura multitransmisor red SFN Resistencia - Corrientes Puerto Tirol. TDA.....	113
8.11	Parámetros del transmisor TDT Santa Catalina.....	114
8.12	Diagramas de radiación horizontal y vertical del sistema de antena del transmisor TDT Santa Catalina.....	115
8.13	Resultado de cobertura multitransmisor red SFN TDA; Tx Santa Catalina y Tx Puerto Tirol.....	116
8.14	Solapamiento de los transmisores red SFN TDA; Tx Santa Catalina y Tx Puerto Tirol.....	116
8.15	Solapamiento de los transmisores red SFN TDA; Tx Santa Catalina y Tx Puerto Tirol.....	117
8.16	Nivel de potencia de cobertura multitransmisor de la red SFN TDA en la ciudad de Paso de la Patria, Pcia. de Corrientes.....	117
8.17	Diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor 13MAX Digital.....	119
8.18	Resultado de cobertura transmisor 13MAX Digital.....	119

8.19	Diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor Canal 9 HD.....	121
8.20	Resultado de cobertura transmisor Canal 9 HD.....	121
8.21	Resultado de cobertura red SFN TDA, 13MAX Digital y Canal 9 HD	122
A.1	Especificaciones técnicas de equipos transmisores TDT ISDB-Tb marca EGATEL.....	129
A.2	Especificaciones técnicas de un combinador con filtros direccionales para DTV en la banda de UHF.....	130
A.3	Características técnicas de un Decodificador Digital ISDB-Tb.....	131

ACRÓNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFSCA	Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual
AFTIC	Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
AGC	Automatic Gain Control
A.P.	Amplificador de Potencia
APN	Amplitude Proportional Noise
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARSAT	Empresa Argentina de Soluciones Satelitales Sociedad Anónima
ATSC	Advanced Television Systems Committee
BER	Bit Error Rate
BST	Band Segmented Transmission
BST-OFDM	Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
BTS	Broadcast Transport Stream
CNC	Comisión Nacional de Comunicaciones
CNR	Carrier to Noise Ratio
DiBEG	Digital Broadcasting Experts Group
DTV	Digital TV
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
EDT	Estación Digital de Transmisión
ENACOM	Ente Nacional de Comunicaciones
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FPB	Filtro Pasa Banda
Full HD	Full High Definition
GPS	Global Positioning Satellite
HD	High Definition
HDTV	High Definition TV
IIP-ISDB-Tb	Information Packet ISDB-Tb
IRD	Integrated Receiver Decoder
ISDB-T	Integrated Services for Digital Broadcasting-Terrestrial
LDTV	Low Definition TV
LF	Low Frequency
LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging)
LOS	Line Of Sight
LTE	Long-Term Evolution
MCT	Main Control Transmission
MDE	Modelo Digital de Edificios
MDS	Modelo Digital del Suelo
MDT	Modelo Digital de Terreno
MF	Medium Frequency
MFN	Multiple Frequency Network
NLOS	Non Line Of Sight

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
RMS	Root Mean Square
ROE	Relación de Onda Estacionaria
SATVD-T	Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre
SBTVD	Sistema Brasileiro de Televisión Digital Terrestre
SD	Standard Definition
SDTV	Standard Definition TV
SFN	Single Frequency Network
SSU	Synchronization Supply Unit
TDA	Televisión Digital Abierta
TDT	Televisión Digital Terrestre
TMCC	Transmission Multiplexing Configuration Control
TS	Transport Stream
TSP	Transport Stream Processed Packet
UHF	Ultra High Frequency
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VLf	Very Low Frequency
SHF	Super High Frequency

RESUMEN

El sistema ISDB-T (*Integrated Services for Digital Broadcasting-Terrestrial*) fue desarrollado en Japón. Argentina adoptó el sistema de televisión digital terrestre ISDB-T, en su versión brasileña ISDB-Tb, en agosto de 2009.

Uno de los problemas a resolver en una red TDT (Televisión Digital Terrestre) es la predicción del área de cobertura útil. Las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) establecen la base fundamental de los métodos de predicción de cobertura, siendo la Rec. UIT-R P.1546-5 una referencia importante.

Otro problema de interés es minimizar la interferencia entre el sistema de TDT y otros sistemas de telecomunicaciones radioeléctricos que operen en bandas cercanas. En particular podemos mencionar 4G (dividendo digital) y el sistema White Spaces. La Rec. ITU-R BT.1368-12 es una referencia al respecto.

En este trabajo titulado “Planificación de la red de televisión digital terrestre en el área de Corrientes-Resistencia” se analizaron los aspectos básicos del despliegue de la TDT bajo la norma ISDB-Tb en el área que abarca las ciudades de Corrientes (Provincia de Corrientes) y Resistencia (Provincia de Chaco). En particular se estudió la cobertura estimada y las probables interferencias inter-sistemas y extra-sistemas.

A los fines del cálculo predictivo del área de cobertura se utilizó el software XIRIO® Online en su versión libre. Se realizó un análisis de las potenciales interferencias de la TDT con otros servicios de telecomunicaciones en el área.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se propone que las futuras estaciones transmisoras de TDT bajo el estándar ISDB-Tb se planifiquen considerando al área de las ciudades de Corrientes y Resistencia como una sola unidad geográfica, implementando redes SFN en modo 3, en formatos Full HD, SD y One Seg, concentrando las plantas transmisoras en pocas EDT ubicadas estratégicamente en emplazamientos que permitan la cobertura total del área Corrientes - Resistencia.

Los resultados presentados son de naturaleza propios de la región bajo estudio por lo que pueden ser aplicados a las futuras planificaciones de redes TDT SFN de televisión digital en la región, tanto de la TDA estatal como por parte de empresas privadas del sector de las telecomunicaciones. La aplicabilidad de los resultados obtenidos ha sido analizada en escenarios reales, de manera que pueden adaptarse a nuevos escenarios de cobertura de redes SFN de características geográficas similares.

Si bien se han realizado algunos estudios monográficos de implantación y despliegue de la red TDT ISDB-Tb en Argentina, no existen trabajos publicados sobre despliegue de una red de distribución ISDB-Tb en zonas concretas y menos aún en el área de las ciudades de Corrientes y Resistencia. El presente trabajo aporta relevante información técnica que fue utilizada para confirmar los parámetros de funcionamiento de la red TDT actual y planificar futuras redes SFN.

Se considera conveniente trabajar de manera conjunta en la planificación de la red TDT ISDB-Tb bajo la coordinación de ENACOM y con la participación de los organismos provinciales competentes en materia de Telecomunicaciones, así como la Universidad. El objetivo es elaborar una Planificación Técnica Integral de la TDT ISDB-Tb en el área Corrientes - Resistencia y el diseño de un Plan Estratégico de Desarrollo en la región.

Palabras claves: TDT, ISDB-Tb, Cobertura, Interferencia, Planificación

ABSTRACT

The ISDB-T (Integrated Services for Digital Broadcasting-Terrestrial) system was developed in Japan. Argentina adopted the digital terrestrial television system ISDB-T, in its Brazilian version ISDB-Tb, in August 2009.

One of the problems to be solved in a TDT network is the prediction of the useful coverage area. The Recommendations of the International Telecommunication Union (ITU) establish the fundamental basis of coverage prediction methods, with Rec. ITU-R P.1546-5 being an important reference

Another problem of interest is to minimize the interference between the TDT system and other radio telecommunications systems operating in nearby bands. In particular we can mention 4G (digital dividend) and the White Spaces system. Rec. ITU-R BT.1368-12 is a reference in this regard.

In this paper titled "Planning of the digital terrestrial television network in the Corrientes-Resistencia area", the basic aspects of the deployment of TDT under the ISDB-Tb standard in the area of the city of Corrientes (Province of Corrientes) and Resistencia (Province of Chaco) were analyzed. In particular, the estimated coverage and probable inter-system and extra-system interferences were studied.

The XIRIO® Online software was used for the predictive calculation of the coverage area. An analysis of the potential interference of TDT with other telecommunications services in the area was made.

Based on the results obtained in this work, it is proposed that the next TDT transmitting stations under the ISDB-Tb standard be planned in the area of the cities of Corrientes and Resistencia as a single geographical unit, implementing SFN networks in mode 3, in Full HD, SD and One Seg formats, concentrating the transmitting plants in a few EDTs strategically located in locations that specify the total coverage of the Corrientes - Resistencia area.

The results presented are of the nature of the region under study, so they can be applied to future SFN digital television TDT network planning in the region, both from the state TDA and by private companies in the telecommunications sector. The applicability of the results obtained has been analyzed in real scenarios, so that they can adapt to new scenarios of coverage of SFN networks of similar geographical characteristics.

Although some monographic studies have been carried out on the implementation and deployment of the TDT ISDB-Tb network in Argentina, there are no published papers on the deployment of an ISDB-Tb distribution network in specific areas and even less in the area of the cities of Corrientes and Resistencia. This paper provides relevant

technical information that was used to confirm the operating parameters of the current TDT network and plan future SFN networks.

It is considered convenient to work together in the planning of the TDT ISDB-Tb network under the coordination of ENACOM and with the participation of the provincial competent agencies in Telecommunications matters, as well as the University. The objective is to elaborate an Integral Technical Planning for TDT ISDB-Tb in the Corrientes - Resistencia area and the design of a Strategic Development Plan in the region

Keywords: TDT, ISDB-Tb, Coverage, Interference, Planning

CAPÍTULO I

1 - INTRODUCCIÓN

El sistema ISDB-T (*Integrated Services for Digital Broadcasting-Terrestrial*) fue desarrollado en Japón y puesto en marcha en ese país en el año 2003. La ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) redactó los estándares técnicos por los cuales se rige el sistema ISDB-T [1]. El DiBEG (*Digital Broadcasting Experts Group*) fue fundado bajo la órbita de la ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) en septiembre de 1997 para promover el estándar ISDB-T en el mundo [2]. DiBEG promueve además el intercambio de información técnica y cooperación internacional para facilitar la expansión del sistema ISDB-T en el mundo.

Brasil adoptó el sistema ISDB-T en noviembre de 2006 y lo puso en marcha en diciembre de 2007, bajo el nombre de ISDB-Tb (o SBTVD, Sistema Brasileiro de Televisión Digital Terrestre) [3]. El sistema ISDB-Tb tiene la particularidad de incorporar interactividad bajo el middleware abierto Ginga-NCL [4]. Las normas técnicas fueron redactadas por la ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*) [5].

Argentina adoptó el sistema de televisión digital terrestre ISDB-T, en su versión brasileña ISDB-Tb, en agosto de 2009 y lo puso en marcha en abril de 2010. Por decreto presidencial N°1148/2009 se creó el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre (SATVD-T) y se adoptó el estándar ISDB-T de TV digital terrestre para República Argentina. Fue publicado en el Boletín Oficial de la República Argentina el 1 de septiembre de 2009 bajo el número 31.727 [6].

Los objetivos principales de la adopción del estándar, a través del Decreto N°1148/2009 [7], fueron: *Promover la inclusión social, la diversidad cultural y el idioma del país a través del acceso a la tecnología digital, así como la democratización de la información. Facilitar la creación de una red universal de educación a distancia. Estimular la investigación y el desarrollo, así como fomentar la expansión de las tecnologías e industrias de la REPUBLICA ARGENTINA relacionadas con la información y comunicación. Planificar la transición de la televisión analógica a la digital con el fin de garantizar la adhesión progresiva y gratuita de todos los usuarios. Optimizar el uso del espectro radioeléctrico. Contribuir a la convergencia tecnológica. Mejorar la calidad de audio, video y servicios. Alentar a la industria local en la producción de instrumentos y servicios digitales. Promover la creación de puestos de trabajo y la capacitación de los trabajadores en la industria tecnológica.*

Por Resolución N° 1785 MPFIPyS/09 en septiembre de 2009 se aprobó el Acuerdo para la conformación del Consejo Asesor del Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre. El Consejo Asesor tenía como objetivo fundamental *establecer los lineamientos para la efectiva implementación del SATVD-T.*

Por Decreto 364/10 en marzo de 2010 se establecieron los *Lineamientos de la Plataforma Nacional de Televisión Digital Terrestre en Argentina*.

Por Decreto 1010/10 en julio de 2010 se otorgó a *Radio y Televisión Argentina Sociedad del Estado el permiso para la instalación, funcionamiento y operación del Sistema Experimental de Televisión Abierta Digital*.

Por Resolución N° 2640/10 CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones) de julio de 2010 se declaró *de carácter prioritario, las tareas de instalación y puesta en funcionamiento de antenas de televisión digital satelital en las escuelas rurales y de frontera de todo el territorio nacional*.

Por Resolución 687/2011 AFSCA (Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual) de junio de 2011 se asignaron *a las Universidades Nacionales las frecuencias en la banda de UHF*.

Por Resolución N° 7/2013 CNC, agosto de 2013, se aprobó la norma técnica ISDB-T a aplicarse en la Argentina a través de tres anexos. Anexo I: Norma Técnica ISDB-T, Anexo II: Especificaciones técnicas para el desarrollo de los televisores con receptor digital integrados y Anexo III: Norma técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre.

Por Resolución N° 1047/14 AFSCA de septiembre de 2014 se aprobó *la Norma Nacional de Servicio para el servicio de comunicación audiovisual de televisión digital terrestre abierta*.

Por Resolución N° 370-E/2016 MICOM de septiembre de 2016 se encomendó *transitoriamente y hasta el momento en que el CONSEJO ASESOR se encuentre definitivamente constituido, a la EMPRESA ARGENTINA DE SOLUCIONES SATELITALES SOCIEDAD ANÓNIMA (ARSAT) a continuar con la implementación del SISTEMA ARGENTINO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (SATVD-T)*.

Por Resolución N° 4664-E ENACOM/17 de noviembre de 2017 se sustituyó *el apartado 1.5 del Anexo II de la Resolución N° 7 de fecha 12 de agosto de 2013, de la ex Secretaría de Comunicaciones*. Se refiere a pequeños cambios en las especificaciones del receptor referidos a la interactividad a través del middleware Ginga NCL/LUA

El escenario donde se ubica nuestro problema objeto de estudio es el área de servicio de la TDT (Televisión Digital Terrestre) que abarca las ciudades de Corrientes y Resistencia.

ISDB-T es un estándar de un sistema de radiodifusión digital cuyo objetivo es proporcionar servicios de audio, video y multimedia. Una de las características destacables de ISDB-T es que utiliza un método de modulación denominado Transmisión Segmentada por Banda (BST, *Band Segmented Transmission*) y Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM, *Orthogonal*

Frequency Division Multiplexing) lo cual permite la utilización de varias señales de video en diferentes formatos de resolución por el mismo canal radioeléctrico, optimizándolo. La utilización de tres capas jerárquicas A, B y C, conformadas con uno o más segmentos, permite el envío en un canal radioeléctrico de señales diferentes: LDTV (*Low Definition TV*), SDTV (*Standard Definition TV*), HDTV (*High Definition TV*) [8]. La recepción en banda angosta o parcial utiliza una parte de la anchura de banda total del canal, pensado para la recepción en terminales móviles con pequeñas pantallas y más robustos frente a relaciones S/N pobres. Dispone de la posibilidad de utilizar un soporte de software como plataforma para incluir funciones interactivas al Standard. Brasil ha desarrollado un Middleware denominado Ginga, en sus versiones Ginga-J y Ginga_NCL.

Una de las principales ventajas de los sistemas OFDM es la posibilidad de construir redes de frecuencia única (SFN, *Single Frequency Network*). Las SFN utilizan una sola frecuencia para toda la red y son más eficientes y económicas desde el punto de vista del espectro radioeléctrico. Para ello el estándar ISDB-Tb contempla tres modos de transmisión, pudiendo cubrirse distancias de hasta 75 Km. Esta característica es muy adecuada a la Argentina, con vastas extensiones de territorio y áreas pequeñas con elevada densidad poblacional. Este es el caso del área objeto de estudio de este trabajo.

Uno de los problemas a resolver en una red TDT es la predicción del área de cobertura útil. Para ello se debe tener en cuenta las características de la zona a prestar el servicio. Existen diferentes métodos de cálculo de predicción del área de cobertura. En muchos casos el software permite seleccionar el método a utilizar. Las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) constituyen la base fundamental de la cual se desprenden las diferentes normas. Una de la más importante al respecto es la Recomendación UIT-R P.1546-5 [9] *Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 MHz*. En la Argentina se asignó inicialmente a la TDT la banda de frecuencias de UHF comprendida entre 470 MHz y 806 MHz [10].

Otro problema de interés es minimizar la interferencia entre el sistema de TDT y otros sistemas de telecomunicaciones radioeléctricos que operen en bandas cercanas. En primer lugar, la coexistencia de canales analógicos de UHF no origina mayores problemas y su apagón está previsto para el año 2019. Sin embargo, en la banda superior de UHF asignada inicialmente a la TDT fue asignada en forma parcial al sistema 4G, conocida como dividendo digital, no existiendo muchos estudios sobre las posibles interferencias entre sistemas. Otro sistema que de implementarse en el área objeto de estudio podría ocasionar potenciales interferencias es el sistema White Spaces en despliegue en bandas de guarda entre bandas o canales, o frecuencias no utilizadas. White Space se utiliza para la transmisión de datos y TV [11] [12]. En la banda de UHF de TDT utilizaría las frecuencias comprendidas entre los 698 MHz a 806 MHz. En la figura 1.1 se puede observar la banda de frecuencia del dividendo digital 4G. La Recomendación ITU-R BT.1368-12 [13] *Criterios para la planificación, incluidas las relaciones de protección, de los servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas* es una referencia importante al respecto.

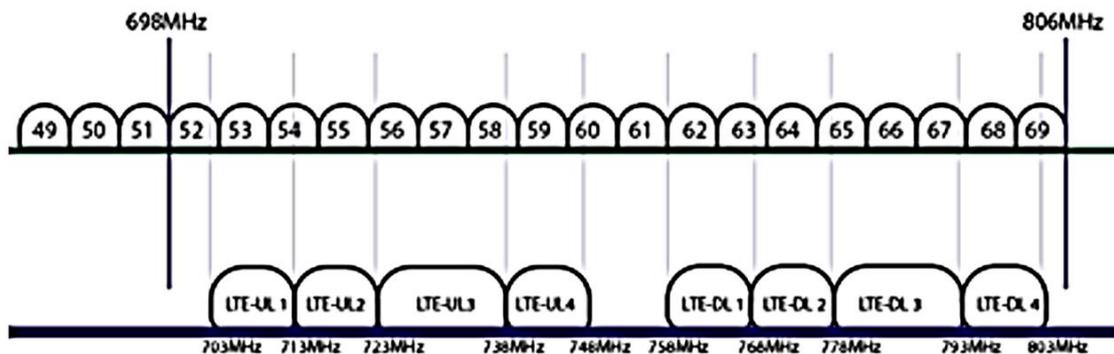


Figura 1.1- Banda de frecuencias del dividendo digital 4G (GSMA) [46]

A nivel nacional el Decreto N° 2456/2014 aprobó el Plan Nacional de Servicios de Comunicación Audiovisual Digitales, modificado por Resolución N° 84/2018, estableciendo los lineamientos de la transición analógica a digital. La Resolución N°24/2015 aprobó el Plan Técnico de Frecuencias para la TDA (Televisión Digital Abierta) para la ciudad de Resistencia Chaco y la Resolución N° 234/2015 para la asignación de frecuencias en la ciudad de Corrientes. Sin embargo no se ha establecido un plan técnico o planificación particular para la implementación de la TDA en la zona objeto de estudio.

Es este trabajo se analizan los aspectos básicos del despliegue de la TDT bajo la norma ISDB-Tb en el área que abarca las ciudades de Corrientes (Pcia. de Corrientes) y Resistencia (Pcia. de Chaco). En particular resulta de interés estudiar la cobertura estimada y las probables interferencias inter-sistemas y extra-sistemas.

1.1 Objetivos

El objetivo general es analizar y definir un plan estratégico que permita planificar el despliegue de la red de TDT bajo la norma ISDB-Tb, adoptada por la Argentina, en el área que abarca las ciudades de Corrientes (Pcia. de Corrientes) y Resistencia (Pcia. de Chaco).

1.2 Motivación

El aporte esperado del Proyecto en cuanto al desarrollo del tema en la región del nordeste resulta de interés ya que abarca un área de cobertura importante, donde se encuentran en funcionamiento actualmente en cercanías de la ciudad de Resistencia la estación transmisora de TDA de Puerto Tirol, una estación de TV digital del estado provincial y en la ciudad de Corrientes una estación transmisora de TV digital privada y la instalación avanzada de una antena transmisora de TDA. En el área a considerar, densamente poblada, funcionan numerosos y variados sistemas de telecomunicaciones que interactuarán con la TDT.

Cabe señalar que el área de cobertura considerada en el Proyecto abarca el país vecino de Paraguay, que si bien es una zona poco poblada, se debe considerar en la planificación de la TDT de la región.

1.3 Estado del arte

En la Argentina el comienzo de la televisión digital data del año 2009. A través de un plan nacional se proyectó un sistema de Televisión Digital Abierta adoptando el estándar ISDB-Tb, bajo la órbita de ARSAT para todo el país y el apagón de la TV analógica para el año 2019. INVAP comienza a participar desde el inicio en el proceso de implementación de la Plataforma Nacional de Televisión Digital Terrestre, al ser contratada por ARSAT S.A., en enero de 2010, para la construcción de 52 estaciones repetidoras. La Planificación Estratégica 2009-2019, aprobada por el Consejo Asesor del SATVD-T, definió las estrategias y las acciones específicas para alcanzar con éxito la implementación del SATVD-T, en el marco de las políticas públicas dispuestas por el Poder Ejecutivo Nacional en ejercicio al año 2009. Tenía como objetivo guiar el proceso de migración tecnológica hacia la televisión digital en la República Argentina hasta el 'apagón analógico' previsto en el 2019, contemplando la inclusión de todos los habitantes de la Nación a las nuevas tecnologías de la Sociedad de la Información. El organismo responsable del desarrollo de la infraestructura y del equipamiento fue el Consejo Asesor del Sistema Argentino de TV Digital Terrestre. Intervino además la Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual (AFSCA) y la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC), luego con la denominación de Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (AFTIC).

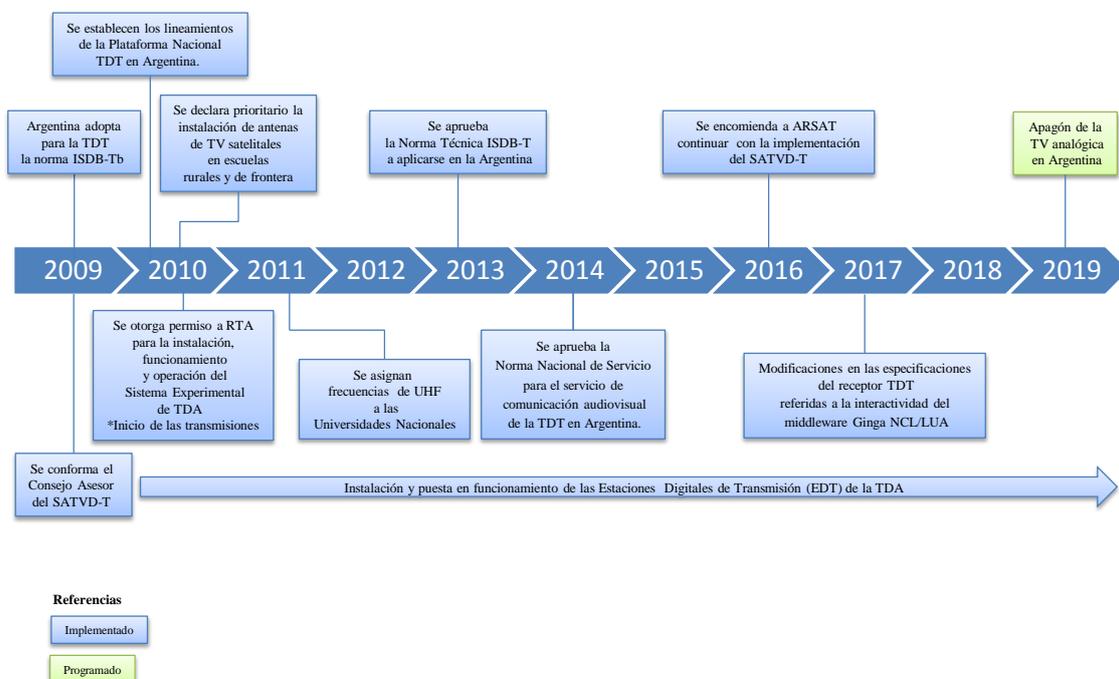


Figura 1.2.- Evolución de la TDT bajo la norma ISDB-Tb en Argentina (Elaboración propia)

Actualmente son ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones) y ARSAT los responsables del despliegue y funcionamiento de la TDA. En la figura 1.2 se observa la evolución de la TDT en Argentina. En el sitio web de ARSAT se encuentra la información actual del sistema TDA, con los datos técnicos de las estaciones transmisoras de TDA, incluyendo mapas interactivos con la ubicación y cobertura de cada una de ellas [14]. En el sitio web de ENACOM se encuentra la normativa vigente para la TV digital. Hasta la fecha se dispone de escasa información técnica oficial acerca de la planificación y/o planes técnicos referidos a la TDA.

Existen algunos trabajos sobre el sistema ISDB-Tb en la Argentina, destacándose el libro Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb de los autores Pisciotta N., Liendo C. y Lauro R. en el cual se dedica un capítulo a la planificación y cálculo de cobertura en TVD-T, con énfasis en las redes SFN y el proyecto de una red SFN.

En el contexto internacional existen numerosos trabajos sobre el tema a desarrollar. Los últimos avances se centran en el problema de interferencias entre el sistema ISDB-T y el sistema *Long-Term Evolution* (LTE). Las interferencias de ISDB-T con *White Spaces* se encuentran aún en estudio, debido al escaso despliegue de esta tecnología. Brasil es el país que se encuentra estudiando con regularidad el problema de interferencia de la TV digital bajo la norma ISDB-Tb con otros sistemas.

A nivel internacional podemos mencionar los siguientes trabajos sobre ISDB-T relacionados con el objetivo del presente Proyecto:

Messias de Carvalho S. R., Yuno I., Arthur R. ISDB-Tb field trials and coverage measurements with gap-filler in suburban environments. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). IEEE. 2011.

Báez R. H., Cifuentes G. O. Analysis of Transmission Measurements of ISDB-T. Andean Region International Conference (ANDESCON), 2012 VI. IEEE. 2012.

Bedicks G., de Melo Valeira G., Sukys F. Interference from FM stations to ISDB-TB DTV reception. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), IEEE. 2012.

Mizutani K., Lan Z., Funada R., Harada H. IEEE802.11af with partial subcarrier system for effective use of TV white spaces. IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC). IEEE. 2013

Okamoto D. M., da Silva Mello L. A. R. Analysis of the interference from LTE system in ISDB-TB Digital TV system at 700 MHz. Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), 2015 SBMO/IEEE MTT-S International IEEE. 2015.

SET. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão Pruebas de Interferencia de la Señal LTE en la Recepción de TV Digital en la Banda de UHF. 2014.

Guridi P. F., Caram A. G., Labandera, A. Studying digital terrestrial TV coverage. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). IEEE. 2014.

Ribadeneira Ramírez J. Planificación de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT) en Sudamérica. Tesis para el título de Doctor en Telecomunicación. Universidad Politécnica de Valencia. 2016.

1.4 Fundamentos

Áreas de cobertura de una red TDT. MNF y SNF.

Una red TDT es un servicio de broadcasting (radiodifusión) de contenido audiovisual, que puede ser considerado básicamente como una transmisión punto a multipunto. Su objetivo principal es lograr la cobertura en un área geográfica de interés, con la mejor calidad de señal. La cobertura y los fundamentos de planificación de los servicios prestados por la TDT contemplan una amplia cantidad de variables y parámetros técnicos; en consecuencia su complejidad es mayor al sistema de TV analógico. Las redes de frecuencia múltiple (*Multiple Frequency Network*, MFN) utilizan varias frecuencias para cubrir un área geográfica determinada que no puede ser cubierta con un solo transmisor. En general el número de frecuencias utilizadas es igual al número de transmisores. Este tipo de red, utilizada ampliamente en sistemas de TV analógica, también puede aplicarse a la TDT de manera similar. Sin embargo las características técnicas de funcionamiento del sistema de TDT la hacen más adecuada a la implementación de redes SFN.

Las redes SFN de TDT son posibles gracias a la naturaleza digital de la señal. La señal de la TDT, y especialmente bajo la norma ISDB-T, admite el procesamiento digital permitiendo lograr la cobertura de un área geográfica amplia con la utilización de varios transmisores operando en la misma frecuencia. El sistema SFN permite utilizar menores potencias, ahorro de espectro radioeléctrico y mejorar los niveles de uniformidad de la señal en el área de cobertura.

Existen importantes documentos de referencia para los cálculos de cobertura de la TDT y los lineamientos de su planificación en un área geográfica.

La Recomendación UIT-R P.1546-5 *Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 MHz*, sintetiza los resultados de los estudios empíricos incluyendo cálculos en diferentes escenarios de propagación.

1.5 Metodología y procedimientos

Se realizará una búsqueda y selección bibliográfica con la finalidad de realizar el estudio del sistema ISDB-Tb, sobre las redes SFN y la problemática de la interferencia

con otros sistemas de telecomunicación. Se investigará además el estado actual de despliegue de la televisión digital terrestre en Argentina. La misma podrá abarcar literatura de diferentes tipos tales como libros, artículos de investigación, recomendaciones, normativas técnicas y métodos de cálculo entre otros.

A los fines del cálculo predictivo del área de cobertura y servicio se utilizará en primera instancia el software XIRIO® Online [15], de la empresa Aptica, en su versión libre. XIRIO® Online permite realizar simulaciones profesionales, en línea, de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del planeta.

XIRIO® Online cuenta con dos módulos de funcionalidad:

Planningtool: Herramienta de planificación radioeléctrica que permite realizar tareas y cálculos que abarcan desde la parametrización y análisis de la cobertura radioeléctrica de una única estación hasta la planificación de redes en escenarios complejos.

Shareplace: Herramienta que permite a los usuarios de XIRIO® Online publicar los resultados de sus estudios y compartir éstos con otros miembros de su organización, clientes, proveedores o incluso al público en general.

Se analizarán las potenciales interferencias de la TDT con los servicios de telecomunicaciones operativos y proyectados en la zona. Se realizarán mediciones con analizador de espectro de frecuencia focalizada en las emisoras de TV digital operativas en la zona a fin de tener información de base. El análisis de interferencias estará condicionado a la información disponible y a la suministrada por las empresas de telecomunicaciones que operan en el área.

Como resultado se realizará y propondrá la planificación de una red SFN que contemple las emisoras actuales y futuras a emplazarse en el área de cobertura de las ciudades de Corrientes y Resistencia. Se propondrán los lineamientos básicos de un plan estratégico de despliegue y expansión futura de la red de TDT bajo la norma ISDB-Tb en la zona. Para ello se tendrá en cuenta especialmente la normativa vigente y planes técnicos del ENACOM para la TDT en Argentina.

1.6 Plan de Tareas

A	Relevamiento bibliográfico sobre el sistema ISDB-Tb, redes SFN e interferencias.
B	Entrenamiento con el software XIRIO® On Line.
C	Entrenamiento con el software Sirenet (opcional).
D	Cálculos preliminares de cobertura
E	Primer informe parcial
F	Cálculos de cobertura para diferentes sistemas de TDT.
G	Análisis de resultados
H	Segundo informe parcial
I	Estudio sobre las interferencias entre ISDB-Tb, LTE, White Spaces, y otros sistemas de telecomunicaciones.

J	Cálculos relacionados con la interferencia entre sistemas.
K	Tercer informe parcial
L	Proyecto de una red SFN a proponer para el área Corrientes Resistencia
M	Planificación de la red SFN,
N	Elaboración de la Tesis (informe final)

1.7 Metas parciales definidas como nodos de control

01	Actividad integradora 1. Evaluación cálculos de cobertura preliminar. Primer Informe Parcial.
02	Actividad integradora 2. Conclusiones de áreas de cobertura. Segundo Informe Parcial.
03	Actividad integradora 3. Conclusiones sobre las probables interferencias. Tercer Informe Parcial.
04	Actividad integradora final. Propuesta documentada de una red SFN de TDT bajo el estándar ISDB-T _b . Presentación de la Tesis

1.8 Cronograma

Tareas	Año Primero						Año Segundo					
	Semestre 1			Semestre 2			Semestre 1			Semestre 2		
A	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B	■	■	■	■								
C			■	■	■							
D				■	■							
E.1				■								
F					■	■						
G						■						
H.2												
I							■	■				
J								■	■	■		
K.3									■	■	■	■
L										■	■	■
M											■	■
N.4												■

1.9 Comentarios y Discusiones

En este capítulo introductorio se consignan de manera completa todos los antecedentes y normativas tendientes a la implementación del sistema SATVD-T en la Argentina. Se destacan, entre otros, lo establecido en el Decreto N° 1148/2009 con dos objetivos principales referidos a este trabajo de tesis: *optimizar el uso del espectro radioeléctrico* y *planificar la transición de la televisión analógica a la digital*. También la función del Consejo Asesor del SATVD-T quien tuvo a su cargo *establecer los lineamientos para la efectiva implementación del SATVD-T*. Cabe subrayar la Resolución N° 7/2013 CNC por la cual se aprobó la norma técnica ISDB-T a aplicarse en la Argentina. Se enfatiza en la posibilidad técnica que brinda la norma ISDB-Tb, la cual utiliza modulación OFDM y BST, permitiendo la implementación de redes SFN, topología propuesta en este trabajo. Resulta de importancia la evaluación de las posibles interferencias, en especial con la banda de UHF asignada al dividendo digital de 4G, en despliegue en la región. Es de destacar que no existen trabajos publicados en los cuales se consignan de manera completa la evolución técnica del sistema SATVD-T en Argentina desde su implementación, su normativa y métodos de planificación.

CAPÍTULO II

2 - ESTÁNDAR ISDB-T

2.1 Características principales

El estándar ISDB-T fue desarrollado en Japón al final de la década del noventa. Para su definición se aprovechó la experiencia de los estándares digitales ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) [16] y DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*) [17].

Una de las principales características del estándar ISDB-T es la transmisión en banda segmentada BST-OFDM (*Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), utilizándose 13 segmentos OFDM. Esta característica permite la recepción en banda angosta utilizando un solo segmento (*one-seg*) resultando en una mayor simplicidad de los circuitos del receptor, menor potencia de procesamiento y ahorro de energía, características ideales para receptores portátiles con pantalla de resolución media/baja. La otra característica de interés es la interfaz de interactividad emisor-usuario.

El sistema ISDB-Tb puede trabajar con anchos de banda de canal BW_C de 6 MHz, 7 MHz y 8 MHz. El sistema adoptado en Argentina, utiliza un ancho de banda de 6 MHz compatible con los canales analógicos. El canal radioeléctrico reserva al principio y al final una banda de guarda de frecuencia. El segmento central se utiliza para el servicio one-seg. Se adopta una división total de 14 segmentos, 13 destinados a la señal y uno de ellos para las bandas de guarda. El ancho de banda de cada segmento resulta ser $1/14 BW_C$. Para el caso de un canal de 6 MHz

$$BW_S = \frac{BW_C}{14} = \frac{6000}{14} = 428,57 \text{ kHz} \quad (2.1)$$

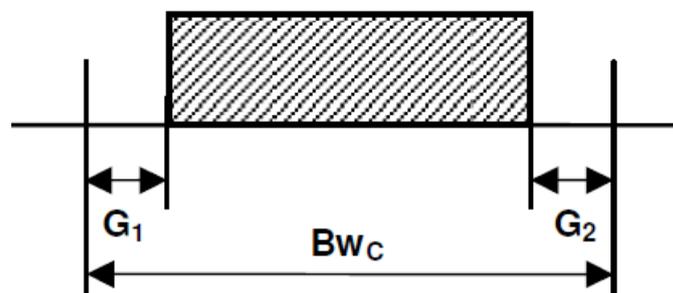


Figura 2.1.- Banda de guarda de frecuencia de un canal radioeléctrico [8].

En la figura 2.1 se puede observar la distribución genérica de la banda de guarda de frecuencia de un canal radioeléctrico. $G_1 = 5/14$ MHz; $G_2 = 1/14$ MHz.

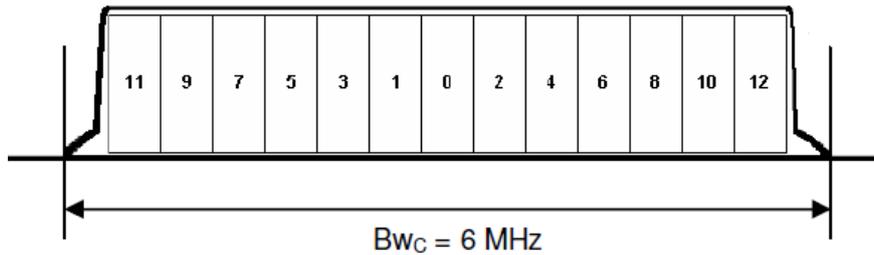


Figura 2.2.- Organización del canal radioeléctrico en segmentos [8].

En la figura 2.2 se puede observar la organización del canal radioeléctrico en segmentos de 458,57 kHz de ancho de banda.

El ancho de banda de frecuencia ocupado por la señal útil es:

$$BW = N_S \times BW_S = 13 \times \frac{3.000}{7} = 5,571 \text{ MHz} \quad (2.2)$$

En base a los conceptos anteriores es posible planificar la asignación de canales ISDB-T de manera adyacente, pudiendo utilizar todos los canales disponibles, con un aprovechamiento óptimo de las bandas asignadas a la TDT.

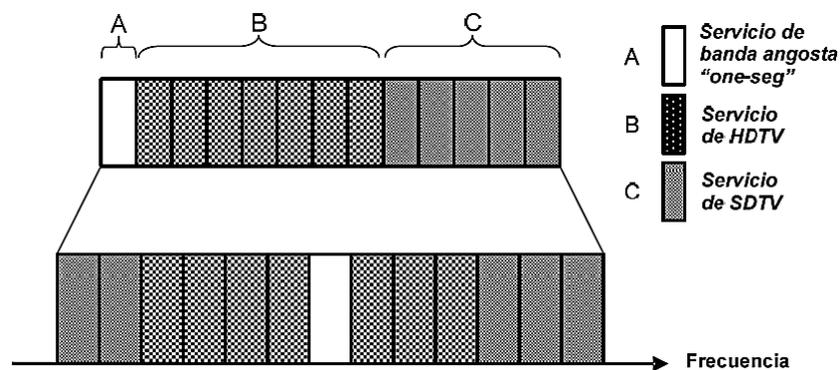


Figura 2.3.- Estructura de transmisión jerárquica en tres capas [8].

El sistema ISDB-Tb tiene una estructura de transmisión jerárquica como se aprecia en la figura 2.3. La norma ISDB-Tb permite organizar las señales a transmitir en tres capas jerárquicas denominadas A, B y C. Esto es posible debido a la división del canal en segmentos configurables. Los segmentos se pueden agrupar de uno a varios segmentos OFDM de acuerdo con el ancho de banda del servicio a brindar. El número de segmentos y la combinación de parámetros de codificación para cada capa jerárquica puede ser definido por el prestador del servicio. Entre los parámetros configurables se encuentran el esquema de modulación de portadoras OFDM, la codificación interna *inner code* y el entrelazado de tiempo *time interleaving*.

El segmento central puede ser destinado a recepción parcial *one-seg* para ofrecer un servicio de LDTV adecuado para sintonizadores en teléfonos celulares y dispositivos

con pantallas de tamaño reducido de media/baja resolución. El sintonizador LDTV se ajusta al requisito de bajo consumo de energía para equipos portátiles. Hay un conjunto de portadoras que están destinadas a transmitir información de control para que el receptor pueda identificar los parámetros de emisión y los distintos servicios disponibles.

2.2 Descripción del sistema de transmisión

A continuación, en las figuras 2.4 y 2.5, se describen los bloques básicos de un sistema transmisor ISDB-Tb

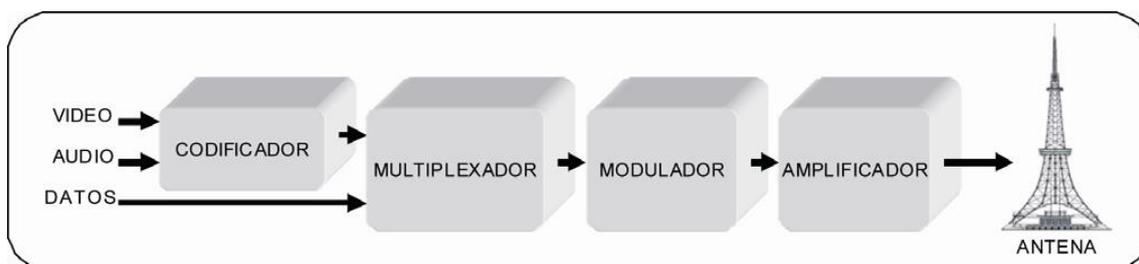


Figura 2.4. - Diagrama en bloque general de un sistema de transmisión de TDT ISDB-T (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Las señales de video y audio ingresan al codificador, luego pasan a un multiplexor, al modulador y finalmente al amplificador de potencia. Del amplificador de potencia de RF se conduce la señal al sistema de antena.

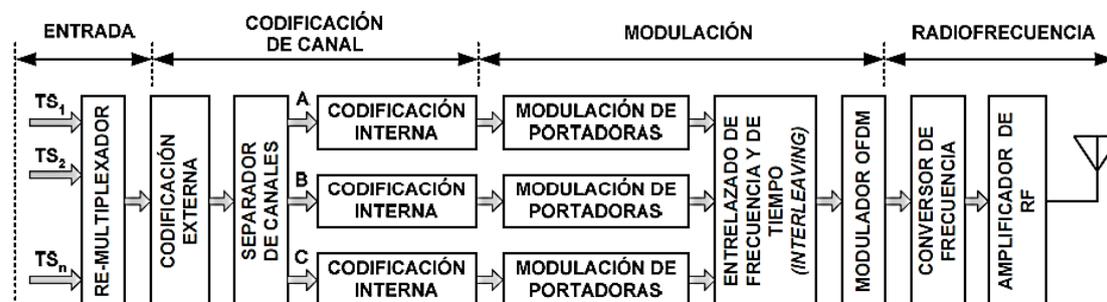


Figura 2.5. - Diagrama en bloque de un sistema de transmisión de TDT ISDB-T (ABNT NBR 15601:2007) [18].

El flujo de transporte TS (*Transport Stream*) transporta la información de video, audio y datos en un formato de 188 bytes. Las velocidades binarias pueden cambiar dependiendo del formato de señal; una señal de resolución estándar SDTV puede tener un flujo de 2 a 6 Mbps, una señal de alta resolución HDTV de 12 a 18 Mbps.

El remultiplexador permite adaptar los TS MPEG-2 para posibilitar el funcionamiento en transmisión jerárquica y parcial. Agrega 16 byte en el final de cada paquete de 188 bytes formando un TSP (*Transport Stream Processed Packet*), de 204 bytes. El

remultiplexor combina los flujos de entrada, los TSP entregando a la salida un flujo BTS (*Broadcast Transport Stream*) con una tasa constante.

La asignación de cada paquete TSP a la capa jerárquica correspondiente resulta posible si el flujo binario BTS incluye la información necesaria para que el separador de canales pueda identificar correctamente a cada TSP. La figura 2.6 muestra la estructura de los paquetes BTS

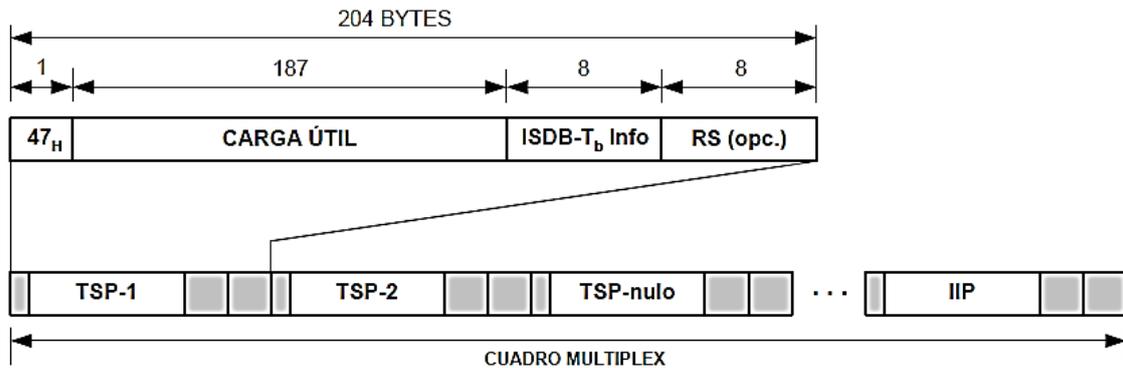


Figura 2.6. – Estructura de los paquetes TSP a nivel BTS (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Los 8 bytes del campo “ISDB-T_b Info” proporcionan la siguiente información: indicador de capa jerárquica, contador de TSP, cabecera de cuadro e información auxiliar, entre otros. Los 8 bytes restantes permiten incorporar, de manera opcional, un bloque de paridad Reed Solomon (204-196-4), también denominado codificación externa *outer code*, que permite la corrección de hasta 4 bytes erróneos en cada TSP del flujo BTS.

El estándar ISDB-T_b utiliza un canal especial denominado TMCC (*Transmission Multiplexing Configuration Control*), que transporta la información auxiliar necesaria para el correcto funcionamiento del receptor, pues contiene los parámetros de configuración de la red. A nivel del BTS, esta información se incorpora dentro de un TSP especial denominado IIP (*ISDB-T_b Information Packet*) y cada cuadro multiplex incluye un paquete IIP.

Luego se encuentra el bloque de codificación de canal en el cual se produce la codificación externa, la separación de canales y la codificación interna.

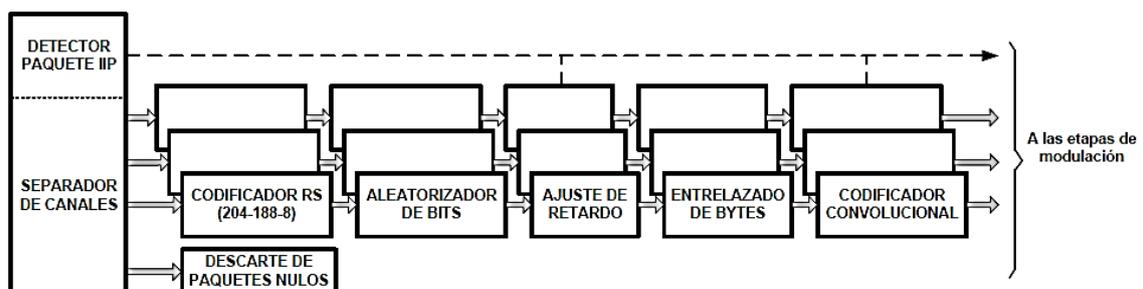


Figura 2.7. – Codificación de canal (ABNT NBR 15601:2007) [18].

En la figura 2.7 observamos el diagrama de bloques del codificador de canal. Se inicia con la detección del IIP y la extracción del descriptor TMCC, a partir del cual se configuran todas las etapas de codificación y modulación. En el separador de canales los TSP son separados por capa jerárquica en tres caminos diferentes. Los campos ISDB-Tb *Info* y *paridad RS* opcional de los paquetes TSP son sustituidos por 16 nuevos bytes de paridad Reed-Solomon (204-188-8). Este proceso utiliza la técnica FEC (*Forward Error Correction*, técnica de corrección de errores hacia adelante) que se aplica al flujo de datos entrante. La técnica FEC se emplea para corregir los errores de bit tipo “ráfaga” que se producen en el canal de transmisión. Estos errores son provocados generalmente por el ruido atmosférico, la propagación multitrayectoria y las alinealidades del transmisor, entre otros.

El codificador Reed-Solomon procesa matemáticamente los 188 bytes del TSP como un bloque y crea una “etiqueta de identificación digital” del contenido del bloque. Esta “etiqueta” tiene una extensión de 16 bytes (128 bits) y se añade en la parte final del TSP. Estos bytes son los “bytes de paridad Reed-Solomon”. El receptor compara los 188 bytes del bloque recibido con los 16 bytes de paridad para verificar la validez de los datos recuperados. Si el receptor establece que la etiqueta no corresponde al paquete recibido genera uno similar (con ciertos bits cambiados), intentando que se correspondan de la mejor manera posible con la etiqueta recibida, en base a la mayor probabilidad. La codificación RS permite la detección y corrección de errores de byte, dentro de ciertos límites. Los 16 bytes de la versión RS permiten corregir hasta 8 bytes erróneos en cada TSP.

El aleatorizador de bits tiene la función de asegurar la dispersión de energía del espectro radiado. Para ello la señal de entrada debe transformarse en una secuencia cuasi-aleatoria, evitando cualquier patrón repetitivo, como por ejemplo largas series de ceros o de unos. Esto es necesario para que la respuesta en frecuencia, dentro del canal, de la señal transmitida tenga un espectro plano, para que el canal radioeléctrico sea utilizado con la máxima eficiencia posible. Si por el contrario el flujo de datos presentara alguna regularidad, el ritmo de repetición daría lugar a concentraciones de energía en ciertos puntos discretos del espectro. Además, los puntos de alta concentración en determinadas frecuencias presentan mayor probabilidad de intermodulación cuando existen interferencias de la señal TVD sobre canales analógicos. Los bits transmitidos por cada capa son aleatorizados mediante un circuito que permite obtener una Secuencia Binaria Pseudo-Aleatoria (*PseudoRandom Binary Sequence*, PRBS).

El entrelazado de bytes es una forma de diversidad temporal que se emplea para dispersar en el tiempo los errores de ráfaga. Mediante esta técnica, una secuencia de bytes es permutada (entrelazada) antes de ser transmitida por un canal proclive a este tipo de errores. Si un error de ráfaga aparece durante la transmisión, la restauración de la secuencia original tiene el efecto a distribuir los errores a lo largo del tiempo. Cuando el sistema entrelazador está correctamente diseñado, la distribución de los errores responderá a un patrón de tipo aleatorio y su corrección, conjuntamente con adecuadas técnicas de codificación de datos, será mucho más eficaz. Un parámetro importante es la separación S_e , distancia mínima en la cual los errores de ráfaga

consecutivos son dispersados en el tiempo. El valor de S_e depende de la longitud de la ráfaga y decrece cuando ésta se incrementa. El entrelazado implica el almacenamiento de algunos bytes en elementos de memoria M (buffer) y la posterior lectura desde estos elementos, por lo que el sistema experimentará un cierto retardo D . La performance vendrá descrita por las relaciones S_e/D y S_e/M . En el estándar ISDB-Tb se aplica el entrelazado de bytes en cada capa jerárquica, con el objetivo de incrementar la eficiencia de la codificación Reed Solomon frente a los errores en ráfaga, distribuyéndolos en el tiempo de forma prácticamente aleatoria.

El ajuste de retardo permite la ecualización de los tiempos de tránsito binario de cada capa jerárquica. La transmisión jerárquica permite especificar un conjunto de parámetros de transmisión distintos para cada capa: número de segmentos N_C , tasa de codificación interna K_i , esquema de modulación b_P y tasas binarias de transmisión R . debido a esto, existirán diferencias en los tiempos requeridos para procesar las señales de cada capa. Es necesario tener en cuenta estas diferencias (retardos) que aparecen en la etapa de entrelazado de bytes. La ecualización necesaria, se ajusta únicamente en el transmisor y debe tener un valor adecuado para las configuraciones adoptadas, de forma tal que todos los retardos, incluyendo el introducido por el proceso de entrelazado de bytes, se correspondan con un múltiplo entero de la duración de un cuadro OFDM.

En el codificador convolucional, luego del entrelazado de bytes, los datos se someten a un nuevo proceso de codificación. La codificación se complementa con un proceso comúnmente llamado “punzonado”, que se constituye en uno de los parámetros configurables. De acuerdo a la configuración elegida, se obtiene uno de los cinco valores posibles para el coeficiente K_i : $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ y $7/8$.

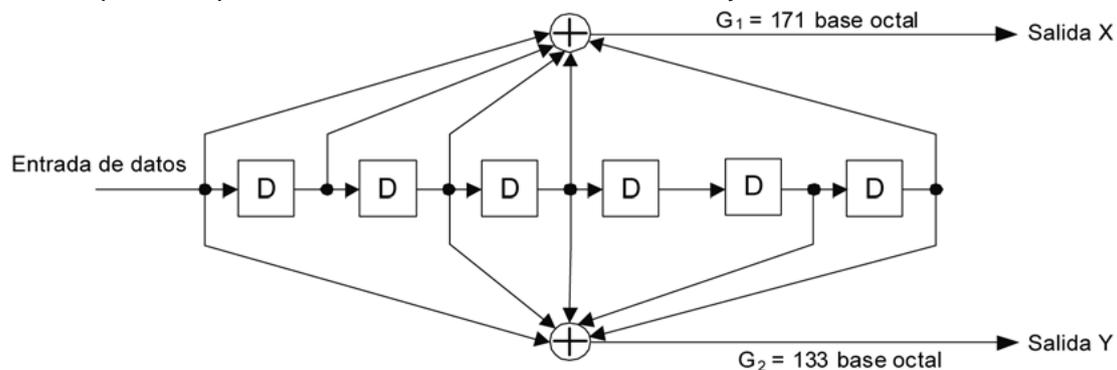


Figura 2.8. – Circuito de codificación del código convolucional con profundidad k de 7 y tasa de codificación de $K_i = 1/2$ (ABNT NBR 15601:2007) [18].

En la figura 2.8 se puede observar un circuito de codificación convolucional par $K_i = 1/2$. Este codificador convolucional está orientado al bit y distribuye el flujo binario de entrada sobre dos salidas llamadas X e Y (relación $1/2$). El codificador de relación $1/2$ presenta una gran redundancia de datos (100%), facilitando la corrección de errores cuando éstos son aleatorios, pero en detrimento de la tasa binaria de transmisión R que en este caso se reduce a la mitad. Para evitar una baja tasa binaria, las salidas del codificador convolucional se conectan a un bloque que selecciona (de acuerdo a

un patrón llamado “punzonado”) solo algunos de los datos presentes en las salidas X e Y, y los convierte a un flujo binario en serie. El coeficiente K_i indica el grado de redundancia de la secuencia transmitida. Para $K_i = \frac{1}{2}$ por cada bit de entrada hay dos de salida, es decir se duplica la información transmitida. En el otro extremo, cuando $K_i = \frac{7}{8}$ por cada 7 bits de entrada hay 8 en la salida. En consecuencia la protección contra errores es menor para valores más altos del coeficiente K_i , pero la tasa binaria de transmisión aumenta. El valor adecuado en la práctica dependerá del área de cobertura deseada y de la potencia de emisión disponible.

El esquema completo de la sección de modulación del transmisor ISDB-Tb se compone de los bloques de procesamiento que se muestran en la figura 2.9.

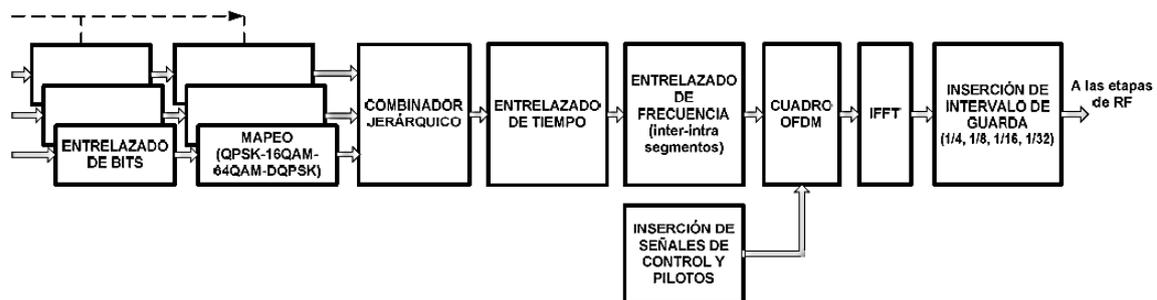


Figura 2.9. – Modificador ISDB-Tb (ABNT NBR 15601:2007) [18].

El entrelazador de bits produce un esquema similar al entrelazador de bytes estudiado anteriormente. Aleatoriza el error de símbolo antes del decodificador Viterbi. Se produce una conversión serie-paralelo por lo que de acuerdo con los diferentes esquemas de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM), los retardos serán diferentes. A partir de aquí es más aplicable el concepto de símbolo; por lo tanto todos los retardos se deben corresponder a un múltiplo entero de un símbolo OFDM.

El mapeo de bits se realiza a nivel digital. En esta etapa es necesario normalizar las señales a potencia media unitaria. En el proceso de mapeo se convierte los bits paralelos en dos señales series I – Q, que dependen del esquema de modulación. En la figura 2.10 se puede observar el diagrama en bloques del sistema de modulación 16QAM en el cual el último bloque es el de mapeo. En la figura 2.11 se puede observar la constelación 16QAM y la asignación de bits I – Q para cada uno de los estados.

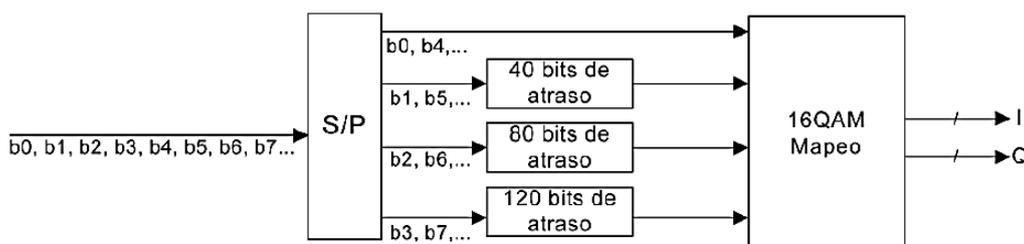


Figura 2.10.- Diagrama del sistema de modulación 16QAM (ABNT NBR 15601:2007) [18].

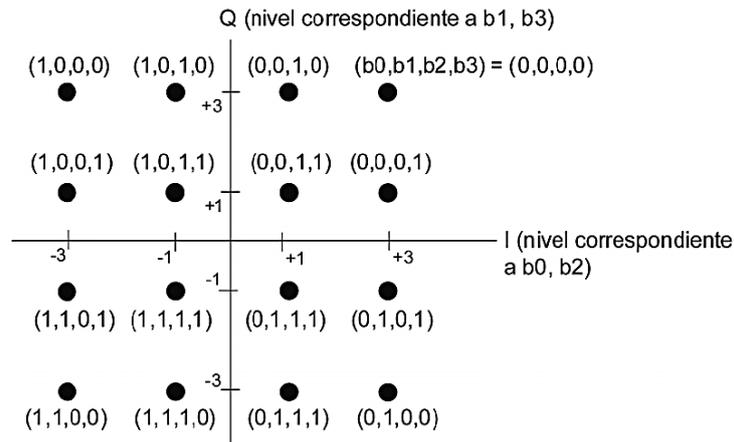


Figura 2.11.- Constelación 16QAM (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Debido a la asignación de puntos en la constelación de la manera que se muestra en la figura 2.11, expresada como $Z = (I + jQ)$, el nivel de la señal de transmisión debe ser obligatoriamente normalizado, multiplicando cada uno de esos puntos por el correspondiente factor de normalización. En la tabla 2.1 se pueden observar los diferentes factores de normalización para cada esquema de modulación. Como resultado, la potencia media del símbolo OFDM se torna igual a 1, independientemente del esquema de modulación usado.

Tabla 2.1.- Normalización del nivel de modulación (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Esquema de modulación de la portadora	Factor de normalización
DQPSK desplazado $\pi/4$	$Z/\sqrt{2}$
QPSK	$Z/\sqrt{2}$
16QAM	$Z/\sqrt{10}$
64QAM	$Z/\sqrt{42}$

Los pares ordenados complejos $I - Q$ constituyen un símbolo luego del proceso de mapeo. Los símbolos de datos se deben ordenar en forma ascendente por capas jerárquicas (A, B y C) y en forma ascendente por segmentos (0, 1, 2, ..., 12) conformando un símbolo OFDM. El combinador jerárquico cumple la función de realizar este ordenamiento, asignando símbolos a los segmentos en función de la configuración adoptada.

Para que la codificación de canal empleada tenga además una ganancia extra por diversidad es deseable que la amplitud del desvanecimiento (*fading*) no esté correlacionada a los símbolos transmitidos. La correlación puede minimizarse separando físicamente a los símbolos transmitidos. Esto se puede realizar a través del entrelazado de tiempo y el entrelazado de frecuencia (*frequency interleaving*).

El entrelazado de tiempo tiene como objetivo aumentar la robustez contra el desvanecimiento, en la recepción móvil, a través de aleatorización (o dispersión) de símbolos de datos después de la modulación y disminuir las interferencias provocadas por el ruido impulsivo. Las diferencias de atrasos en el tiempo se deben corregir obligatoriamente del lado de la transmisión, usando el número del símbolo o atraso apropiado para cada capa, de manera que el número total de atraso de transmisión y recepción sea un múltiplo del número de cuadros.

El entrelazado en frecuencia tiene como objetivo atenuar el efecto de las interferencias sobre las portadoras y contra los efectos de trayectorias múltiples. En esta etapa de procesamiento de la señal lo que se realiza realmente es permutar las posiciones de los símbolos $S_{i,j,k}$ de acuerdo con los valores de i y k (frecuencia y segmento) de tal manera que después del proceso posterior de IFFT aparecerán las portadoras que ocupan posiciones fijas y determinadas en el espectro de frecuencias. Por lo tanto sería más correcto hablar de “entrelazado de símbolos” [8]. En la figura 2.12 se observa el esquema del sistema de entrelazamiento completo.

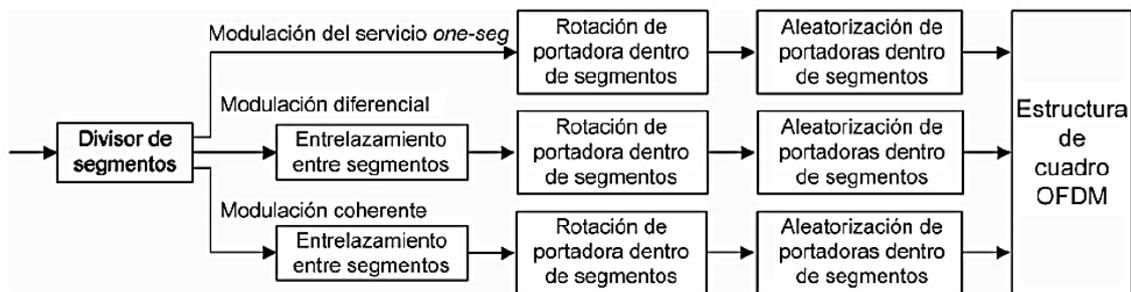


Figura 2.12.- Configuración de la sección de entrelazamiento en frecuencia (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Luego sigue el bloque de estructura de cuadro OFDM donde se conforma la estructura final del cuadro OFDM, incorporando las señales de Pilotos Dispersos (SP), Piloto Continuo (CP), Canal de Control de Configuración de Transmisión y Multiplexación (TMCC) y Canales Auxiliares (AC1 y AC2). Al incorporar estas señales se modifica la estructura del símbolo OFDM.

El bloque IFFT convierte el cuadro OFDM en el dominio de la frecuencia con la entrada en paralelo de los *bins* (portadora equivalente) dando a la salida una señal $s(n)$ en el dominio discreto del tiempo obteniéndose la parte real e imaginaria de $s(n)$. Una vez generada la señal OFDM por el proceso IFFT en el dominio del tiempo discreto se agrega el intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM.

El bloque del modulador I - Q recibe las muestras complejas provenientes del bloque IFFT y genera el símbolo OFDM en una señal de RF real en el dominio del tiempo. En este proceso se puede utilizar un modulador I - Q digital o analógico. La señal de salida se genera a una frecuencia intermedia (IF) de salida de RF. El modulador I - Q digital presenta ventajas respecto al analógico ya que los .procesamientos de las señales Re e Im se realizan a nivel digital, sin diferencias apreciables. Y el

procesamiento analógico sobre una única señal. Sin embargo los moduladores I – Q analógicos están sujetos a introducir distorsiones que se manifiestan en los diagramas de constelaciones tales como errores de fase, fluctuaciones, presencia de componentes continuas que provocan la aparición de una portadora residual.

La señal ISDB-Tb generada en el modulador en una banda de frecuencia intermedia se aplica a un conversor de frecuencia el cual lleva a la señal de RF a la frecuencia final de transmisión del canal ISDB-Tb. Esta señal se aplica a un transmisor de potencia, el que debe ser lineal debido a la naturaleza de la señal. En general estos amplificadores lineales de potencia están implementados con varios módulos de potencia y vinculados a través de un combinador trabajando de manera modular, la salida se aplica un filtro de máscara con la finalidad de definir perfectamente el ancho de banda del canal radioeléctrico.

En los transmisores de TV analógicos y digitales la señal de salida debe ser filtrada a fin de minimizar las interferencias sobre los canales adyacentes. El filtro de salida debe proveer el ancho de banda especificado para la señal ISDB-Tb, la atenuación establecida para las frecuencias fuera de banda y manejar toda la potencia de salida al sistema de antena. El nivel del espectro, fuera de la banda, asignado para la transmisión de la señal de ISDB-Tb se debe reducir forzosamente aplicándose un filtro adecuado a la normativa. En la figura 2.13 y la tabla 2.2 se indican las atenuaciones mínimas de las emisiones fuera de la banda con relación a la potencia media del transmisor, especificadas en función de la separación con relación a la portadora central de la señal digital, para las máscaras no críticas, subcríticas y críticas.

El filtro para canales ISDB-Tb de 6 MHz de ancho de banda debe tener una banda pasante plana (0 dB) en el entorno de $\pm 2,79$ MHz de la portadora y una atenuación de -27 dB a frecuencias distanciadas ± 3 MHz, con el mínimo retardo de grupo. Los requisitos de selectividad son muy exigentes y entre los objetivos principales se incluye la operación de emisoras analógicas en canales adyacentes libres de interferencias de la señal digital OFDM (cabe mencionar aquí que en la Argentina el apagón analógico está previsto para el año 2019. También la selectividad del filtro adopta un rol importante luego de la adjudicación de las bandas de UHF del dividendo digital 4G).

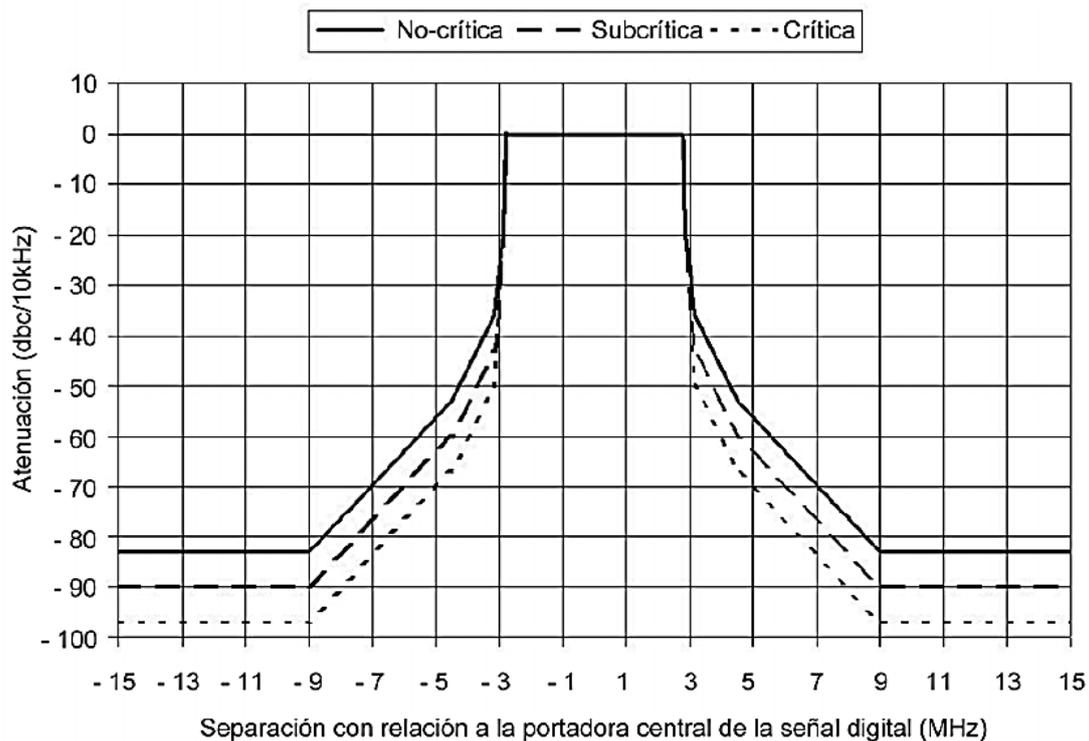


Figura 2.13.- Máscara del espectro de transmisión para radiodifusión de televisión digital terrestre (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Tabla 2.2.- Especificación de las máscaras del espectro de transmisión (ABNT NBR 15608-2008) [19].

Separación o alejamiento con relación a la portadora central de la señal digital MHz	Atenuación mínima con relación a la potencia media, medida en la frecuencia de la portadora central		
	Máscara no crítica dB	Máscara subcrítica dB	Máscara crítica dB
- 15	83,0	90,0	97,0
- 9	83,0	90,0	97,0
- 4,5	53,0	60,0	67,0
- 3,15	36,0	43,0	50,0
- 3,00	27,0	34,0	34,0
- 2,86	20,0	20,0	20,0
- 2,79	0,0	0,0	0,0
2,79	0,0	0,0	0,0
2,86	20,0	20,0	20,0
3,00	27,0	34,0	34,0
3,15	36,0	43,0	50,0
4,5	53,0	60,0	67,0
9	83,0	90,0	97,0
15	83,0	90,0	97,0

2.3 Comentarios y Discusiones

En este capítulo se describe el sistema TDT bajo el Estándar ISDB-T, haciendo hincapié en sus características distintivas de transmisión que condicionan la estimación del área de cobertura y por lo tanto la planificación de una red TDT. Se destaca en particular la estructura OFDM, la organización del canal radioeléctrico en trece (13) segmentos configurables en una estructura de transmisión jerárquica de tres capas. En la Argentina se utilizan diferentes configuraciones. Se subraya que la salida del transmisor de potencia de RF debe ser lineal debido a la naturaleza de la señal y se utiliza un filtro de máscara de características muy particulares en cuanto a elevada pendiente lateral, indispensable para minimizar interferencias. El filtro para canales ISDB-Tb es de 6 MHz de ancho de banda y debe presentar una atenuación de -27 dB a frecuencias distanciadas ± 3 MHz. Se concluye que los requisitos de selectividad son muy exigentes y de primordial importancia en el proceso de planificación en una región compleja como la descrita en este trabajo.

CAPÍTULO III

3 - PARÁMETROS BÁSICOS ISDB-Tb

3.1 Modos del sistema ISDB-Tb

Para garantizar la recepción adecuada ante las variaciones del canal como consecuencia del efecto Doppler de la señal de recepción móvil y permitir la correcta operación del sistema de acuerdo con la distancia entre las estaciones de una red SFN, debe ser posible seleccionar entre tres opciones de separación de portadoras OFDM ofrecidas por el sistema brasileño. Ésas tres opciones de separación se identifican como modos del sistema.

El número de portadoras varía dependiendo del modo, pero la tasa útil de cada modo debe ser exactamente la misma en todos. Debido a que la condición de ortogonalidad asignada por la multiplexación OFDM exige que la separación entre portadoras sea igual a la inversa de la duración de la parte útil del símbolo, si esta se duplica, también lo debe hacer la cantidad de portadoras ya que se reduce a la mitad el espaciado entre ellas.

La separación entre portadoras Δf del sistema OFDM se puede determinar de la siguiente manera:

$$\Delta f = \frac{BW_S}{L_S} \quad (3.1)$$

Donde BW_S es el ancho de banda del segmento por modo y L_S es el número total de portadoras por modo. Por lo tanto la separación entre portadoras para cada modo será:

$$\text{Modo 1} \quad \Delta f = \frac{6.000/14}{108} = \frac{250}{63} = 3,968 \text{ kHz} \quad (3.2)$$

$$\text{Modo 2} \quad \Delta f = \frac{6.000/14}{216} = \frac{125}{63} = 1,984 \text{ kHz} \quad (3.3)$$

$$\text{Modo 3} \quad \Delta f = \frac{6.000/14}{432} = \frac{125}{126} = 0,992 \text{ kHz} \quad (3.4)$$

El tiempo útil del símbolo será: $T_U = \frac{1}{\Delta f} \quad (3.5)$

$$\text{Modo 1} \quad T_U = \frac{1}{3.968} = 252 \text{ } \mu\text{s} \quad (3.6)$$

$$\text{Modo 2} \quad T_U = \frac{1}{1.984} = 504 \text{ } \mu\text{s} \quad (3.7)$$

$$\text{Modo 3} \quad T_U = \frac{1}{0,992} = 1.008 \mu\text{s} \quad (3.8)$$

Tabla 3.1.- Parámetros del segmento OFDM (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Ancho de la banda		3000/7 = 428,57 kHz					
Separación entre frecuencias portadoras		250/63 kHz		125/63 kHz		125/126 kHz	
Número de portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Datos	96	96	192	192	384	384
	SP ^a	9	0	18	0	36	0
	CP ^a	0	1	0	1	0	1
	TMCC ^b	1	5	2	10	4	20
	AC1 ^c	2	2	4	4	8	8
	AC2 ^c	0	4	0	9	0	19
Esquema de modulación de las portadoras		QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK
Símbolos por cuadro		204					
Tamaño del símbolo efectivo		252 μs		504 μs		1008 μs	
Intervalo de guarda		63 μs (1/4), 31,5 μs (1/8), 15,75 μs (1/16),		126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31,5 μs (1/16),		252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16),	
Longitud del cuadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16),		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16),		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16),	
Frecuencia de muestreo de la IFFT		512/63 = 8,12698 MHz					
Entrelazamiento interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Codificador externo		RS (204,188)					
^a SP y CP son usados por el receptor para fines de sincronización y demodulación.							
^b MCC es información de control.							
^c AC se usa para transmitir información adicional. AC1 está disponible en igual número en todos los segmentos, mientras que AC2 está disponible solamente en segmento de modulación diferencial.							

En la tabla 3.1 se pueden observar los parámetros principales del segmento OFDM de los diferentes modos del sistema ISDB-Tb, factores determinantes en la cobertura del sistema de TDT funcionando en redes SFN. En todos los casos la frecuencia de muestreo de la IFFT es de 8,126 MHz.

A modo de ejemplo podemos ver que en el modo 3 la longitud del símbolo efectivo es de 1.008 μs y un intervalo de guarda de 252 μs (1/4), con lo cual se puede implementar redes SFN con una distancia máxima de reflexión de hasta 76 km. Se

puede alegar que el modo 3 es aconsejable para SFN con emisores separados a distancias entre 10 y 76 km.

Si analizamos cuál de los tres modos es el mejor desde el punto de vista de la tasa binaria o velocidad de datos, podemos partir de que la tasa del sistema es directamente proporcional al número de portadoras de éste:

$$R(\text{bps}) = \frac{b_p \times L}{T_s} \quad (3.9)$$

Si se mantiene el valor de b_p (cantidad de bits transmitidos por símbolo y por portadora), cada vez que se duplica la cantidad de portadoras L , se duplica el tiempo de símbolo T_s correspondiente, con lo cual el cociente entre estos dos valores sigue siendo el mismo, al igual que el valor de la tasa R . Por lo tanto a igualdad parámetros de codificación y esquemas de modulación de las portadoras, la tasa R de transmisión en bps es independiente del modo utilizado.

Si para aumentar la robustez frente al ruido se puede utilizar en lugar de 64-QAM un esquema de modulación 16-QAM ($b_p=4$) o QPSK y DQPSK ($b_p=2$) la tasa de transferencia binaria disminuye de igual manera.

Para el cálculo estricto debemos considerar los coeficientes de corrección necesarios, que surgen como consecuencia de los sistemas de codificación empleados debido a que tanto el agregado de un intervalo de guarda como los esquemas de protección de datos reducen la velocidad de transferencia neta del sistema. También debemos tener en cuenta que la cantidad de portadoras disponibles para la transmisión de datos L_D por segmento, es menor que L_S y resulta ser $L = 13 \times L_D$.

$$R(\text{bps}) = K_o \times K_i \times \frac{b_p \times 13 \times L_D}{T_s} \quad (3.10)$$

$$\text{La codificación externa toma el valor } K_o = \frac{188}{204} \quad (3.11)$$

La codificación interna K_i puede tomar diferentes valores (1/2; 2/3; 3/4; 5/6 y 7/8)

En la tabla 3.2 se pueden observar las tasas binarias R resultantes para los tres modos, diferentes esquemas de modulación y distintas codificaciones internas K_i .

Tabla 3.2.- Tasa binaria R (Mbps) para diferentes modos y codificaciones internas (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Relación Δ	K_i	Tasa binaria R (Mbps)		
		QPSK/DQPSK $b_p = 2$	16-QAM $b_p = 4$	64-QAM $b_p = 6$
1/4	1/2	3,651	7,302	10,954
	2/3	4,868	9,736	14,605
	3/4	5,477	10,954	16,430
	5/6	6,085	12,171	18,256
	7/8	6,390	12,779	19,169
1/8	1/2	4,057	8,114	12,171
	2/3	5,409	10,818	16,227
	3/4	6,085	12,171	18,256
	5/6	6,761	13,523	20,284
	7/8	7,099	14,199	21,298
1/16	1/2	4,295	8,591	12,886
	2/3	5,727	11,455	17,182
	3/4	6,443	12,886	19,330
	5/6	7,159	14,318	21,477
	7/8	7,517	15,034	22,551
1/32	1/2	4,426	8,851	13,277
	2/3	5,901	11,802	17,703
	3/4	6,638	13,277	19,915
	5/6	7,376	14,752	22,128
	7/8	7,745	15,490	23,235

3.2 Esquema de codificación de canal

Los parámetros principales del sistema de transmisión y las especificaciones técnicas referentes a la codificación de canal deben estar de acuerdo con la ARIB STD-B31:2005, sección 3, cumplir con la Recomendación UIT BT.1306, Anexo 1.c. En la tabla 3.3 se pueden observar estos parámetros en relación a los modos de operación.

Tabla 3.3.- Parámetros del sistema de transmisión (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Parámetros		Valores
1	Número de segmentos	13
2	Ancho del segmento	$6.000/14 = 428,57$ kHz
3	Banda UHF	5,575 MHz 1 (modo 1) 5,573 MHz 2 (modo 2) 5,572 MHz 3 (modo 3)
4	Número de portadoras	1 405 (modo 1) 2.809 (modo 2) 5.617 (modo 3)
5	Método de modulación	DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
6	Duración de los símbolos activos	252 μ s (modo 1) 504 μ s (modo 2) 1.008 μ s (modo 3)
7	Separación de portadoras	$Bws/108 = 3,968$ kHz (modo 1) $Bws/216 = 1,984$ kHz (modo 2) $Bws/432 = 0,992$ kHz (modo 3)
8	Duración del intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de la duración del símbolo activo 63; 31,5; 15,75; 7,875 μ s (modo 1) 126; 63; 31,5; 15,75 μ s (modo 2) 252; 126; 63; 31,5 μ s (modo 3)
9	Duración total de los símbolos	315; 283,5; 267,75; 259,875 μ s (modo 1) 628; 565; 533,5; 517,75 μ s (modo 2) 1 260; 1 134; 1 071; 1 039,5 μ s (modo 3)
10	Duración del cuadro de transmisión	204 símbolos OFDM
11	Codificación de canal	Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
12	Entrelazamiento interno	Entrelazamiento intra e inter-segmentos (entrelazamiento en frecuencia) Entrelazamiento convolucional con profundidad de <i>interleaving</i> 0; 380; 760; 1.520 símbolos (modo 1) 0; 190; 380; 760 símbolos (modo 2), 0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3)

3.3 Organización del espectro de transmisión

Número de la portadora OFDM correspondiente a la frecuencia central del ISDB-Tb: Conforme ABNT NBR 15601, la frecuencia de la portadora es la frecuencia central del ancho de banda. La señal del programa ISDB-Tb consiste en un número impar de portadoras OFDM, independientemente del modo. En la tabla 3.4 se pueden observar los números de portadoras que corresponden a las frecuencias de onda de la portadora central.

Tabla 3.4.- Número de portadoras OFDM correspondiendo a la frecuencia de ondas portadoras (ABNT NBR 15608:2008) [18].

Modo de transmisión	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de las portadoras correspondientes a las frecuencias centrales	702	1404	2808

Atribución de frecuencias: es conveniente que la frecuencia del canal SBTVD sea desplazada positivamente de $1/7$ MHz (142,857 kHz) en relación a la frecuencia central utilizada en el actual plan de canalización. Este desplazamiento se adoptó principalmente con la finalidad de mejorar la relación entre señal útil y señal interferente de una señal digital con una señal analógica adyacente en el canal inferior.

Tabla 3.5.- Canales UHF y frecuencias de la señal ISDB-Tb (ABNT NBR 15601:2007) [18].

Número de los canales UHF	Frecuencia de la portadora central
Canal 14	$473 + 1/7$ MHz = 473,142857 MHz
Canal 15	$479 + 1/7$ MHz = 479,142857 MHz
...	...
Canal 69	$803 + 1/7$ MHz = 803,142857 MHz

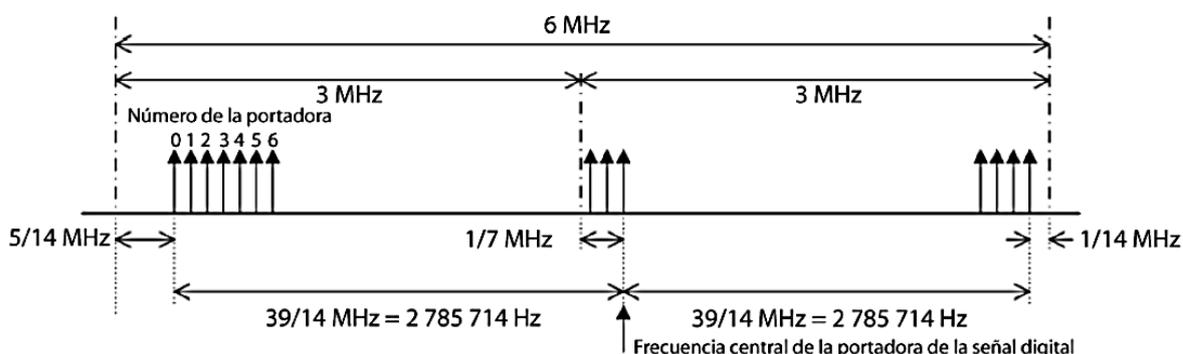


Figura 3.1.- Ejemplo del arreglo de portadoras de la señal OFDM para la señal ISDB-T (ABNT NBR 15601:2007) [18].

En la tabla 3.5 se puede observar una síntesis de los canales UHF y frecuencias de la portadora central de la señal ISDB-Tb.

En la figura 3.1 se puede observar la distribución en frecuencia de la señal OFDM en un canal radioeléctrico de 6 MHz con la distribución de las portadoras y los desplazamientos de frecuencia inferior y superior.

3.4 Requisitos de utilización de frecuencia

La norma ABNT NBR 15601:2007 establece los parámetros de la señal de RF del sistema ISDB-Tb.

Ancho de banda: en la operación de radiodifusión de televisión digital terrestre bajo la norma ISDB-Tb se debe utilizar un ancho de banda de frecuencia útil de 5,7 MHz. La frecuencia nominal de la portadora debe ser necesariamente la frecuencia central del ancho de banda.

El ancho de banda de frecuencia debe ser de 5,7 MHz ya que el ancho de banda de la portadora OFDM es 5,572 MHz, con 4 kHz de separación entre las frecuencias portadoras operando en el modo 1. Este ancho de banda se debe aplicar independientemente del modo elegido para la transmisión, y se adopta para asegurar que el ancho de banda de 5,610 MHz tenga algún margen para determinar que cada portadora del límite inferior y límite superior de la banda de 5,572 MHz incluya el 99% de energía.

La frecuencia central debe ser obligatoriamente la frecuencia de la portadora localizada en el centro de la banda de la señal OFDM, considerando un número impar de portadoras OFDM.

Estabilidad de frecuencia y desvío de frecuencia de transmisión admisible: La estabilidad de frecuencia de las portadoras, cuando la temperatura varíe entre + 10 °C y + 50 °C y la tensión de alimentación varíe entre $\pm 15\%$ de la tensión nominal, debe ser igual o mejor que ± 1 Hz. Por lo tanto el desvío de frecuencia de las portadoras debe ser igual o menor que ± 1 Hz.

3.5 Comentarios y Discusiones

En este capítulo se analizan los parámetros básicos del sistema ISDB-Tb. Los diferentes modos de transmisión deben asegurar la recepción adecuada ante las variaciones del canal radioeléctrico como consecuencia del efecto Doppler de la señal de recepción y permitir el correcto funcionamiento del sistema de acuerdo con la distancia entre las estaciones de una red SFN. En particular se pone especial atención al modo 3 ya que en redes SFN permite utilizar emisores separados distancias entre 10 y 76 km, adecuadas para el estudio y planificación en una región como la descrita en este trabajo. Se analizan además los esquemas de modulación y la codificación interna utilizados los que determinarán la tasa binaria de transmisión. En el esquema de organización del canal radioeléctrico se adoptó un desplazamiento positivo de 1/7 MHz (142,857 kHz) en relación a la frecuencia central utilizada en el plan de canalización. Este desplazamiento tiene la finalidad de mejorar la relación entre señal útil y señal interferente de una señal digital con una señal analógica adyacente en el canal inferior. Sin embargo en la región objeto de estudio no existen emisoras analógicas de UHF operativas resultando de mayor importancia las posibles interferencias con el dividendo digital 4G.

CAPÍTULO IV

4 - TRANSMISORES Y RECEPTORES ISDB-Tb

4.1 Introducción

El sistema de transmisión TDT ISDB-Tb en argentina se rige por la norma ABNT NBR-15601 Televisión digital terrestre - Sistema de transmisión [18]. Las especificaciones de los receptores se detallan en la norma ABNT NBR-15604 Televisión digital terrestre - Receptores [20].

Las especificaciones técnicas de los equipos electrónicos transmisores ISDB-Tb son muy rigurosas. La tecnología actual hace posible el diseño y la construcción de equipos transmisores de elevadas prestaciones y confiabilidad. De igual manera los receptores ISDB-Tb son equipos de pequeño tamaño y de bajo costo, lo cual permite su utilización masiva en los televisores y equipos portables de tamaño reducido.

4.2 Transmisores ISDB-Tb

La característica general de un transmisor de TDT bajo la norma ISDB-Tb es su linealidad y capacidad para manejar elevados picos de potencia de salida. La estructura general se basa en un bloque modulador, un bloque excitador, un bloque compuesto por varios amplificadores de potencia, un sumador/combinador de potencia y un filtro de salida, como se observa en la figura 4.1.

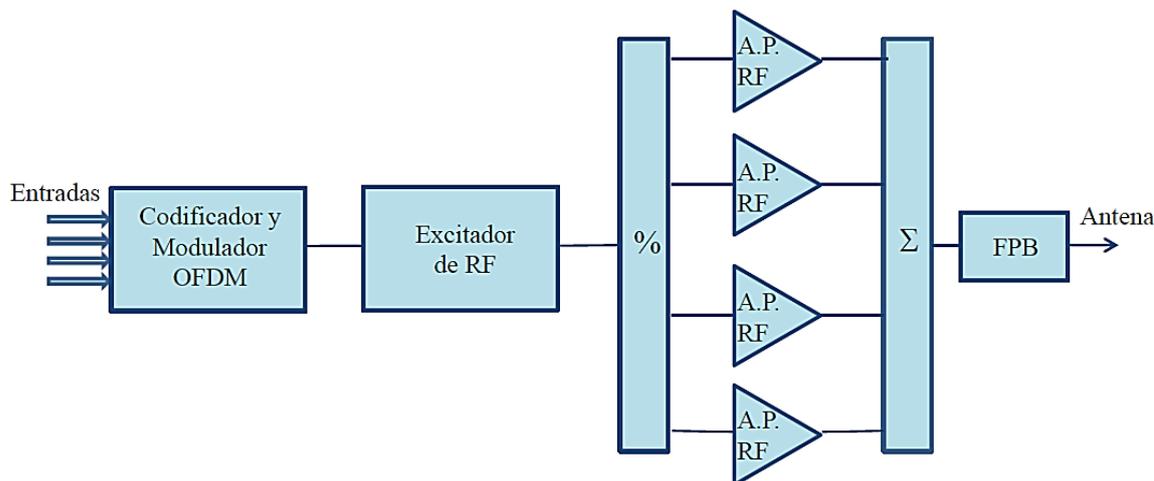


Figura 4.1.- Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb en la banda de UHF (Elaboración propia) [8].

Un aspecto importante a considerar en transmisores utilizados para el servicio TDT bajo la norma ISDB-Tb son los circuitos de protección de los parámetros que puedan afectar las prestaciones y continuidad de funcionamiento, así como la integridad del equipo.

En la figura 4.2 se observa el diagrama en bloques de un transmisor ISDT-Tb banda UHF marca Edinec modelo TXUD-1200, fabricado en la Argentina, con una potencia de salida de RF de 1.200W [8] [21].

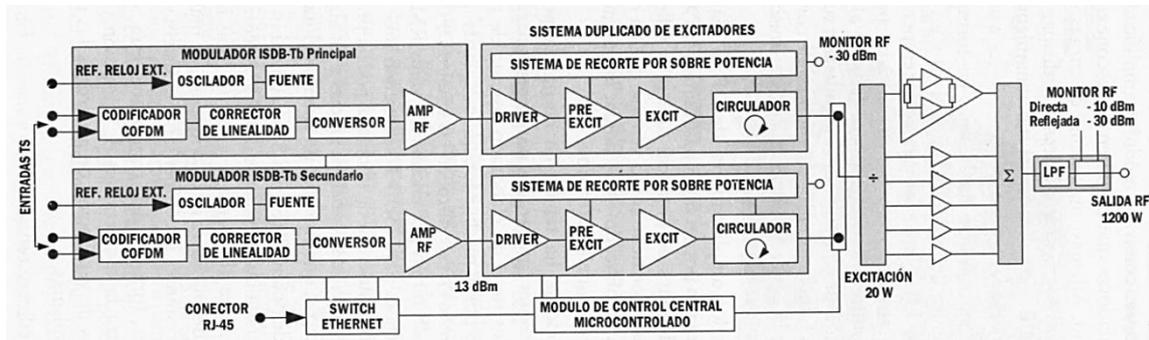


Figura 4.2.- Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb EDINEC TXUD-1200 (Edinec S.R.L.).[47]

Sus características técnicas más importantes son:

Los módulos excitadores y los módulos amplificadores de potencia de salida de RF están provistos de circuncladores los que permiten la desconexión en “caliente” de estas unidades sin sufrir daño. A la salida de los circuncladores se conecta un sistema de cargas que permiten disipar la potencia reflejada en caso de ROE.

El módulo de control permite monitorear los parámetros de funcionamiento del transmisor y ante valores anormales protege al equipo.

La potencia final de salida se obtiene por la acción de un sumador no disipativo y un filtro pasabajos. Un acoplador direccional permite la medición de potencia directa y reflejada.

El excitador posee protección contra picos de señal (mayores a 15 dB por arriba del valor RMS) entregados por el modulador, característico de una señal OFDM. Esta protección evita la destrucción de los módulos de potencia de RF por sobrecarga.

Las etapas de potencia de RF se alimentan individualmente y el sistema de ventilación forzada del transmisor es de velocidad variable de acuerdo con los requerimientos de temperatura.

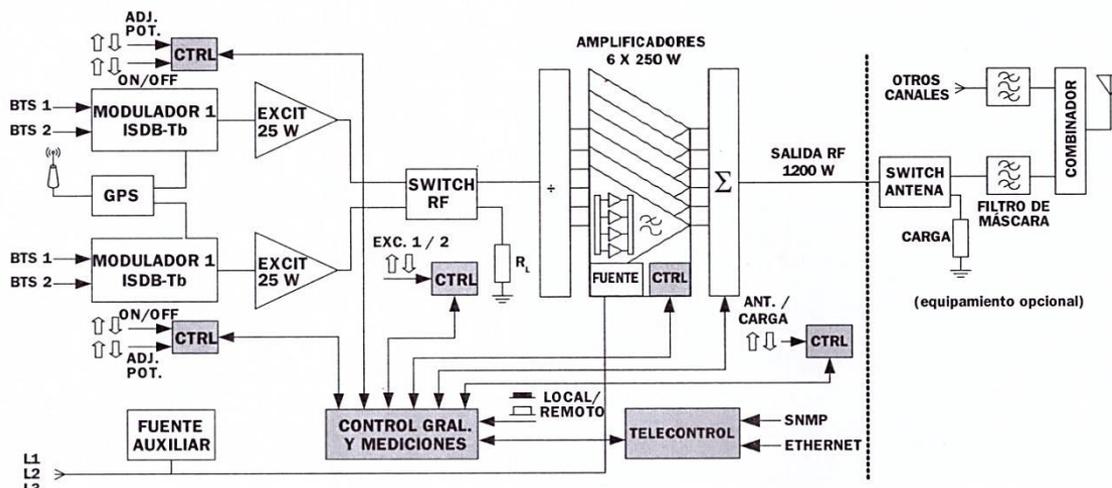


Figura 4.3.- Diagrama en bloque de un transmisor ISDB-Tb LIECOM TRUD1200 (LIE SRL - LIECOM) [48].

En la figura 4.3 se observa el diagrama en bloques de un transmisor ISDT-Tb banda UHF marca LIECOM modelo TRUD 1200, fabricado en la Argentina [8] [22].

Sus características técnicas más importantes son:

Modulador y excitador de reserva, para su utilización inmediata en caso de falla de una de las cadenas de amplificación.

El amplificador de potencia de RF está construido con técnicas de *strip-line* e incluye filtros de armónicos. Posee protección contra sobretensión y elevados niveles de ROE. Cada módulo posee una fuente de alimentación independiente brindando mayor confiabilidad al conjunto amplificador.

El modulador está equipado con un sistema de precorrección automática de distorsión no lineal para los amplificadores y lineal para el filtro de máscara, mejorando sensiblemente las características de funcionamiento. La potencia de salida de RF está controlada por un control automático de ganancia (AGC) en el excitador,

Posee un sistema de comando secuencial que lo protegerle eventuales fallas en el filtro de máscara y/o antena. La lógica de comando primero suministra energía de alimentación de red, luego señal de flujo BTS, la polarización de RF, arranque con potencia reducida, finalizando con la potencia final prefijada. Se pueden realizar ajustes finos de potencia que permitan compensar pérdidas en el combinador y el filtro de máscara, o también equilibrar potencia con otros transmisores en un sistema de antena de banda ancha.

Posee un completo sistema de protección ante fallas de cada uno de los bloques que componen el sistema transmisor. En caso de ROE elevada el transmisor se reinicia a potencia reducida y de persistir la falla un cierto número de veces se apaga. Estos transmisores pueden ser controlados en forma local o remota a través de Internet.

En el Anexo I, figura A.1 se pueden observar las especificaciones técnicas de equipos transmisores de TDT bajo la norma ISDB-Tb de la marca EGATEL. Es de destacar la amplia flexibilidad de los ajustes de los parámetros de codificación, modulación y transmisión.

4.3 Antenas

El sistema de antena es un componente clave en un sistema de transmisión TDT. La antena es el traductor que permite que la energía de RF guiada por un medio confinado, cable coaxial, sea irradiada a un medio no confinado, el espacio, en forma de una onda electromagnética.

La directividad de una antena es la forma en que se distribuye espacialmente la radiación de energía en una determinada dirección. La ganancia de un sistema de antena es similar a la directividad pero considera además las pérdidas por energía reflejada y las pérdidas disipadas en forma de calor.

Con pérdidas de retorno mayores a 20 dB, es decir $ROE \leq 1,22$ la energía reflejada es del orden del 1% de la energía incidente resultando la ganancia prácticamente igual a la directividad.

Otros parámetros de importancia de un sistema de antena son: el diagrama de radiación, la resistencia de radiación, la polarización, la impedancia de entrada y el ancho de banda.

El diagrama de radiación es una gráfica polar en el cual se grafica la intensidad de campo eléctrico, en cortes verticales y horizontales, consignando los valores en dB para los diferentes ángulos considerados. Esto resulta muy importante en la configuración de las redes SFN.

La resistencia de radiación se define como aquella que disiparía la misma potencia que radia la antena si por dicha resistencia circulara la misma corriente con que se alimenta la antena. Es un parámetro muy útil para la evaluación de la antena desde el punto de vista de los circuitos eléctricos.

La polarización de una antena está dada por la posición del vector campo eléctrico que esta irradia, con respecto al plano de tierra. La polarización se define como la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Si la figura trazada es una recta, la onda se denomina linealmente polarizada, si es un círculo se denomina circularmente polarizada. Las polarizaciones más utilizadas son la horizontal, vertical y elíptica.

La impedancia de entrada de una antena se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de

antena. Es un parámetro muy útil para la adaptación de la antena a la línea de transmisión.

El ancho de banda de una antena se define como el rango de frecuencias dentro de la cual el funcionamiento de la antena con respecto a una característica se ajusta o cumple con un estándar especificado. El ancho de banda puede ser considerado como el rango de frecuencias a ambos lados de una frecuencia central, donde las características de la antena (impedancia de entrada, diagrama de radiación, ancho de haz, polarización, nivel del lóbulo lateral, ganancia, etc.) están dentro de un valor admisible referidos a la frecuencia central.

Los tipos de antenas más utilizados en TDT son los siguientes:

- Paneles planos: permiten grandes anchos de bandas y variados diagramas de radiación, muy útiles cuando son alimentados por varios transmisores. Soportan elevadas potencias.
- Slots: son muy robustos y presentan baja resistencia al viento. Direccionales de elevada ganancia y ancho de banda limitado.

En las antenas de TDT generalmente se dispone de arreglos de antenas. Es posible determinar de manera sencilla la ganancia disponiendo de las especificaciones de cada elemento y siempre que tengan un ángulo de apertura horizontal a -3 dB del orden de los $\pm 35^\circ$ utilizando la siguiente expresión:

$$G_S [\text{dBd}] = G_E + 10 \log_{10} \frac{P}{D} \quad (4.1)$$

dónde:

G_E la es ganancia de cada elemento

P es el número de elementos del arreglo vertical

D es la cantidad de direcciones ubicadas a 90° entre sí

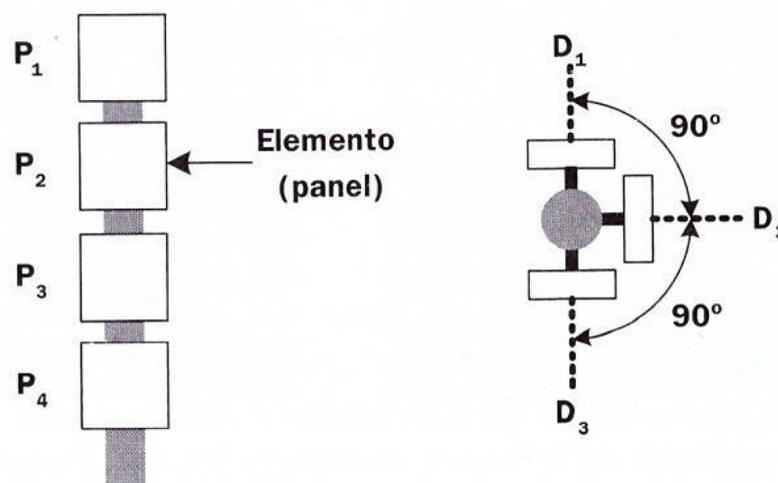


Figura 4.4.- Arreglo de antenas tipo panel de cuatro pisos y tres direcciones. (Pisciotta, N. O. y otros) [8].

En la figura 4.4 se observa un arreglo de antenas conformadas por paneles de dipolos de ganancia individual de 9 dBd, de tres apilamientos a 90 ° de cuatro paneles cada uno. Cabe recordar que dBi es la ganancia respecto a una antena isotrópica y que dBd es la ganancia respecto a un dipolo de longitud $l = \lambda/2$, siendo 0 dBd = 2,15 dBi. Esta disposición genera un patrón de radiación horizontal del tipo cardioide ancho, muy utilizado en los sistemas TDT bajo la norma ISDB-Tb.

La ganancia aproximada de un arreglo de antenas será:

$$G_S \text{ [dBd]} = G_E + 10 \log_{10} \frac{P}{D} = 9 + 10 \log_{10} \frac{4}{3} = 10,24 \text{ dBd} \quad (4.2)$$

En especial en TDT bajo la norma ISDB-Tb estos parámetros son relevantes en la implementación de redes SFN, permitiendo definir con buena precisión grandes áreas de cobertura. En general el arreglo de paneles permite grandes anchos de banda y cobertura adecuada, permitiendo la utilización de varios transmisores y canales radioeléctricos, con manejo de elevadas potencias. En el sistema TDA de Argentina se utilizan cuatro canales radioeléctricos con cuatro transmisores de 1KW de potencia cada uno, para el sistema de antena superior y la misma configuración para el sistema de antena inferior [14].

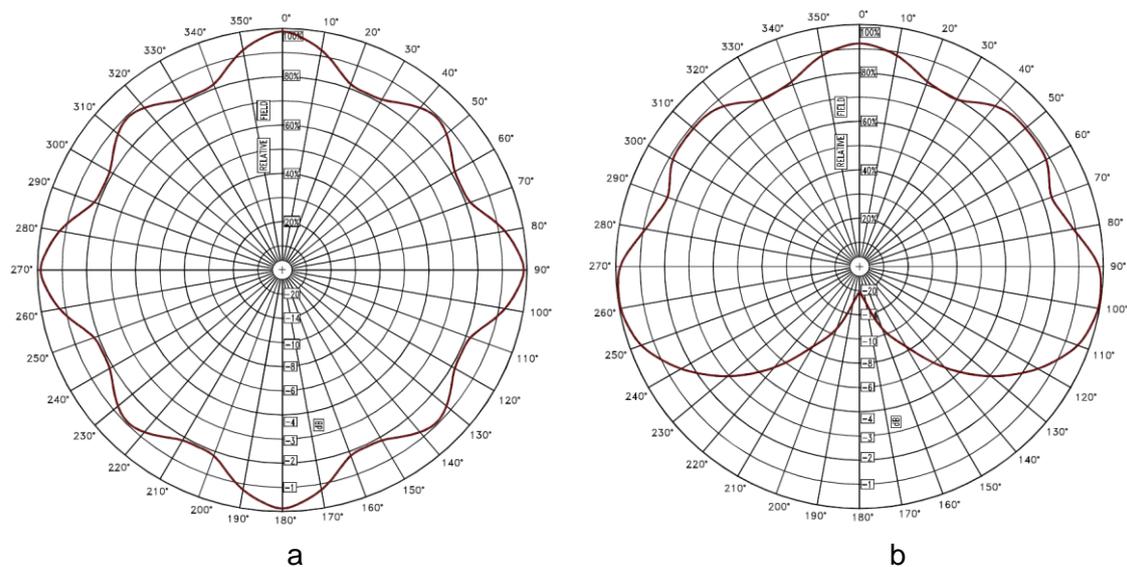


Figura 4.5.- Diagramas de radiación típicos de un arreglo de antenas de paneles planos: a) Omnidireccional b) Cardioide ancho. (JAMPRO ANTENNAS INC) [23].

En la figura 4.5 se pueden observar dos diagramas o patrones de radiación típicos de un arreglo de paneles de la empresa JAMPRO. La ganancia típica de un arreglo de cuatro pisos y tres direcciones JAMPRO tipo JUHD es de 12,14 dBd y el ROE < 1.15:1. Los paneles de banda ancha tipo JUHD están diseñados para ser utilizados como parte de antenas de polarización horizontal, vertical o circular. Permiten niveles variables de polarización. Están construidas con acero inoxidable resistente a la

corrosión, reflectante de aluminio con una durabilidad excelente, características importantes que permiten minimizar el mantenimiento. De acuerdo a la configuración utilizada se pueden proporcionar varios patrones de azimut y elevación a fin de maximizar la cobertura.

El sistema irradiante de TDT se coloca al tope de estructuras torres/mástiles arriostradas elevadas, de entre 100 m y 150 m de altura en la mayoría de los sistemas ISDB-Tb.

En la estación transmisora de TDA de Puerto Tirol en la provincia de Chaco la estructura soporte es una torre arriostrada y tiene una altura de 140 m sobre el nivel del terreno. El sistema irradiante de cuatro paneles apilados para la antena inferior y la misma configuración para la superior se coloca al tope y tiene una altura de 10 m, lo cual hace que la altura total sea de 150 m. El diagrama de radiación es un cardioide ancho que ilumina la región Resistencia-Corrientes.

En la estación transmisora TDA que está siendo instalada en la ciudad de Corrientes la altura total prevista del sistema de antenas es de 149 m. El diagrama de radiación es omnidireccional ya que está previsto que trabaje integrando la red SFN Resistencia-Corrientes una vez que se ponga en funcionamiento.

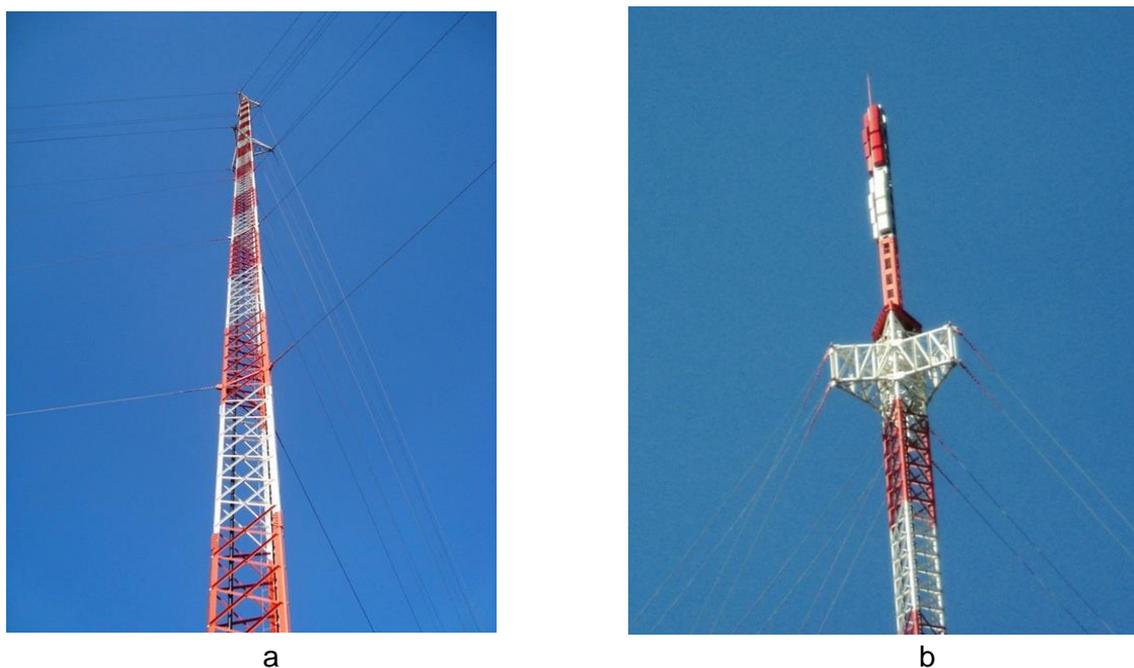


Figura 4.6.- Fotografía del sistema de antena de la TDA de Puerto Tirol Chaco a) Vista de la torre arriostrada b) Vista del arreglo de paneles superior (rojo) e inferior (blanco). (Elaboración propia).

En la figura 4.6 podemos observar dos fotografías del sistema de antena de la estación transmisora TDA instalada en Puerto Tirol provincia de Chaco. Pueden apreciarse las dimensiones de la estructura y el detalle del sistema irradiante colocado al tope. El emplazamiento se encuentra al oeste del área Resistencia-Corrientes.

4.4 Filtros y combinadores

Un filtro es un dispositivo de dos puertos que permite el paso de una banda de frecuencias determinada, rechazando las demás de acuerdo con la respuesta en frecuencia que impone la configuración adoptada. En la práctica la banda de paso de un filtro presenta una pérdida de inserción (desadaptación de entrada) y de transmisión (energía perdida en el filtro) y una transición de atenuación creciente hacia la banda de rechazo.

Existen diferentes topologías de filtros los cuales se definen por la característica de su función de transferencia. Los más usuales son:

- Butterworth: banda de paso plana, mínima pérdida de inserción y poco selectivo (monotónico).
- Tchebycheff: banda de paso con ondulaciones, mayor selectividad (monotónico).
- Elíptico: banda de paso con ondulaciones, permiten ceros de transmisión (no monotónicos).
- Fase lineal: mínimo retardo de grupo, son adecuados para filtrar pulsos.
- Filtros generalizados: alta selectividad con mínimo retardo de grupo.

De acuerdo a la respuesta en frecuencia de los filtros los podemos clasificar en filtro pasa bajo, filtro pasa alto, filtro pasa banda y filtro elimina banda. En los sistemas de transmisión de TDT bajo la norma ISDB-Tb se utilizan filtros pasa banda conocidos como filtros de máscara. La característica del filtro de máscara es su respuesta plana en banda y sus flancos abruptos de caída, condición necesaria en sistemas OFDM. Los filtros de máscara crítica por norma deben presentar una atenuación mínima de 30 dB a ± 3 MHz de la frecuencia central. Los requisitos de selectividad en ISDB-Tb son muy exigentes y entre los objetivos fundamentales se encuentra la operación de emisoras analógicas en canales adyacentes libres de interferencias de la señal digital OFDM (el apagón analógico en Argentina está previsto para el año 2019).

El filtro de máscara además de proveer la característica en frecuencia del canal radioeléctrico debe manejar la potencia total de salida del transmisor con pérdidas mínimas. Este requisito implica la utilización de materiales de muy bajas pérdidas, como por ejemplo cobre plateado en su parte interior, con la finalidad de lograr altos valores de Q (factor de mérito), en los resonadores componentes del filtro. También es de destacar que los contactos deslizantes que intervienen en la sintonía del filtro, deben tener un diseño tal que no degraden el Q más allá de los límites permitidos y que no introduzcan una distorsión excesiva.

En el interior de los filtros se producen tensiones elevadas de manera tal que los materiales utilizados y la construcción mecánica debe ser la adecuada para evitar descargas internas. Otro factor importante lo constituyen las altas temperaturas que alcanzan los materiales del filtro debido a la potencia que manejan y las pérdidas que se producen. La temperatura produce la dilatación de los materiales de los cuales está fabricado el filtro y el diseño debe contemplar la compensación debido a este factor térmico.

Para el diseño de los filtros de máscara se utiliza habitualmente la teoría de filtros generalizados. Este método de diseño está basado en la función de transferencia y permite obtener en forma simultánea mayor selectividad y optimizar independientemente el retardo de grupo. Generalmente se utilizan filtros de cavidades resonantes de 6 a 8 resonadores.

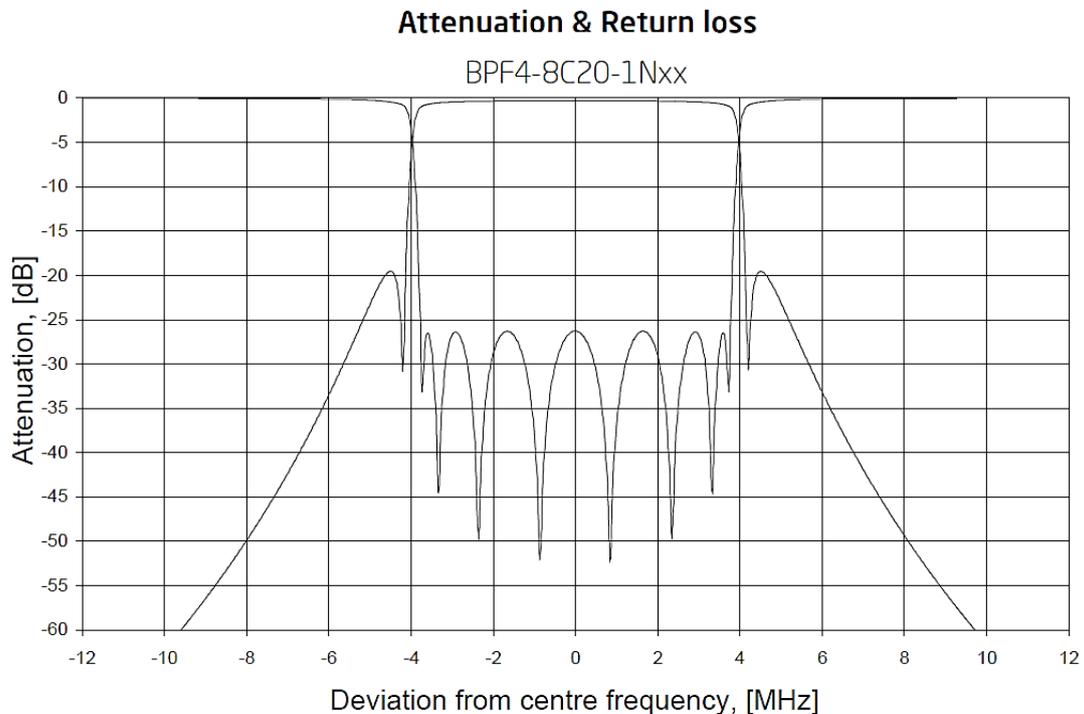


Figura 4.7.- Atenuación y pérdida de retorno UHF Bandpass Filter BW = 8 MHz.(Exir Broadcasting) [24].

SPECIFICATIONS	200 mm Series
FREQUENCY	470 - 862 MHz
BANDWIDTH	6 - 8 MHz
STANDARD ORDER	8 Poles single cross coupling
OPTIONAL ORDER	8 Poles with or without double cross coupling
ATV	Spurious supress
DVB	Critical mask
ATSC	Stringent mask
ISDB	Critical mask
IMPEDANCE	50 Ohm
VSWR	>26 dB (<1.11)
TEMPERATURE STABILITY	< 2 kHz / °C
MAX PRODUCT TEMPERATURE	70 °C
ENVIROMENTAL CONDITION	-5 to 70 °C IP40
STANDARD CONNECTION	1 5/8" unflange
OPTIONAL CONNECTIONS	3 1/8" unflange, NAX 120

Figura 4.8.- Especificaciones del filtro pasabanda de UHF BPF4-8C20-1N11 (Exir Broadcasting) [24].

En la figura 4.7 observamos el gráfico de atenuación y pérdida de retorno y en la figura 4.8 las especificaciones del filtro pasabanda de UHF (filtro de máscara ISDB-Tb) de la empresa Exir Broadcasting de 8 polos y ancho de banda de 8 MHz. En el mismo se observa el flanco abrupto de caída de la respuesta en frecuencia fuera de banda, condición importante para evitar interferencias en canales adyacentes. Es de destacar que lo normal en TDT ISDB-Tb es la utilización de varios canales radioeléctricos adyacentes alimentando un único sistema de antenas de banda ancha. En la TDA argentina se utilizan los canales de UHF 22, 23, 24 y 25, con un ancho de banda de 6 MHz.

Los combinadores son sistemas que permiten acoplar la salida de RF de varios transmisores a una antena de banda ancha a través de un único alimentador, sin que los transmisores interfieran entre sí y sin que se degraden las señales transmitidas. Los combinadores se utilizan de manera habitual en sistemas de radiodifusión de FM y TV.

Las topologías de combinadores de RF más utilizadas son: combinadores tipo estrella, combinadores con líneas de transmisión y combinadores con filtros direccionales.

Los combinadores tipo estrella son económicos pero su diseño no permite combinar canales adyacentes, por lo cual no son utilizados en transmisión TDT ISDB-Tb.

Los combinadores con líneas de transmisión y combinadores con filtros direccionales utilizan un elemento base que es el acoplador híbrido de -3 dB. El cuadripolo híbrido es un elemento de cuatro puertos clásico en RF. En la figura 4.9 se observa el esquema de un acoplador híbrido de -3 dB.

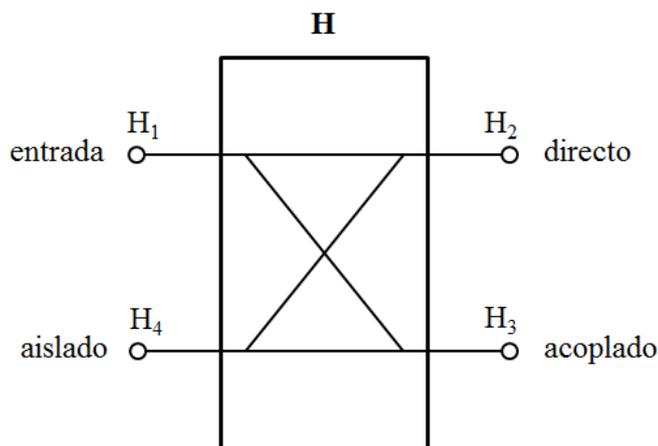


Figura 4.9.- Acoplador híbrido de -3 dB. (Elaboración propia) [8].

La señal que ingresa por el puerto H_1 se divide en dos señales iguales, S_2 por el puerto H_2 y S_3 por el puerto H_3 , con la mitad de la potencia que ingresa por cada una (-3 dB). La señal del puerto acoplado (H_3) aparece con una diferencia de fase de 90° respecto al puerto directo (H_2). Si dos señales S_2 y S_3 con una diferencia de fase de 90°

ingresan por los puertos H_2 y H_3 , la potencia de salida combinada saldrá por H_1 con una atenuación de 0 dB, es decir la suma de las potencias ingresadas. Si las relaciones de fase entre H_2 y H_3 son iguales, la suma de potencias aparecerá en H_4 . Si se conectan cargas reactivas en los puertos H_2 y H_3 y se ingresa una señal por H_1 , la potencia reflejada aparece en el puerto H_4 . Esta propiedad es relevante ya que la potencia reflejada en H_1 es prácticamente nula y las pérdidas de retorno son muy bajas en la entrada.

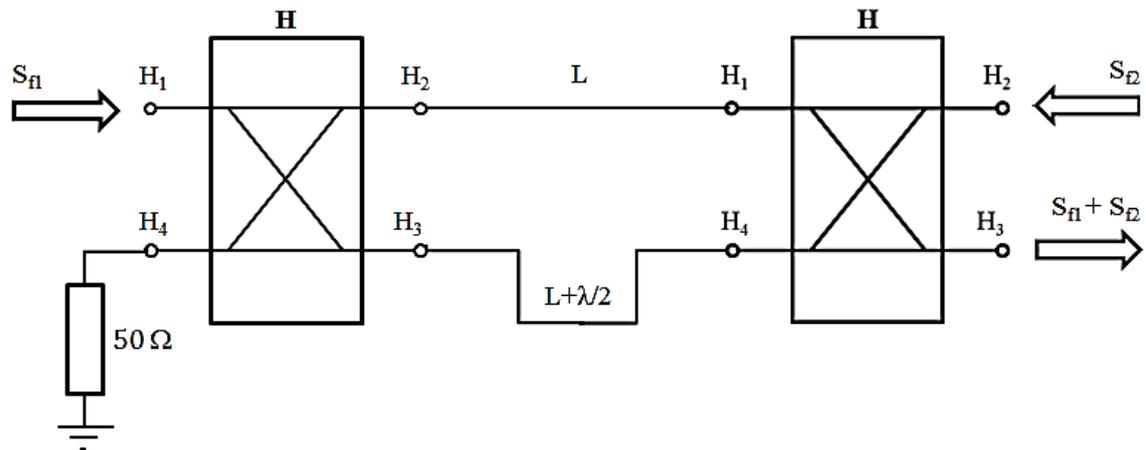


Figura 4.10.- Combinador con línea de transmisión. (Elaboración propia) [8].

Los combinadores con líneas de transmisión se implementan con dos acopladores híbridos de -3 dB vinculados con líneas de transmisión cuyas longitudes difieren en $\lambda/2$ entre sí y se obtiene a la salida la suma de las señales S_{f1} y S_{f2} de frecuencias f_1 y f_2 . Si se coloca una porción de línea ajustable el combinador se transforma en una llave conmutadora. Sumar las dos señales S_{f1} y S_{f2} y enviarlas a antena; enviar S_{f1} a la antena y S_{f2} a una carga fantasma; enviar S_{f2} a la antena y S_{f1} a una carga fantasma. En la figura 4.10 se observa un combinador con línea de transmisión.

Los combinadores con filtros direccionales se implementan con dos acopladores híbridos de -3 dB conectados entre sí con dos filtros (F) direccionales. La señal S_{f1} que ingresa por el puerto H_1 del primer híbrido se divide en dos señales iguales que atraviesan los filtros e ingresan a los puertos H_1 y H_4 del segundo híbrido, dando una salida combinada por H_3 . La señal S_{f2} ingresa por el puerto H_2 del segundo híbrido y se divide en dos señales iguales. La señal de frecuencia f_2 (S_{f2}) está fuera de la banda de paso de los filtros; por lo tanto se reflejan en ellos y regresan a los puertos H_2 y H_4 con fase invertida (debido a la reflexión), para sumarse en el segundo híbrido y salir por H_3 donde se combina con S_{f1} (de frecuencia f_1).

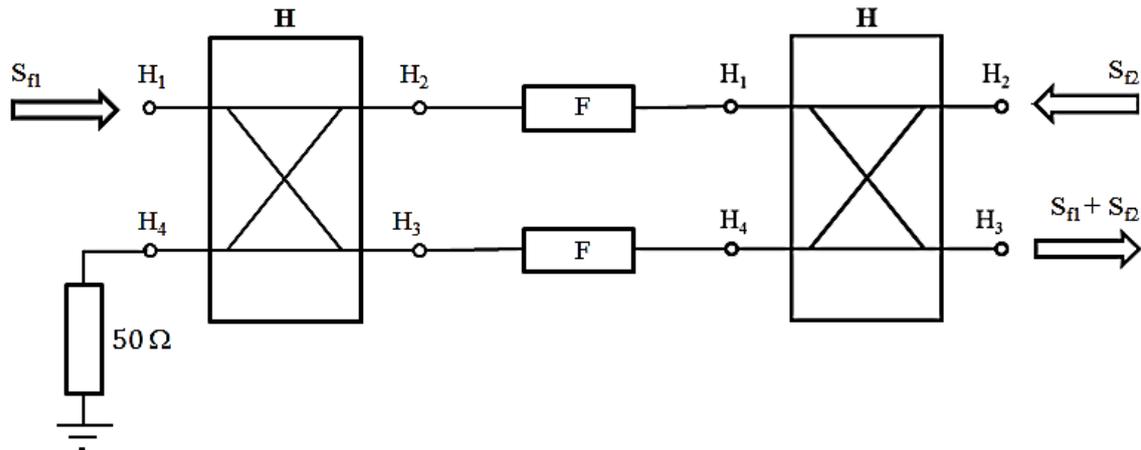


Figura 4.11.- Combinador con filtros direccionales. (Elaboración propia) [8].

En la figura 4.11 puede observarse el esquema de un combinador implementado con dos híbridos y dos filtros.

En combinadores de alta potencia típicamente la señal S_{f1} sufre una atenuación de 0,4 dB y la señal S_{f2} una atenuación total de 0,05 dB. La aislación entre los puertos de entrada H_1 y H_2 es del orden de los -35 dB y las pérdidas de retorno de ambos puertos de entrada del orden de los -30 dB. Esta característica permite la implementación de sumadores con filtros direccionales en cascada como puede observarse en la figura 4.12.

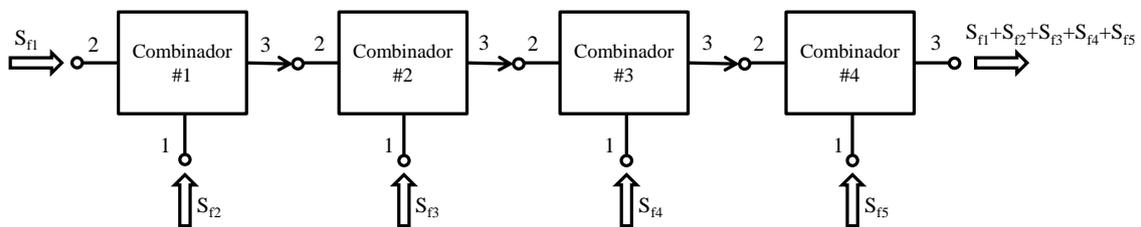


Figura 4.12.- Sumador con combinadores con filtros direccionales. (Elaboración propia) [8].

En el Anexo I, figura A.2 se detallan las especificaciones técnicas de un combinador comercial con filtros direccionales para DTV en la banda de UHF de la marca Radio Frequency System (RFS) [25].

4.5 Receptores ISDB-Tb

En la norma ABNT NBR-15604 Televisión digital terrestre - Receptores [20] se detallan las especificaciones de los receptores. Esta norma especifica el conjunto de funcionalidades esenciales requeridas de los dispositivos de recepción de televisión digital de 13 segmentos (*full-seg*), así como los de un segmento (*one-seg*), destinados a recibir señales en la modalidad fija, móvil y portátil.

Algunos de los términos y definiciones relevantes establecidos en la norma ABNT NBR-15604 se describen a continuación.

Se define como *receptor integrado* al dispositivo de recepción de señales de televisión digital integrado al monitor, disponiendo de interfaces de salidas de las señales de audio y vídeo. Se define como *receptor full-seg* al dispositivo capaz de decodificar informaciones de audio, video, datos etc., contenidas en la capa del flujo de transporte de 13 segmentos destinada al servicio fijo (*indoor*) y móvil. Define como *receptor one-seg* al dispositivo que decodifica exclusivamente informaciones de audio, vídeo, datos etc., contenidas en la capa "A" asignada en el segmento central de los 13 segmentos.

La clasificación *full-seg* se aplica a los convertidores digitales, también conocido por *set-top box* (STB) y a los receptores de 13 segmentos integrados con pantalla de exhibición, pero no exclusivos a éstos. Este tipo de receptor es capaz de recibir y decodificar señales de televisión digital terrestre de alta definición y, a criterio del fabricante, también recibir y decodificar informaciones transportadas en la capa "A" del *transport stream*, aplicada para los servicios dirigidos a los receptores portátiles, definidos como *one-seg*.

La clasificación *one-seg* se destina a los receptores del tipo portátil, también conocidos como *handheld*, especialmente recomendados para pantallas de exhibición de dimensiones reducidas, normalmente hasta 7 pulgadas. Entre los productos clasificados como *one-seg*, están los receptores integrados con teléfono celular, PDA, *dongle* y televisores portátiles, los cuales reciben alimentación de una batería interna y, por lo tanto sin necesariamente requerir una fuente externa de energía, así como aquellos destinados a automóviles. Este tipo de receptor es capaz de recibir y decodificar solamente señales de televisión digital terrestre transportada en la capa "A" del flujo de transporte, y, como consecuencia de ello sólo las señales de perfil básico, que se destinan a los dispositivos portátiles de recepción.

Se define como convertidor digital, *set-top box* al dispositivo de recepción y decodificación de señales de televisión digital que se conecta a un televisor por medio de cables o cualquier otro tipo de conexión y que, para ello, coloca a disposición interfaces de salida de audio y vídeo, ya sean analógicas o digitales.

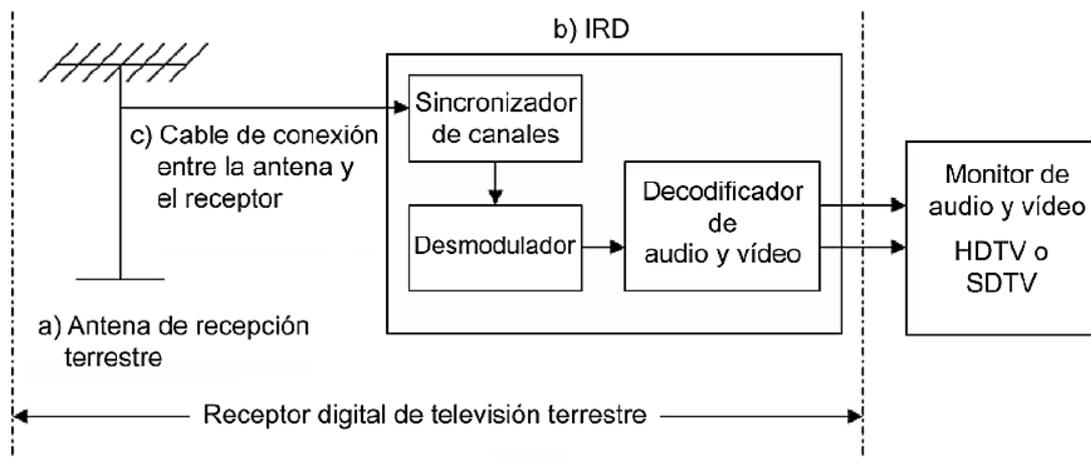


Figura 4.13.- Configuración básica del receptor ISDB-Tb. (ABNT NBR-15604) [20].

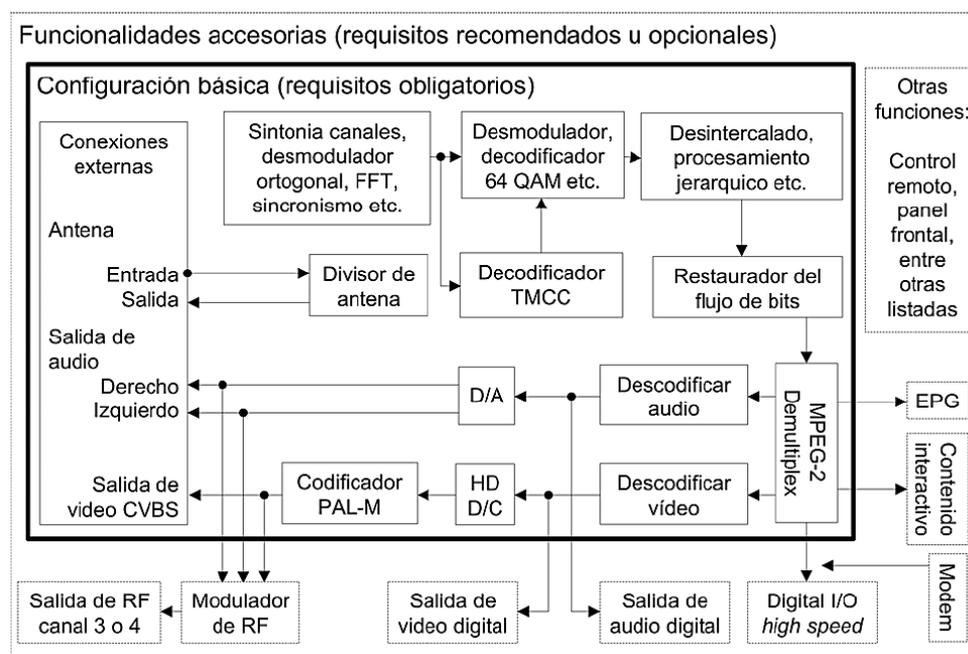


Figura 4.14.- Configuración básica del IRD tipo convertidor digital (STB) (ABNT NBR-15604) [20].

En la figura 4.13 podemos observar la configuración básica de un receptor ISDB-Tb. Sus partes importantes son: la antena de recepción terrestre, el cable de conexión (coaxial) entre la antena y el receptor y el receptor decodificador integrado IRD (*Integrated Receiver Decoder*). El monitor de audio y video es generalmente externo al receptor pero puede formar parte del equipo.

En la recepción fija, hay por lo menos dos posibles modelos de aparatos con diferentes requisitos obligatorios, especialmente en lo que se refiere a la salida de

audio y vídeo, así como del divisor de antena. Por esta razón la configuración básica de un IRD se debe dividir en convertidor digital (STB) y receptor integrado.

En la figura 4.14 podemos observar la configuración básica del IRD tipo STB. Además de las salidas de video y audio digital se debe disponer de una salida de audio analógica y video compuesto. También se deberá disponer de una salida de RF para canal 3 y 4.

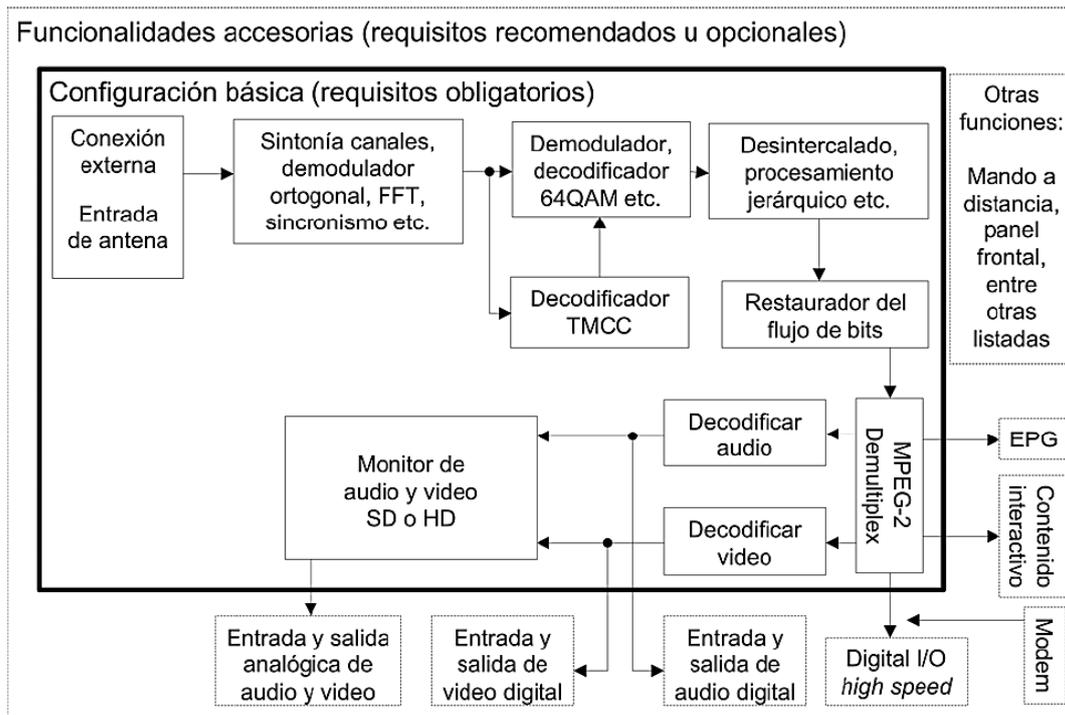


Figura 4.15.- Configuración básica del IRD tipo integrado (ABNT NBR-15604) [20].

En la figura 4.15 podemos observar la configuración básica de un IRD tipo integrado que se utiliza en un receptor de TV que incorpora un sintonizador de TDT como parte del equipo. Básicamente es similar al IRD tipo STB y difiere fundamentalmente en que las entradas y salidas son en su mayoría internas.

4.6 Especificaciones de los receptores ISDB-Tb [20]

4.6.1 Antena de recepción

La antena debe permitir la recepción de señales de TDT de los canales de VHF de 07 a 13 y los canales de UHF de 14 a 69, para los receptores del tipo fijo y móvil (*full-seg*) y al menos los canales 14 a 69 en la banda de UHF del tipo portátil (*one-seg*). La polarización de la antena puede ser tanto vertical como horizontal. La ganancia de la antena no se especifica, ya que depende de las condiciones de recepción; se recomienda que cuando haya una antena externa instalada, la ganancia sea por lo menos equivalente a lo especificado para el tipo yagi de 14 elementos (7 dB – UHF

canal 14). La directividad de la antena no se especifica por depender de las condiciones de recepción, sin embargo se recomienda que cuando haya una antena externa permanentemente instalada, la instalación tenga en cuenta al menos a las especificaciones de directividad de la Recomendación UIT BT.419-3.

4.6.2 Especificaciones del IRD

Se sintetizan algunas de las especificaciones relevantes del IRD relacionadas con el objeto de este trabajo.

Entrada de antena: la unidad receptora del tipo integrado con monitor debe disponer por lo menos de un terminal para entrada de antena con impedancia de entrada 75Ω , tipo F, desequilibrado. El IRD tipo STB debe disponer de por lo menos un terminal para entrada y otro para salida de antena (*pass through*), ambos con impedancia de 75Ω , tipo F, desequilibrado. En un receptor portátil *one-seg* (teléfonos celulares, *dongle*, PDA), las recomendaciones anteriores son opcionales, pudiendo o no ser aplicadas, a criterio del fabricante del dispositivo de recepción.

Ancho de banda del canal: El ancho de banda del canal debe ser compatible con lo especificado en la ABNT NBR 15601:2007; dispositivos fijos o móviles de recepción (*full-seg*): 5,7 MHz; dispositivos portátiles (*one-seg*): 0,43 MHz.

Frecuencia de la portadora central de canales: Las frecuencias de las portadoras centrales comprenden en la banda de VHF, del canal 07 al 13 ($177 + 1/7$ MHz a $213 + 1/7$ MHz) y en la banda de UHF, del canal 14 al 69 ($473 + 1/7$ MHz a $803 + 1/7$ MHz) con una separación de 6 MHz entre canales.

Sensibilidad: se recomienda que la unidad de sintonía de los receptores de 13 segmentos, así como la de un segmento, medida en la parte central de los 13 segmentos, satisfaga las siguientes especificaciones: a) nivel mínimo de entrada de la señal de antena de - 77 dBm o mejor; nivel reducido por el factor equivalente al del ancho de banda (- 11 dB), cuando el nivel de entrada en el receptor *one-seg* se mide en términos de potencia eléctrica por segmento.

Selectividad – Relación de protección: es de especificación obligatoria que el receptor *full-seg* atienda como mínimo a la relación de protección especificada en la tabla 4.1. Los parámetros de transmisión empleados para la obtención de las medidas presentadas deben ser: modo 3 intervalo de guarda de 1/8, sin *time interleaving*, modulación de 64 QAM y codificación interna de 3/4.

Tabla 4.1. Relación de protección (ABNT NBR-15604) [20].

Señal interferente	Ítem		Relación de protección
Transmisión analógica	Co-canal		+ 18 dB o menor
	Canal adyacente inferior	UHF	- 33 dB o menor
		VHF	- 26 dB o menor
	Canal adyacente superior	UHF	- 35 dB o menor
		VHF	- 26 dB o menor
	Transmisión digital	Co-canal	
Canal adyacente inferior		UHF	- 26 dB o menor
		VHF	- 24 dB o menor
Canal adyacente superior		UHF	- 29 dB o menor
		VHF	- 24 dB o menor

Primera frecuencia intermedia (FI): la frecuencia central de la FI debe ser de 44 MHz, siendo facultada la conversión directa en banda base. La frecuencia del oscilador local se debe asignar en la banda superior a la frecuencia recibida.

Medidor de intensidad de la señal: la exhibición de una escala que demuestra la intensidad de la señal recibida en el receptor es de implementación facultativa por parte de los fabricantes.

Medidor de calidad de la señal: la forma de medir y la presentación del nivel de calidad de la señal recibida dependen de la arquitectura del receptor.

Medidor de BER: la exhibición de la tasa de error de bits no es obligatoria para los receptores.

En el Anexo I, figura A.3 se detallan las especificaciones técnicas de un receptor/decodificador digital ISDB-Tb de tipo comercial.

4.7 Comentarios y Discusiones

En este capítulo se analizan los parámetros fundamentales de los transmisores y receptores, filtros y sistemas irradiantes, todos ellos muy importantes en la definición de una red tipo SFN.

En el proceso de planificación de una red TDT resulta de especial interés limitar el espectro de frecuencia de salida del transmisor considerando la naturaleza de la señal. La utilización de un mismo alimentador y sistema irradiante para varios canales radioeléctricos implica la importancia de las especificaciones del filtro de salida de cada transmisor y del combinador de los diferentes canales.

La disposición utilizada en el sistema irradiante, de arreglo de paneles, permite configuraciones muy flexibles en cuanto al diagrama de radiación, resolviendo adecuadamente las necesidades de planificación de las redes MNF y SFN.

Por último cabe destacar que los receptores son muy importantes en una red TDT, destacándose dos casos típicos: receptores fijos con antena exterior y receptores móviles con antena integrada. La estimación del área de cobertura debe contemplar adecuadamente los diferentes casos, los cuales resultan de mucha importancia debido a las características del área geográfica objeto de estudio.

CAPÍTULO V

5 - PROPAGACIÓN

5.1 Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre

El problema fundamental a resolver en un sistema de telecomunicaciones es obtener, a través de un diseño adecuado, que en el receptor se logre una relación señal-ruido mínima que garantice su buen funcionamiento. Los servicios de radiocomunicaciones por radio emplean ondas electromagnéticas radiadas como canal de la transmisión de la información entre el transmisor y el receptor. En la planificación de un sistema de telecomunicaciones por radio resulta indispensable conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética, su magnitud y su influencia en las distintas bandas de frecuencias.

La pérdida básica de transmisión en el espacio libre [34] se expresa como:

$$L_{bf} = \frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (5.1)$$

$$L_{bf}[\text{dB}] = P_R[\text{dBm}] - P_T[\text{dBm}] = -32,4 - 20\log f - 20\log d \quad (5.2)$$

donde:

L_{bf} = pérdidas básicas

P_R = potencia recibida

P_T = potencia transmitida

f = frecuencia (MHz)

d = distancia entre las dos antenas (Km)

En la propagación de una onda electromagnética en el espacio libre, la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia d es:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{4\pi r^2} D_T A_{efR} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_T D_R = \left(\frac{1}{\lambda r} \right)^2 A_{efT} A_{efR} \quad (5.3)$$

donde:

λ = longitud de onda

d = distancia entre las dos antenas

D_T = directividad antena transmisora

D_R = directividad antena receptora

A_{efT} = área efectiva antena transmisora

A_{efR} = área efectiva antena receptora

La ecuación no explicita una relación clara entre potencia transmitida y recibida en función de la frecuencia. Las dimensiones físicas de la antena y sus parámetros eléctricos influyen sobre el comportamiento de la antena en función a la frecuencia. A frecuencias bajas, por ejemplo en las bandas MF, LF y VLF, las antenas empleadas son de dimensiones pequeñas en comparación con la longitud de onda λ . En este caso las antenas presentan generalmente una directividad D constante con la frecuencia. Del análisis de la ecuación se desprende que la pérdida de transmisión aumenta con la frecuencia [35].

A frecuencias más altas, en las bandas de UHF y SHF, las antenas presentan dimensiones grandes respecto a la longitud de onda λ . En este caso (i.e. reflectores parabólicos) el área efectiva de la antena A_{ef} es proporcional al área física de la misma e independiente de la frecuencia; por lo tanto la pérdida de transmisión disminuye al aumentar la frecuencia.

Como regla general puede afirmarse que para antenas de dimensiones fijas disminuir la frecuencia en bandas de frecuencias bajas y aumentarla en bandas de frecuencias elevadas reduce la pérdida de transmisión.

La propagación en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno terrestre muy pocas situaciones se ajustan a este modelo.

En enlaces punto a zona, es decir cuando un solo transmisor que da servicio a varios receptores distribuidos al azar en un área (radiodifusión, servicio móvil o portable), se calcula el campo eléctrico en un punto situado a una cierta distancia del transmisor mediante la relación siguiente:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (5.4)$$

donde:

e = intensidad de campo eficaz (V/m)

p = potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) del transmisor en la dirección del punto considerado (W)

d = distancia del transmisor al punto considerado (m).

Respecto a la potencia isotrópica irradiada (p), en el caso que se trate de antenas emplazadas en la superficie del suelo (típicamente diseñadas para frecuencias bajas) con polarización vertical, sólo se considera en general la radiación en el semiespacio superior. Si consideramos que el suelo es plano y perfectamente conductor, la densidad de flujo de potencia para una determinada potencia radiada se duplica, en comparación con una antena en el espacio libre. Alternativamente, al considerar potencias de campo, la potencia de campo se incrementa de manera similar en 3 dB. Es importante considerar esto para determinar la potencia radiada [36] [37].

Las características eléctricas de la tierra y su orografía son determinantes en la manera en que se propaga una onda electromagnética. La onda electromagnética al incidir sobre la tierra produce el fenómeno de reflexión. La onda directa se combina con la reflejada dando lugar a una onda de espacio. En función a la relación de fases de la onda directa y reflejada la onda de espacio puede ser constructiva o destructiva, originando importantes diferencias en la magnitud de la potencia recibida según sea el caso.

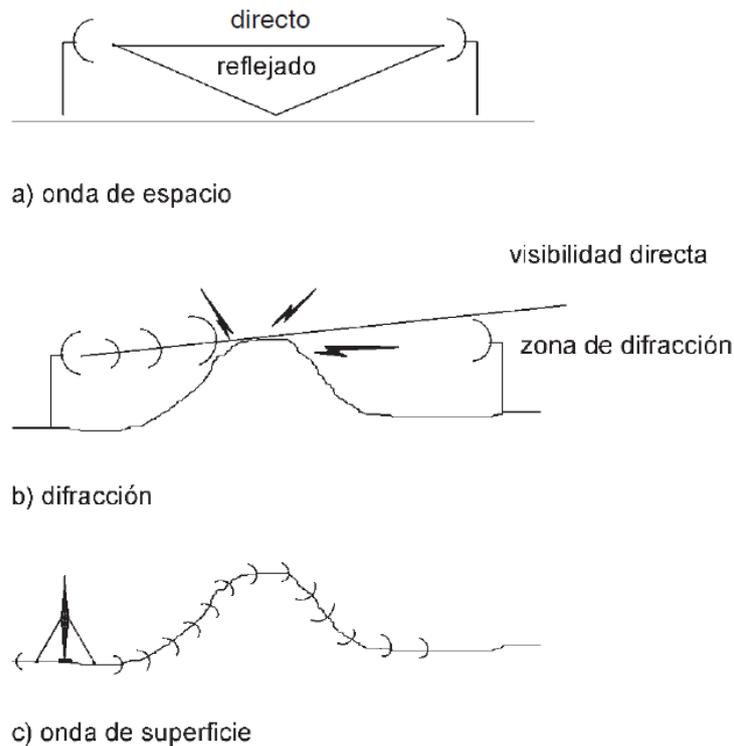


Figura 5.1.- Efecto de la Tierra en la propagación [35].

En la figura 5.1 podemos observar en a) una onda de espacio, en b) el fenómeno de difracción y en c) una onda de superficie

Aunque la difracción se produce únicamente por la superficie del suelo u otros obstáculos, para evaluar los parámetros geométricos situados en el plano vertical del trayecto (ángulo de difracción, radio de curvatura, altura del obstáculo) ha de tenerse en cuenta la refracción media de la atmósfera en el trayecto. La difracción de las ondas radioeléctricas sobre la superficie de la Tierra se ve afectada por las irregularidades del terreno.

La transición de la luz a la sombra define la región de penumbra. Esta transición se produce a lo largo de la franja estrecha (anchura de penumbra) en el límite de la sombra geométrica. En la Figura 5.2 se ilustra la anchura de penumbra (w) en el caso de un transmisor ubicado a una altura h sobre la superficie lisa de la Tierra esférica, que viene dada por la fórmula:

$$w = \left[\frac{\lambda a_e^2}{\pi} \right]^{1/3} m \quad (5.5)$$

dónde:

λ = longitud de onda (m)

a_e = radio ficticio de la Tierra (m)

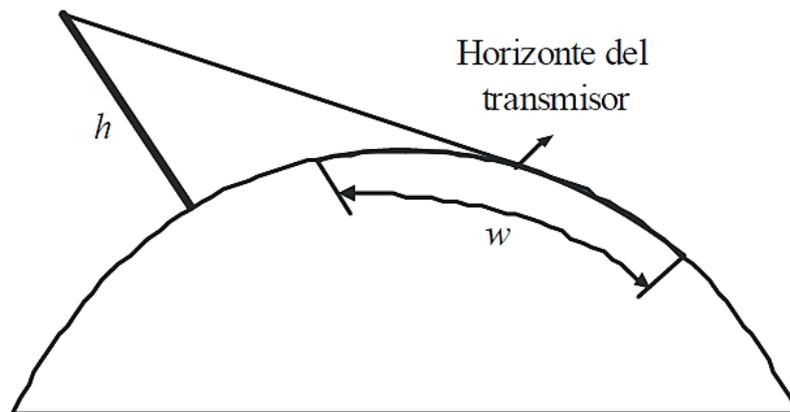


Figura 5.2.- Anchura de penumbra (UIT-R P.526-14) [29]

La zona de difracción de un transmisor se extiende desde la distancia con visibilidad directa en la que el trayecto libre de obstáculos es igual al 60% del radio de la primera zona de Fresnel, (R1), hasta una distancia más allá del horizonte del transmisor en la que predomina el mecanismo de dispersión troposférica.

Un obstáculo puede considerarse aislado si no existe interacción entre dicho obstáculo y el terreno circundante. Dicho de otra manera, la atenuación del trayecto se debe únicamente al obstáculo y el terreno que lo rodea no contribuye a dicha atenuación.

5.2 Propagación por difracción

La esfericidad de la Tierra y la presencia de obstáculos limitan la visibilidad entre la antena transmisora y receptora. Al incidir una onda electromagnética sobre un obstáculo se produce un fenómeno de difracción; debido a ello el obstáculo rerradia parte de la energía interceptada en varias direcciones. Este fenómeno posibilita la recepción aún sin línea a la vista (o visión directa) entre las antenas; sin embargo se produce una atenuación adicional respecto al espacio libre.

La visión directa o línea de vista (*Line Of Sight*, LOS) es deseable en sistemas inalámbricos que operan a frecuencias altas; de no lograrse esta condición se producen pérdidas que pueden llegar a ser importantes o impedir el enlace. A fin de modelar las pérdidas que se producen por la obstrucción del enlace radioeléctrico de

visión no directa (*Non Line Of Sight*, NLOS) se utiliza el concepto de las llamadas zonas de Fresnel.

Las zonas de Fresnel son unos elipsoides concéntricos al rayo directo de un enlace radioeléctrico, que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora (T) y receptora (R) y cuyos focos son los puntos T y R. Si una onda que partiera de la antena transmisora y se reflejara sobre la superficie del elipsoide, incidiendo sobre la antena receptora, habría recorrido una distancia superior en múltiplos de $\lambda/2$ a la recorrida por el rayo directo. Por lo tanto la onda reflejada se recibiría en la antena receptora con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de 180° . Precisamente este valor del múltiplo determina el n-ésimo elipsoide de Fresnel.

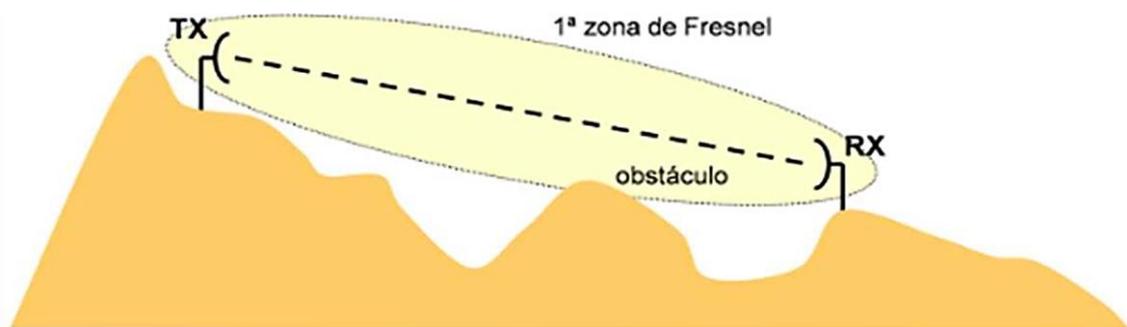


Figura 5.3.- Zona de Fresnel en un perfil de radioenlace (SHARENG™) [49]

En la figura 5.3 se puede observar un radioenlace típico y la primera zona de Fresnel.

Las zonas de Fresnel son elipsoides de revolución cuyo eje mayor tiene una longitud de $R+n\lambda/2$. La intersección de las zonas de Fresnel con el plano P son circunferencias cuyo radio R_n puede calcularse para el caso que sea mucho menor que d_1 y d_2 como

$$R_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (5.6)$$

La primera zona de Fresnel ($n = 1$) se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancias igual a $\lambda/2$ o diferencia de fases de 180° . Reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, debido a la oposición de fase con la cual llega a la antena receptora. Por esta causa en la planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos, lo cual se traduce en general como un aumento de altura de los mástiles de las antenas o su relocalización. Una obstrucción completa de la zona de Fresnel producirá pérdidas todavía mayores.

El concepto de línea a la vista, LOS, en radiopropagación implica un trayecto entre dos antenas en el cual la 1ª zona de Fresnel está despejada en un 60% a lo largo de toda

su extensión. El concepto de visión no directa NLOS (*Non-Line-of-Sight*) u obstrucción es aquel trayecto que no cumple con el despejamiento de la 1° zona de Fresnel.

Al aumentar la frecuencia, el radio R_1 de la primera zona de Fresnel disminuye. Así por ejemplo a una frecuencia de 10 GHz, R_1 es de tan sólo 12,25 m. Al disminuir la frecuencia el radio aumenta, de forma que a frecuencias bajas (MF e inferiores) difícilmente se podrá obtener visión directa ya que la tierra se encontrará dentro de la primera zona de Fresnel.

La difracción de la onda electromagnética ocasionada por objetos de formas complejas es un problema de difícil solución analítica que represente adecuadamente el caso real. No obstante es posible hallar expresiones que modelan, aunque de forma aproximada, obstáculos reales. Para caracterizar los efectos de difracción de la tierra, colinas, edificios u otros obstáculos, se emplean esferas conductoras lisas y aristas o filo de navaja. La idea es adaptar formas geométricas sencillas para encontrar soluciones adecuadas a los diferentes obstáculos.

En la figura 5.4 se representa la pérdida adicional respecto al espacio libre para un obstáculo del tipo filo de navaja, en función de la distancia (h) entre la trayectoria y el obstáculo, normalizada al radio (R_1) de la primera zona de Fresnel. Hay que considerar que hasta que el obstáculo no penetra un 60% en la primera zona de Fresnel, los efectos sobre la potencia recibida son despreciables.

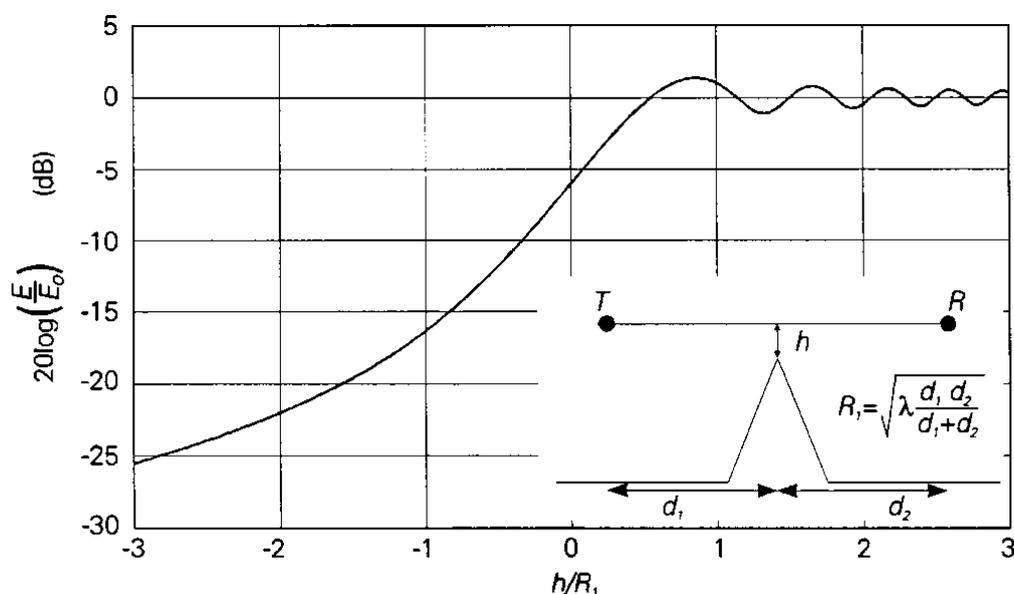


Figura 5.4.- Pérdidas de difracción por aristas [36]

Se dispone de unos nomogramas proporcionados por la Rec. UIT-R P.526-14 que permiten calcular de manera eficaz la pérdida por difracción en tierra esférica. Esta pérdida es función de la distancia entre antenas (d), y la altura de las mismas sobre la tierra h_1 y h_2 .

5.3 Modelos de propagación

Los modelos de propagación son herramientas útiles para evaluar las pérdidas de propagación asociadas a los distintos efectos que se han descrito con anterioridad: reflexión en tierra, difracción por obstáculos, etc. Cuando uno de estos efectos es el predominante en las pérdidas de propagación, los modelos permiten hacer una estimación muy ajustada a la realidad.

En el caso de presentarse entornos de propagación más complejos, en los cuales existe una superposición de varios efectos, el cálculo de las pérdidas de propagación implica una forma diferente de trabajo. Pueden darse casos en que exista línea a la vista, pero en muchas ocasiones no existe visibilidad directa entre los dos extremos, el transmisor y el receptor. La intensidad de campo eléctrico recibida, y consecuentemente la densidad de potencia en la antena receptora es el resultado de la contribución de ondas reflejadas y difractadas en los edificios y obstáculos del entorno geográfico. En función de la fase con la cual llega cada una de las contribuciones, la suma de todas ellas puede ser constructiva o destructiva. En el caso de ser destructiva se producirá un fuerte desvanecimiento en la señal recibida. De ser constructiva se producirá un refuerzo del nivel de la señal. En cualquiera de los casos al mover el receptor una distancia del orden de $\lambda/2$ se modificará el nivel de la señal, originando importantes variaciones de la potencia de la señal recibida.

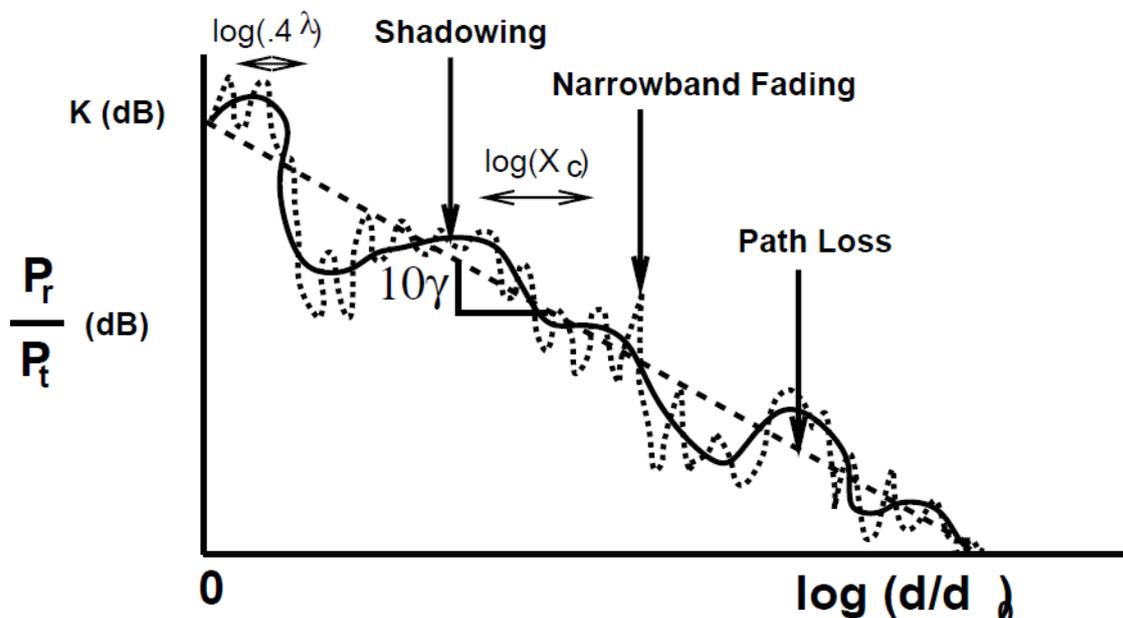


Figura 5.5.- Combinación de pérdidas de trayecto, por sombra y desvanecimiento de banda angosta [38].

En la figura 5.5 se ven los efectos compuestos por pérdidas por *path-loss* (pérdidas por trayecto, modelo de propagación) + *shadowing* (lognormal) + *small-scale fading* o *narrow band fading* (multitrayectoria). Se pueden evaluar las diferentes formas de pérdidas por trayecto, por sombra y desvanecimiento de banda angosta. Puede

apreciarse que el desvanecimiento de banda angosta varía rápidamente con la distancia alrededor el valor medio de las pérdidas.

En el contexto descrito, la modelización de la propagación debe abordarse a partir de modelos empíricos que permiten determinar el valor medio o más probable de las pérdidas de propagación. Sobre este valor medio generalmente se superpone una variable de tipo aleatoria, la cual modela las fluctuaciones en la atenuación.

El resultado es una caracterización de tipo estocástica de las pérdidas de propagación, cuyo objetivo no es predecir el valor exacto de las pérdidas, sino asociar a una atenuación dada una probabilidad de ocurrir. Desde el punto de vista de la planificación de un servicio de telecomunicaciones, el objetivo principal es garantizar que una cierta pérdida de propagación no se supere un porcentaje de tiempo especificado en función de la fiabilidad que se le quiera asignar al servicio.

Con el advenimiento de las computadoras actuales y su enorme poder de procesamiento de la información, se han desarrollado una importante variedad de software aplicado a cálculos de enlaces radioeléctricos y en el caso de radiodifusión (*broadcasting*), a predecir áreas de cobertura para un determinado sistema con excelentes resultado.

Se describen a continuación algunos de los métodos de cálculos más utilizados en la actualidad.

5.3.1 Okumura-Hata

Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

A partir de una extensa campaña de medidas llevada a cabo en Tokyo, en el rango de 100 MHz a 1920 MHz, Okumura et al. [26] publicaron uno de los modelos más utilizados para la predicción de la pérdida de propagación en áreas urbanas. El principal resultado del trabajo de Okumura fue un conjunto de curvas que proporcionan el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas de la estación base y la estación móvil, además de varios factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayecto. Este modelo está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el cálculo de las pérdidas en el trayecto y se ha convertido en el método de planificación de sistemas móviles en Japón.

Con el objetivo de hacer que este método fuera más fácil de aplicar, Hata [27] estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura. Dichas expresiones de carácter empírico, son conocidas bajo el nombre de modelo de Okumura-Hata, también llamado modelo de Hata.

El principal resultado que proporciona el modelo es el valor mediano de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil. Aunque éste no incluye ninguno de los factores de corrección por tipo de trayecto, los cuales sí están en el modelo de Okumura, las ecuaciones propuestas por Hata tienen un importante valor práctico.

El modelo de Okumura-Hata está restringido a los siguientes límites:

$$f = 150 \text{ a } 1.500 \text{ MHz}$$

$$h_b = 30 \text{ a } 200 \text{ m}$$

$$h_m = 1 \text{ a } 10 \text{ m}$$

$$d_m = 1 \text{ a } 20 \text{ km}$$

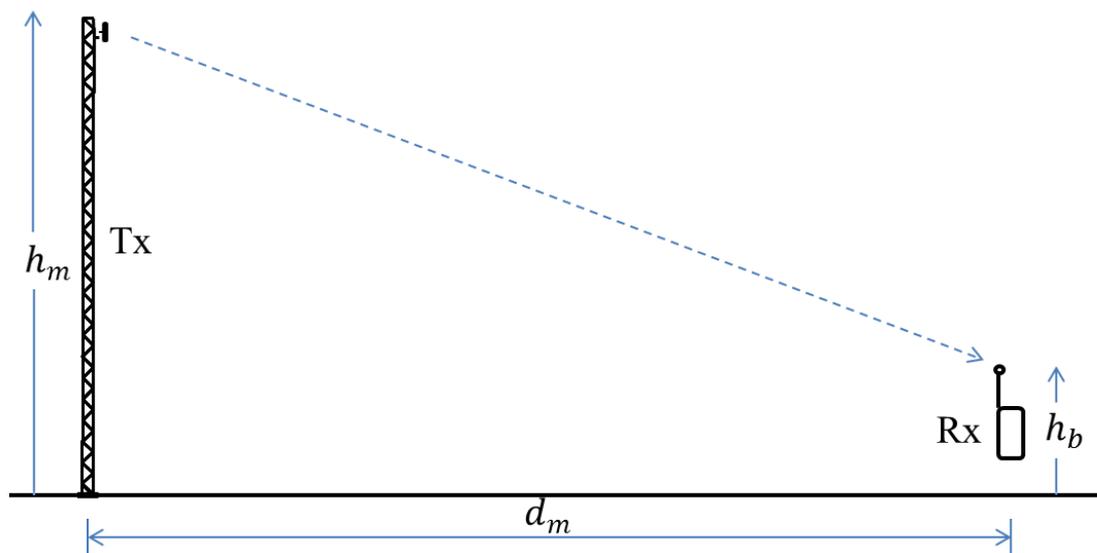


Figura 5.6.- Parámetros del modelo Okumura-Hata (Elaboración propia) [26].

El modelo de Okumura-Hata expresa la pérdida básica de propagación, L_b , de la siguiente manera:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d_m \quad (5.7)$$

donde $a(h_m)$ es un factor de corrección que depende de la altura del móvil y que se calcula para diferentes entornos: para áreas urbanas, ciudades pequeñas, medianas o grandes; para áreas suburbanas y para áreas rurales.

- Para áreas urbanas:

para ciudades pequeñas o medianas

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - (1,56 \log f - 0,8) \quad (5.8)$$

donde $1 \leq h_m \leq 10m$

para ciudades grandes

$$a(h_m) \begin{cases} 8,29(\log 1,54h_m)^2 - 1,1 & f \leq 200\text{MHz} \\ 3,2(\log 11,75h_m)^2 - 4,97 & f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (5.9)$$

- Para áreas suburbanas

$$L_b = L_b(\text{urbana}) - 2[\log(f/28)]^2 - 5,4 \quad (5.10)$$

- Para áreas rurales

$$L_b = L_b(\text{urbana}) - 4,78 \log(f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 \quad (5.11)$$

De manera general, este método de cálculo proporciona buenos resultados en entornos urbanos y suburbanos, pero no así en áreas rurales, ya que no tiene en cuenta la ondulación del terreno ni los efectos derivados del grado de urbanización a lo largo del trayecto.

5.3.2 Rec. UIT-R P.1546

Método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa o a distancias superiores a los 100 km.

La Recomendación UIT-R P.1546 [9] describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto-a-zona para servicios terrenales en el rango de frecuencias de 30 a 3.000 MHz. Su uso está pensado para enlaces radioeléctricos troposféricos sobre trayectos terrestres, marítimos y/o mixtos (terrestre-marítimo), cuyas longitudes se encuentren entre 1-1.000 km, para alturas de antena de transmisión efectivas menores de 3.000 m. El método se basa en la interpolación/extrapolación de curvas de intensidad de campo deducidas empíricamente, en función de la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo. El procedimiento de cálculo incluye además una serie de factores de corrección para los resultados obtenidos mediante este procedimiento de interpolación/extrapolación, que toman en cuenta además las posibles obstrucciones en el despejamiento del terreno y efectos de clutter en el terminal.

Los resultados obtenidos con el método convergen con los del modelo de Okumura-Hata, en la zona en que los rangos de aplicación de ambos se superponen.

El modelo es válido para:

$f = 30$ a 3.000 MHz

$h_1 = 3.000$ m

$h_2 > 1$ (terrestre), > 3 m (marino)

$d = 1$ a 1.000 km

Para el cálculo se deben tener los siguientes datos: frecuencia, distancia, altura de la antena transmisora/estación base, altura de la antena receptora/móvil, porcentaje de tiempo (T%). (se calcula la intensidad de campo excedida para este porcentaje de tiempo), porcentaje de ubicaciones (L%) (se calcula la intensidad de campo excedida en este porcentaje de ubicaciones), datos del terreno, tipos de área presentes a lo largo del trayecto: terrestre, marítima (sobre mar frío o mar cálido). El cálculo requiere información detallada sobre la altitud del terreno. En caso de que se fuera a usar la corrección por clutter en el receptor, deben identificarse las áreas urbanas y suburbanas presentes en el trayecto.

Para los cálculos se requieren las curvas de intensidad de campo para diferentes condiciones de distancia, de frecuencia, de tiempo (%) y el tipo de área.

Si el trayecto comprende secciones mixtas, por ejemplo terrestres y marítimas, se debe aplicar un procedimiento especial para este tipo de trayectos.

Si la frecuencia de interés es diferente a cualquiera de los valores normalizados, se utiliza un procedimiento de interpolación/extrapolación.

Si el porcentaje de tiempo es diferente a los valores normalizados, se proporciona un método de interpolación para calcular la intensidad de campo para cualquier porcentaje de tiempo comprendido entre 1% y 50%. Es importante destacar que no se permite ningún proceso de extrapolación para obtener valores fuera de este rango.

Todos los procedimientos expuestos en párrafos anteriores, tienen en común el uso de curvas para obtener valores mediante interpolación/extrapolación. A partir de aquí, se aplican una serie de factores de corrección.

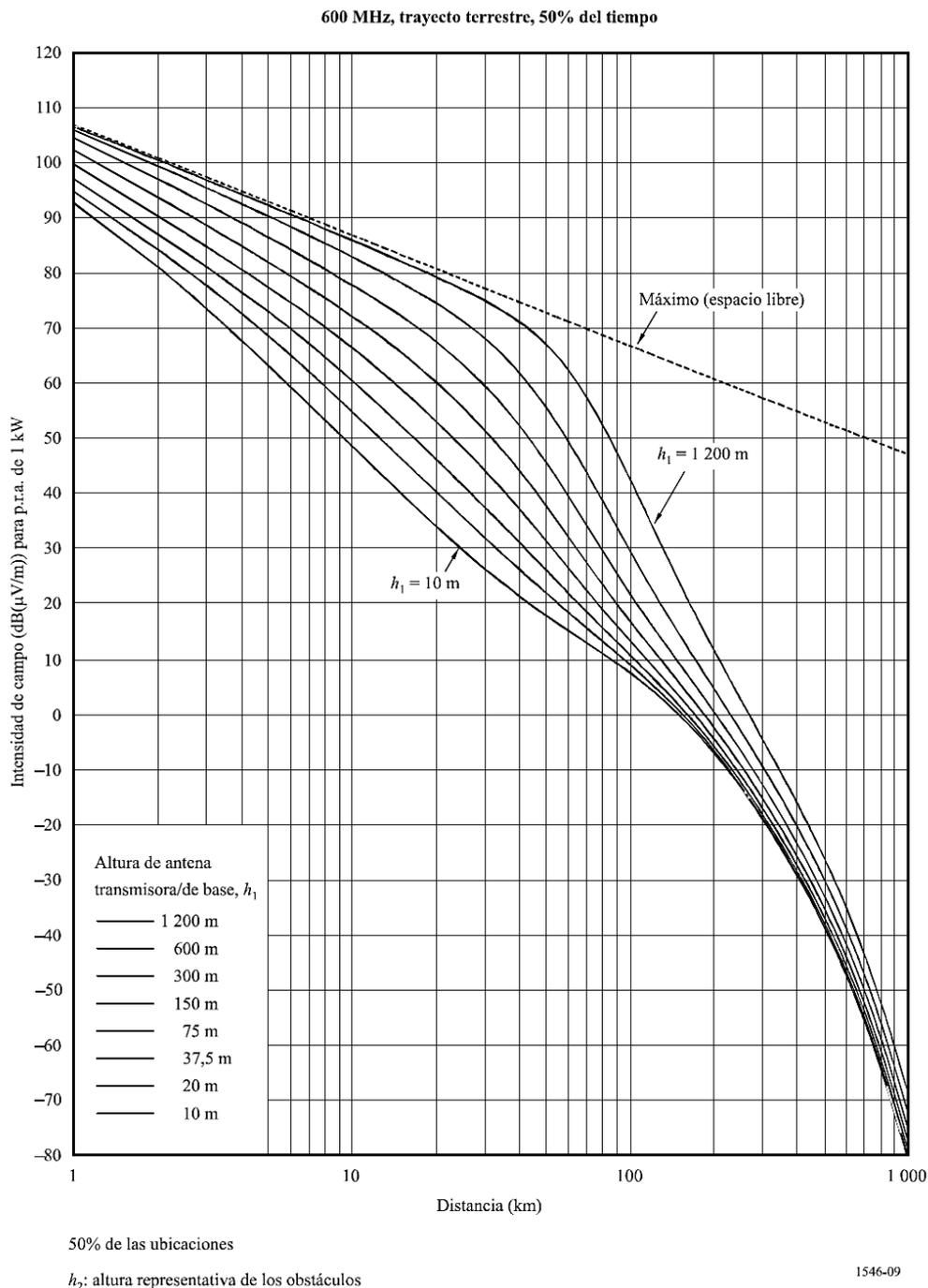


Figura 5.7.- Curvas de valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 500 m por 500 m durante el 50% del tiempo para trayectos terrestres (UIT-R P.1546-5) [9].

En caso de existir disponibilidad de información local sobre el terreno situado alrededor de la antena del receptor/móvil, puede calcularse un ángulo de despejamiento del terreno (*terrain clearance angle*) y emplearlo para tomar en cuenta la difracción de la señal en obstáculos que se encuentren en sus cercanías.

Se provee además un método detallado para calcular la intensidad de campo debido a *scattering* troposférico, dado que los métodos previamente descritos podrían no tomar en cuenta en su totalidad el efecto de este mecanismo de propagación. En caso de que este nuevo cálculo produjera como resultado un valor superior al calculado previamente, debe usarse el mayor.

La variabilidad en localizaciones se modela mediante una distribución normal, cuyo valor medio es el valor de la intensidad de campo calculada en los pasos previos.

5.3.3 Rec. UIT-R P.1812

Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 30 MHz a 3 GHz. Empleado en entornos rurales y mixtos para todos los servicios radioeléctricos, y especialmente radiodifusión, siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

La Recomendación UIT-R P.1812 [28] presenta un método de predicción de la propagación adaptado a servicios terrenales punto a zona en la gama de frecuencias comprendida entre 30 MHz y 3 GHz, cuyo fin es evaluar detalladamente los niveles de señal rebasados durante un porcentaje de tiempo, $p\%$, donde $1\% \leq p \leq 50\%$, y en un porcentaje dado de ubicaciones, p_L , donde $1\% \leq p_L \leq 99\%$. El método proporciona un análisis detallado basado en el perfil del terreno. Por consiguiente, este método se puede utilizar para predecir tanto el área de servicio y la disponibilidad para un nivel de señal deseado (cobertura), como la reducción dentro esta área y de la disponibilidad ocasionada por señales no deseadas, cocanal y/o de canal adyacente (interferencia).

El método es adecuado para realizar predicciones en sistemas de radiocomunicaciones que emplean circuitos terrenales con trayectos que van desde 0,25 km hasta unos 3.000 km de longitud, con los dos terminales ubicados a una altura de hasta unos 3 km sobre el suelo.

El modelo es válido para entornos rurales y mixtos

$f = 30 \text{ MHz a } 3 \text{ GHz}$

$h_1 \leq 3 \text{ km}$

$h_2 \leq 3 \text{ km}$

$d = 0,25 \text{ a } 3.000 \text{ km}$

El método se describe primero en términos del cálculo de las pérdidas de transmisión básicas (dB) que no se rebasan durante un $p\%$ del tiempo para el valor mediano de las ubicaciones. Posteriormente, la variabilidad con la ubicación y los elementos de pérdidas debidas a la penetración en edificios se caracterizan estadísticamente con respecto a la ubicación del receptor. Se asume la disponibilidad de perfiles detallados del terreno, extraídos usualmente de una base de datos digital de las elevaciones del terreno. Si no se dispone de estos perfiles, se debería utilizar la Rec. UIT-R P.1546 para realizar las predicciones.

Para realizar el cálculo se requieren los siguientes datos: frecuencia f , porcentaje del año medio (p) en que se rebasa el nivel de señal calculado, porcentaje de ubicaciones (p_L) para las que se rebasa el nivel de señal calculado, coordenadas geográficas de ambos terminales (transmisor y receptor) y alturas del centro de la antena sobre el nivel del suelo, ganancias de las antenas transmisora y receptora en la dirección del horizonte, a lo largo del trayecto de círculo máximo para ambos terminales, tipo de terreno: tierra costera, tierra interior o mar, distancias de los terminales a la costa. Datos radiometeorológicos como el gradiente medio del índice de refracción radioeléctrica a lo largo del primer km más bajo de la atmósfera, el porcentaje de tiempo en el que pueden esperarse, en los primeros 100 m de la baja atmósfera, unos valores del gradiente del índice de refracción superiores a 100 unidades N/km, refractividad de la superficie a nivel del mar. Se usa para estimar la incidencia relativa de la propagación anómala (propagación por conductos y reflexión/refracción en capas) que puede ocurrir en la latitud considerada.

Tabla 5.1. Datos básicos de entrada (ITU-R P.1812-4) [28].

Parámetro	Unidades	Mínimo	Máximo	Descripción
f	GHz	0,03	3,0	Frecuencia (GHz)
p	%	1,0	50,0	Porcentaje medio anual en que se rebasa el nivel de señal calculado
p_L	%	1	99	Porcentaje de ubicaciones para las que se rebasa el nivel de señal calculado
φ_t, φ_r	grados	-80	+80	Latitud del transmisor, receptor
ψ_t, ψ_r	grados	-180,0	180,0	Longitud del transmisor, receptor (positiva = al Este de Greenwich)
h_{tg}, h_{rg}	m	1	3 000	Altura del centro de la antena sobre el nivel del suelo
Polarización				Polarización de la señal, por ejemplo, vertical u horizontal
w_s	m	1	100	Ancho de la calle. Debe usarse el valor de 27, salvo que se disponga de valores locales específicos

En la tabla 5.1 se pueden observar los datos básicos de entrada contemplados en la ITU-R P.1812-4. A partir de este conjunto inicial de datos, se calculan una serie de parámetros secundarios relacionados con el radio efectivo de la Tierra y el efecto de la propagación por conductos, así como otros obtenidos a partir del análisis del perfil del trayecto.

El método de predicción de la propagación considera los siguientes elementos: visibilidad directa, difracción (abarca tierra lisa, terreno irregular y subtrayectos), dispersión troposférica, propagación anómala (propagación por conductos y reflexión/refracción en capas), variación de la ganancia con la altura debida a la ocupación del suelo, variabilidad con la ubicación, pérdidas debidas a la penetración en edificios

La descripción detallada de los cálculos se encuentra en la Recomendación UIT-R P.1812 (debido a su extensión no los describimos en este documento).

5.3.4 Rec. UIT-R P.526

Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

La Recomendación UIT-R P.526 [29] presenta varios modelos que evalúan el efecto de la difracción en la intensidad de campo recibida. Los modelos se aplican a diferentes tipos de obstáculos y a diversas geometrías de trayecto.

Dependiendo del tamaño de las irregularidades del terreno, pueden distinguirse tres tipos de terreno:

a) Terreno liso: la superficie de la Tierra puede considerarse lisa si las irregularidades del terreno son del orden de $0,1R$ o inferiores a ese valor, donde R corresponde al máximo valor del radio de la primera zona de Fresnel en el trayecto de propagación. En este caso, el modelo de predicción se basa en la difracción sobre Tierra esférica.

b) Obstáculos aislados: el perfil del terreno del trayecto de propagación está compuesto de uno o más obstáculos aislados. En este caso, dependiendo del número de obstáculos y de la idealización utilizada para caracterizar los mismos, deben utilizarse los modelos de predicción descritos en [29].

c) Terreno ondulante: El perfil está compuesto de varias colinas pequeñas, ninguna de las cuales representa un obstáculo mayor. En esta gama de frecuencias, la Rec. UIT R P.1546 es la más adecuada para predecir la intensidad de campo pero no sirve como método de propagación por difracción.

Difracción sobre una Tierra esférica: el cálculo depende del tipo de trayecto, su distancia, la frecuencia y las características eléctricas de la superficie de la Tierra.

- Obstáculos aislados, en el cual se presentan diferentes tipos:
- Obstáculo único en arista en filo de cuchillo: en este caso extremadamente idealizado, todos los parámetros geométricos se pueden agrupar en un solo parámetro adimensional que puede tomar distintas formas equivalentes.
- Obstáculo único de forma redondeada: al obstáculo se lo puede representar como un sector circular de radio R . La pérdida por difracción de esta geometría puede calcularse mediante una expresión sencilla.
- Dos aristas aisladas: un primer método consiste en aplicar sucesivamente la teoría de la difracción en arista de filo de cuchillo a los dos obstáculos; la parte superior del primer obstáculo actúa como fuente de difracción sobre el segundo. El primer trayecto de difracción produce una pérdida L_1 (dB) y el segundo trayecto de difracción produce una pérdida L_2 (dB). Adicionalmente se debe añadir un término de corrección L_c (dB) para tener en cuenta la separación entre las dos aristas.

- Cilindros en cascada: para calcular la pérdida por difracción sobre obstáculos múltiples, el método parte del supuesto de que cada obstáculo puede representarse mediante un cilindro cuyo radio es igual al radio de curvatura de la parte superior del obstáculo; este método es el que conviene utilizar cuando se dispone del perfil vertical detallado de la cumbre. Las pérdidas por difracción para el trayecto se calculan como la suma de tres términos: la suma de las pérdidas por difracción en los cilindros, la suma de la difracción del subtrayecto entre cilindros (y entre cilindros y terminales adyacentes) y un término de corrección.
- Aristas en filo de cuchillo en cascada: este método se basa en el método Deygout limitado a un máximo de tres aristas. La arista principal en el trayecto define a su vez dos subtrayectos, con aristas dominantes. El exceso de pérdida por difracción en el trayecto se puede calcular por una expresión relacionada con la arista dominante y las otras dos.

5.3.5 COST 231

Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 800 MHz a 2 GHz. Recomendado para entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha. Requiere cartografía urbana con información de edificios.

El modelo COST 231 [30] [31] es un modelo semi-empírico de predicción de las pérdidas en un trayecto, resultado de la combinación de los modelos Walfisch-Bertoni [32] e Ikegami [33]. Es recomendado para macro-células en escenarios urbanos y suburbanos, con buenos resultados de las pérdidas en el trayecto para antenas transmisoras situadas por encima de la altura media de los tejados. Sin embargo, el error en las predicciones aumenta considerablemente a medida que la altura del transmisor se acerca a la altura de los tejados, llegando a tener un rendimiento muy pobre para transmisores situados por debajo de ese nivel.

Respecto a modelos precedentes como Okumura-Hata, el modelo COST 231 incluye una serie de parámetros adicionales al proceso de cálculo, además de ampliar el rango de frecuencias en el cual puede usarse (800 – 2.000 MHz). El modelo realiza un cálculo más detallado de la atenuación, basándose en cuatro parámetros adicionales:

- Altura de los edificios.
- Ancho de las calles.
- Separación entre edificios.
- Orientación de la calle respecto a la dirección de propagación.

La pérdida básica de propagación, L_b , es calculada como la suma de tres componentes: la pérdida de propagación en condiciones de espacio libre; la pérdida por difracción del tejado a la calle producida en el interior de la calle en la que se encuentra el receptor como resultado de la difracción en el tejado adyacente a éste y la pérdida por difracción multipantalla producida por múltiples difracciones en los

tejados de los edificios situados a lo largo del trayecto. El modelo distingue además casos LOS y NLOS.

En general, las restricciones para el modelo son las siguientes:

$$f = 800 - 2000 \text{ MHz}$$

$$h_b = 4 - 50 \text{ m (altura de transmisor)}$$

$$h_m = 1 - 3 \text{ m (altura de receptor)}$$

$$d = 0.02 - 50 \text{ km (distancia entre transmisor y receptor)}$$

$$\Delta h_b > 0 \text{ m (altura relativa del transmisor respecto a los edificios)}$$

a) Para escenarios LOS, la pérdida de propagación considera únicamente la pérdida en espacio libre, $L_b = L_{0(LOS)}$ dónde:

$$L_{0(LOS)} = 42,6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (5.12)$$

donde d es expresada en km y f en MHz

b) El trayecto NLOS típico descrito en el modelo COST 231, se representa en las Figuras 1a y 1b.

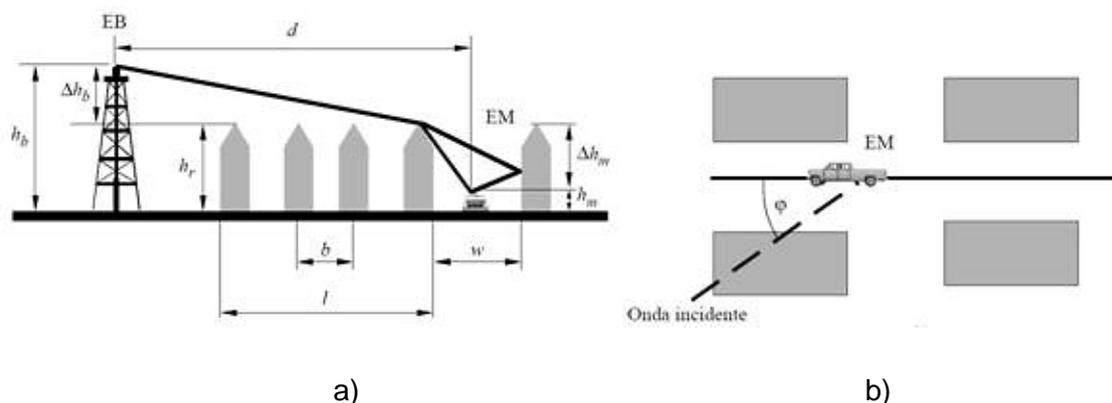


Figura 5.8.- Escenario típico de propagación NLOS utilizado en el modelo COST 231. a) vista de perfil. b) vista superior (Xirio-Online) [15].

Los parámetros definidos en el modelo COST 231 son los siguientes:

- h_r = altura media de los edificios (m)
- w = anchura de la calle (m)
- b = separación media entre edificios (m)
- φ = ángulo formado por la dirección de propagación y el eje la calle (grados)
- h_b = altura de la antena de la estación base (m)
- h_m = altura de la antena del dispositivo móvil (m)
- $\Delta h_m = h_r - h_m$ (m)
- $\Delta h_b = h_b - h_r$ (m)
- l = distancia total entre el primer y el último edificio del trayecto (m)
- d = distancia entre estación base y dispositivo móvil (km)

- f = frecuencia (MHz)

La pérdida básica de propagación para el escenario NLOS viene dada por:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & \text{para } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & \text{para } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (5.13)$$

La pérdida de propagación en condiciones de espacio libre, L_0 , se obtiene según la expresión:

$$L_0 = 32,4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (5.14)$$

El término L_{rts} tiene en cuenta la anchura de la calle y su orientación con respecto a la dirección de propagación del rayo. Su definición está basada en los principios de difracción tejado-calle dados por el modelo de Ikegami [33]. La expresión para el cálculo de L_{rts} es aceptada por la Rec. UIT-R P.1411 [39] y viene dada por:

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_m) + L_{ori} \quad (5.15)$$

El término L_{ori} es un factor de corrección que cuantifica las pérdidas debido a la orientación de la calle. En caso de que el valor de $L_{rts} < 0$, se debe considerar $L_{rts} = 0$.

La pérdida por difracción multipantalla, L_{msd} , es función de la frecuencia, la distancia entre el dispositivo móvil y la estación base, además de la altura de ésta y la de los edificios. Al igual que L_{rts} , en caso de que L_{msd} sea negativo, se considera $L_{msd} = 0$. Su valor se calcula mediante la expresión:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f) - 9 \log(b) \quad (5.16)$$

L_{bsh} es un término que depende de la altura de la estación base. El término k_a presenta el incremento de la pérdida en el trayecto para el caso de estaciones bases ubicadas por debajo de la altura media de los edificios. Los términos k_d y k_f controlan la dependencia de L_{msd} respecto a la distancia y a la frecuencia, respectivamente.

5.4 Comentarios y Discusiones

En el presente capítulo se analiza el fenómeno de propagación de ondas electromagnéticas de radio. Los modelos de propagación son herramientas útiles para evaluar las pérdidas de propagación. Se describen varios modelos de propagación que se adecúan a diferentes características del entorno geográfico y tipo de red TDT a implementar. Se analizan los modelos Okumura-Hata, la Rec. UIT-R P.1546, la Rec. UIT-R P.1812, la Rec. UIT-R P.526 y el COST 231.

La elección del modelo de propagación adecuado para evaluar la cobertura debe llevarse a cabo tomando en cuenta el escenario de despliegue, la información cartográfica disponible y el perfil del terreno del área bajo estudio.

La Rec. UIT-R P.1812 presenta un método determinístico en la gama de 30 MHz a 3 GHz para entornos rurales y mixtos, con la limitación de disponer de cartografía de media o alta resolución. Por otra parte, la Rec. UIT-R P.1546 describe un método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz, válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa o a distancias superiores a los 100 km. Considerando el entorno de las ciudades de Corrientes y Resistencia, y la cartografía disponible, resulta en un método a-priori adecuado para la estimación de la cobertura.

CAPÍTULO VI

6 - REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN) Y REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE (MFN)

6.1 Introducción

La red TDT es un servicio de *broadcasting* de contenido audiovisual, con posibilidades de interactividad, considerado como una transmisión punto a multipunto o también punto a multizona [8]. Su objetivo principal es lograr la cobertura en un área geográfica de interés, con la calidad de señal establecida por la normativa correspondiente. Los fundamentos de planificación de los servicios audiovisuales e interactivos proporcionados por la TDT incluyen una extensa cantidad de variables de entorno y parámetros técnicos, dando en consecuencia una mayor complejidad que un sistema de TV analógico.

Las redes de frecuencia múltiple (MFN) utilizan varios transmisores de diferentes frecuencias para cubrir un área geográfica determinada que no puede ser cubierta adecuadamente con un solo transmisor. En general el número de frecuencias utilizadas en la red MFN es igual al número de transmisores. Las redes MFN utilizadas ampliamente en sistemas radioeléctricos de TV analógica, también podrían aplicarse a la TDT de manera similar. Sin embargo las características técnicas de funcionamiento de un sistema de TDT, hacen más adecuada la implementación de redes del tipo SFN. Las redes SFN utilizan una sola frecuencia para toda la red y son más eficientes y económicas desde el punto de vista del espectro radioeléctrico [8].

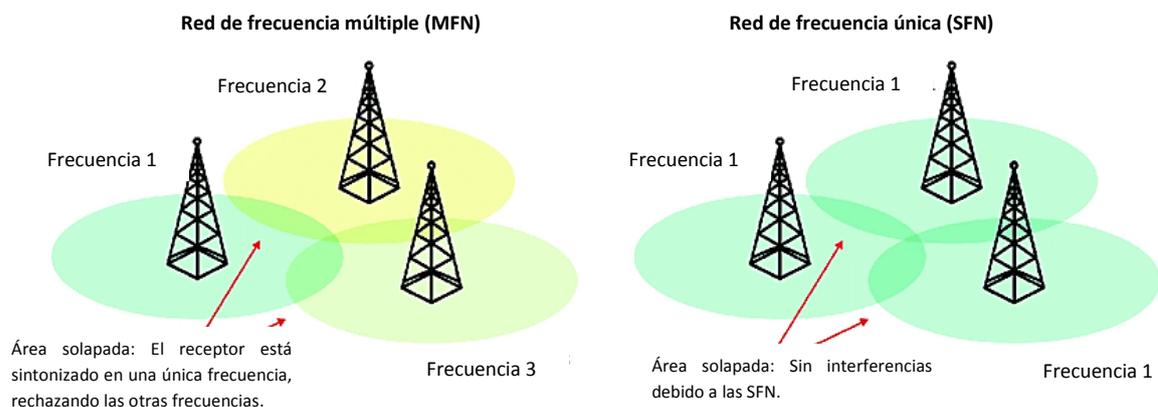


Figura 6.1.- Áreas de cobertura de una red MFN y SFN [40].

Las redes SFN de TDT son posibles gracias a la naturaleza digital de la señal. La señal de la TDT, y especialmente bajo la norma ISDB-T, admite diferentes procesamientos digitales de una variedad de parámetros. Se logra mejorar la eficacia del sistema, permitiendo así lograr una adecuada cobertura de un área geográfica muy amplia utilizando varios transmisores sincronizados operando en la misma frecuencia.

De esta manera se logra que una red SFN utilice menores potencias de emisión, un ahorro del espectro radioeléctrico y mejorar los niveles de calidad de la señal en el área de cobertura [8]. La figura 6.1 ilustra las diferentes coberturas de una red MFN y SFN.

6.2 Redes SFN

La característica principal de una red SFN es la posibilidad de transmitir el mismo programa con transmisores que operan en la misma frecuencia en áreas con coberturas superpuestas. La utilización de múltiples transmisores en la misma frecuencia implica cubrir grandes regiones geográficas con un significativo ahorro de espectro radioeléctrico, simplificando la tarea de planificación de un sistema TDT en una región [8].

La utilización racional del espectro radioeléctrico permite implantar un mayor número de redes de televisión digital terrenal en un área o región geográfica. Por otra parte en una red SFN la señal recibida, en general, proviene de varias componentes mutitrayecto (reflexión, difracción, etc.) y de más de un transmisor. Las variaciones de intensidad individuales debido a cada transmisor se puedan compensar por el adecuado procesamiento de las otras componentes recibidas. Este efecto, conocido como ganancia de red, permite utilizar transmisores de menor potencia en una red SFN que en una red convencional para una cobertura determinada.

Sin embargo, las redes SFN tienen el inconveniente de que si el retardo entre dos señales de transmisores cercanos (adyacentes) que llegan a un receptor supera el valor de intervalo de guarda hay Interferencia Entre Símbolos (Inter Symbol Interference, ISI). Esto limita la distancia máxima entre transmisores adyacentes.

Los receptores no solo reciben la señal directa, también llegan a la antena réplicas de la señal original o "ecos" con un cierto tiempo de retardo. En consecuencia la porción inicial de cada nuevo símbolo OFDM transmitido, bajo ciertas condiciones, corre el riesgo de ser degradada por el final del símbolo que le antecede. Para evitar este efecto, se inserta un intervalo de guarda T_G ($T_G < t_r$) al comienzo de cada símbolo OFDM que contiene la parte final del símbolo. En el receptor, en este período de tiempo ocurre una mezcla entre el símbolo actual (señal directa) y las réplicas retardadas del símbolo OFDM previo. La inclusión del intervalo de guarda resulta un elemento clave para posibilitar el correcto funcionamiento de las redes SFN. Es conveniente enfatizar que el valor de t_r que deberá tomarse en cuenta para dimensionar el sistema es el del peor caso y corresponde al objeto reflectante ubicado a mayor distancia de la emisora o al retardo de la antena adyacente considerada [40].

La parte final del símbolo se repite en el intervalo de guarda que lo precede. Todos los componentes de la señal que están presentes más de una vez dentro del período de tiempo libre de ISI podrán ser detectados fácilmente, por medio de la función de autocorrelación del receptor. La función de autocorrelación permite localizar el comienzo y el final de la zona libre de ISI dentro de cada símbolo, permitiendo el

correcto posicionamiento de la ventana de muestreo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

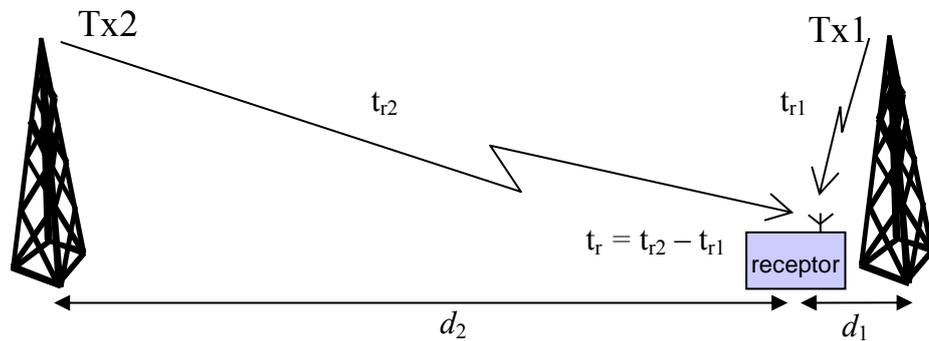


Figura 6.2.- Señales directa y retardada en el receptor en una red SFN (Elaboración propia) [26].

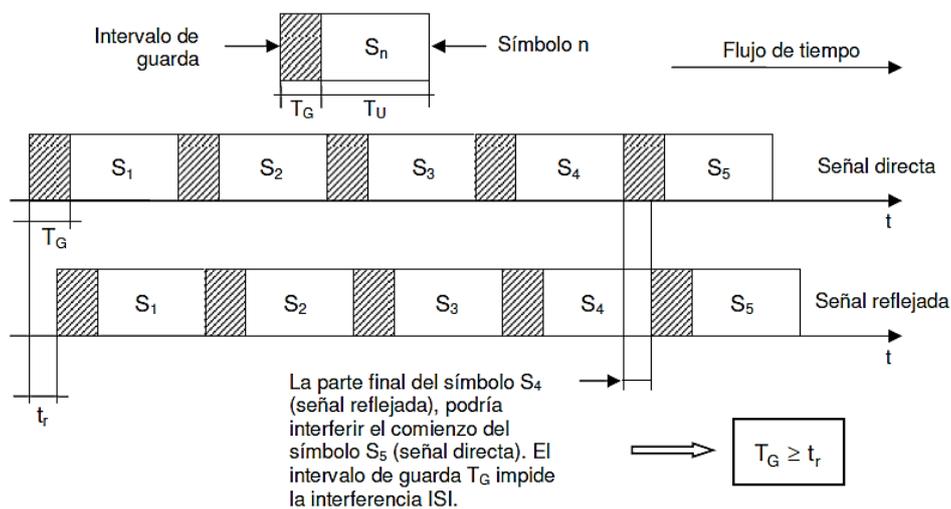


Figura 6.3.- Posición en el tiempo del intervalo de guarda en la señal directa y retardada (Pisciotta, N. O. y otros) [8].

La distancia máxima permitida entre transmisores (d) de una red SFN viene dada por:

$$d = c \times \Delta \times T_U \quad (6.1)$$

donde

c = velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \times 10^8$ m/s

Δ = intervalo de guarda normalizado

T_U = tiempo útil de símbolo

El peor caso corresponde a $d_1 = 0$ y $d_2 = d$, de forma que d es la distancia entre los transmisores Tx2 - Tx1 (figura 6.2).

En la figura 6.3 se puede observar la posición en el tiempo del intervalo de guarda en la señal directa y retardada donde el retardo $t_r = t_{r2} - t_{r1}$ (figura 6.2).

En una red SFN es imprescindible una perfecta sincronización de red de tres parámetros fundamentales: frecuencia, tiempo y bits [41].

- Sincronización en frecuencia: en una red SFN, cada una de las portadoras de la señal OFDM debe ser de la misma frecuencia en todos los transmisores de la red. El sistema más utilizado y adecuado para satisfacer los requisitos de sincronización de toda la red es el sistema GPS (*Global Positioning Satellite*), proporcionando una frecuencia de referencia estable para todos los transmisores.
- Sincronización temporal: para una contribución positiva de los ecos recibidos dentro del intervalo de guarda de la modulación OFDM, es imprescindible la sincronización a nivel temporal de los transmisores. Todos los transmisores deben emitir el mismo símbolo en el mismo instante de tiempo. Sin embargo no es necesario una precisión muy alta debido a la presencia del intervalo de guarda. El intervalo de guarda tiene como objetivo principal recibir los ecos de la propagación multitrayectoria. Una precisión de $\pm 1 \mu\text{s}$ es suficiente. Para realizar la sincronización temporal se utiliza una señal de referencia temporal consistente en un pulso por segundo la cual se puede obtener del sistema GPS.
- Sincronización de bit: para emitir el mismo símbolo en el mismo instante de tiempo, una portadora k -ésima debe ser modulada con los mismos bits en todos los transmisores. Esto significa que se debe utilizar la misma relación de codificación convolucional y el mismo esquema de modulación. Se debe emplear el mismo modo e intervalo de guarda. Se debe utilizar el mismo canal virtual dentro del canal radioeléctrico asignado.
- Sincronización de la red: para la sincronización de los diferentes centros transmisores que constituyen la red de difusión se utilizan sistemas GPS y unidades de suministro de sincronización (*Synchronization Supply Unit*, SSU).

En la cobertura de una red SFN pueden presentarse zonas de silencio ocasionadas por un obstáculo (por ejemplo un edificio de gran altura). Estas zonas pueden ser cubiertas con la instalación de repetidoras o *Gap Filler*, el cual retransmite la señal que recibe del transmisor principal [41]. La potencia del *Gap Filler* es reducida para evitar posibles realimentaciones; sin embargo las antenas de transmisión y recepción deben estar físicamente separadas y colocadas de manera tal de lograr el mayor desacoplamiento posible. Se utilizan además circuitos canceladores de ecos.

Para transmisores TDT en redes SFN que no son adyacentes, es evidente que el retardo puede ser mayor que el intervalo de guarda en el peor caso. Sin embargo, las pérdidas de propagación del transmisor más alejado en general serán muy elevadas y dicha contribución directa apenas producirá ISI. A no ser en casos particulares que por diferentes condiciones de propagación (mar, río muy caudaloso, lagos) la contribución del transmisor alejado se vea favorecida.

En la planificación de las redes SFN se adoptan algunos criterios para la selección del intervalo de guarda. Para ello es necesario considerar que servicios debe prestar la red, por ejemplo fijo o móvil, o ambos servicios. En los comienzos de la TDT bajo la norma DVB-T se adoptó el Modo 2K, equivalente al Modo 1 de ISDB-Tb, para la recepción móvil debido a la mayor separación de portadoras y su mayor inmunidad al efecto Doppler. Dado que la duración útil de símbolo T_U es la inversa de la separación entre las portadoras, el Modo 1 arroja un período útil muy pequeño y por lo tanto un intervalo de guarda de valor limitado. Esto se traduce en una menor distancia entre transmisores encareciendo la red SFN. A fin de mejorar este aspecto, se definieron el Modo 2 y el Modo 3 en ISDB-Tb. En la mayoría de los casos se adopta el Modo 3 con un funcionamiento adecuado del sistema [8].

En las redes SFN se maneja una regla práctica en base a magnitudes comparables, por ejemplo, la onda electromagnética recorre una distancia de 90 km cada 300 μ s, relación muy útil para trabajar con los intervalos de guarda. Es importante tener en cuenta en la planificación que si la intensidad de los ecos es elevada y deteriora la relación C/I, producirá una interferencia importante.

A modo de ejemplo, se puntualizan los parámetros de funcionamiento de la red SFN de la TDA.

- Modo 3, intervalo de guarda = 1/4
- Capa A (one-seg): $K_1 = 2/3$; modulación QPSK
- Capa B: $K_1 = 2/3$, modulación 64-QAM

Para estos parámetros, en la red TDA el valor teórico de la máxima separación entre transmisores adyacentes será:

$$d = c \times \Delta \times T_U = 3 \times 10^8 \times \frac{1}{4} \times 1008 \times 10^{-6} = 75.600 \text{ m} = 75,6 \text{ km}$$

6.2.1 Retardos de tiempo y sincronización

Existen varios requisitos que deben cumplirse para la sincronización de todos los transmisores de una red SFN y lograr que se transmitan los mismos bits de manera sincronizada y en la misma frecuencia.

En la figura 6.4 se puede apreciar los diferentes retardos típicos en cada etapa de un sistema de transmisión ISDB-Tb.

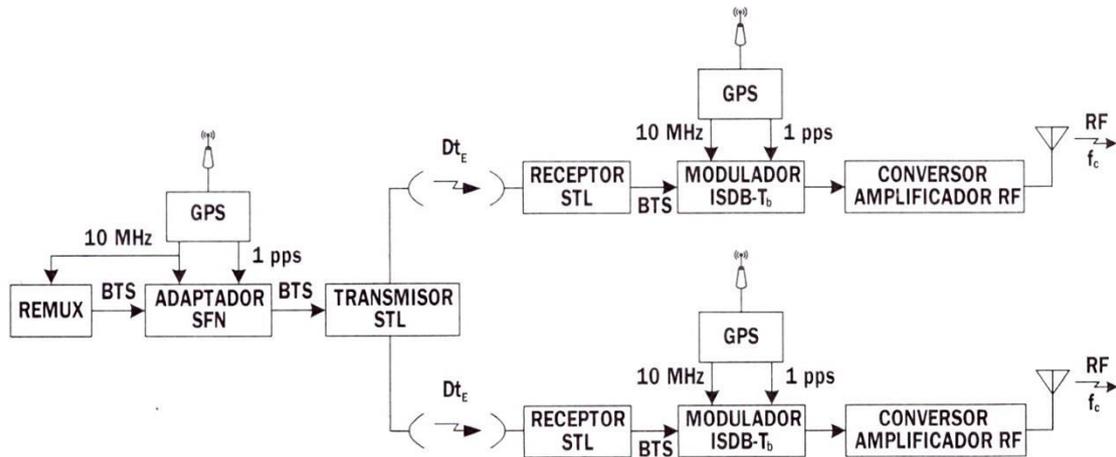


Figura 6.6.- Compensación dinámica de retardo (Pisciotta, N. O. y otros) [8].

Las referencias de tiempo y frecuencias necesarias para la sincronización de los transmisores se toman desde los receptores GPS. Es muy importante el funcionamiento ininterrumpido del GPS por lo que es habitual disponer de diversidad de espacio y duplicar los receptores.

Un inconveniente a tener en cuenta es la dependencia de las modificaciones de funcionamiento o disponibilidad del servicio de GPS que los propietarios de los satélites y operadores puedan realizar.

El STS (*Synchronization Time Stamp*, Referencia de Tiempo de Sincronización) es el valor de referencia que permite calcular el ajuste del retardo. El STS es el tiempo entre el flanco ascendente del pulso de la señal de 1 pps entregada por el GPS y el bit de señalización del TSP de cabecera del cuadro multiplex inmediato sucesivo cuando el bit indicador de sincronismo esté en 0. Le indica a cada modulador de red cuanto tiempo transcurrirá desde la llegada del pulso de 1 pps hasta el próximo cuadro. En cada transmisor se debe cumplir con el siguiente balance de tiempos:

$$Dt_{m\acute{a}x}[\text{seg}] = STS + Dt_E + Dt_{mod} + Dt_{proc} \quad (6.2)$$

donde:

$Dt_{m\acute{a}x}$ = retardo de tiempo máximo de la red

STS = referencia de tiempo de sincronización

Dt_E = retardo de enlace

Dt_{mod} = retardo del modulador

Dt_{proc} = retardo del procesador de la señal OFDM

Por lo tanto el valor de retardo al cual se deberá ajustar el modulador será:

$$Dt_{mod}[\text{seg}] = Dt_{m\acute{a}x} - (STS + Dt_E + Dt_{proc}) \quad (6.3)$$

Los valores obtenidos mediante la (6.2) se calculan de manera dinámica para cada una las estaciones transmisoras componentes de la red SFN.

6.2.4 Sincronización de señales que llegan fuera del intervalo de guarda

En la figura 6.7 se puede observar la situación de dos ciudades (Ciudad #1 y Ciudad #2) a las cuales llegan las señales provenientes de dos transmisores (TX 1 y TX 2) que integran una red SFN de un sistema TDT bajo la norma ISDB-Tb. El tiempo de retardo desde el transmisor TX 1 a los receptores RX 1 y RX 2 es menor que el intervalo de guarda T_G fijado en la red SFN. La señal proveniente del transmisor TX 2 llega al receptor RX 2 con un tiempo de retardo menor a T_G pero al receptor RX 1 con un tiempo mayor al T_G .

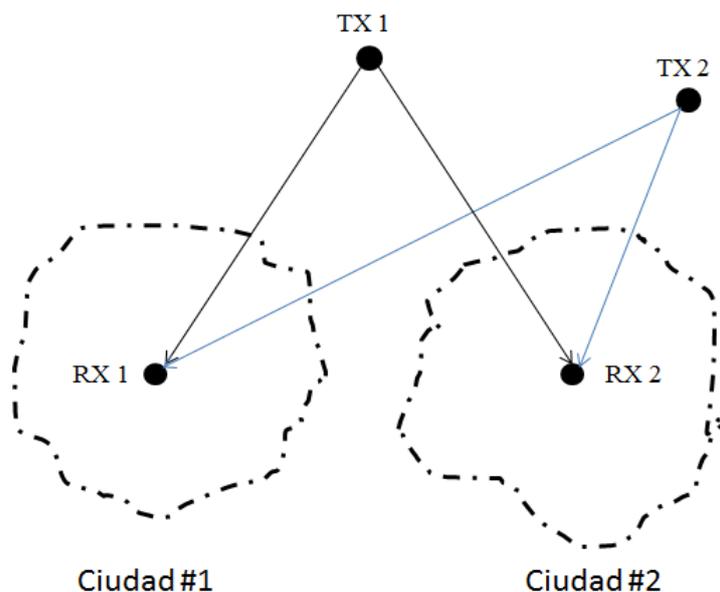


Figura 6.7.- Sincronización de señales provenientes de dos transmisores en una red SFN (Elaboración propia).

Esta situación hará que en el receptor RX 2 de la Ciudad #2 las señales provenientes de los dos transmisores no se interfieran y bajo ciertas condiciones se refuercen generando una “ganancia de red”. Sin embargo en el receptor RX 1 de la Ciudad #1 la señal del transmisor TX 2 interferiría con la proveniente del transmisor TX 1, degradando la señal efectiva en el receptor, impidiendo la normal recepción (o bloqueándola).

Una solución práctica y adecuada que permite el “desplazamiento electromagnético” del transmisor TX 2 hacia el TX 1, reduciendo de esta manera la diferencia de los trayectos, es aplicar convenientemente nuevos retardos. Se puede desplazar electromagnéticamente la “ubicación” del transmisor TX 2 insertando un retraso en TX 1 o un “adelanto” en TX 2, de modo en todos los receptores ambas señales lleguen dentro del intervalo de guarda en las dos ciudades, generando una ganancia de red. Se debe tener en cuenta que el desplazamiento electromagnético en un sentido u otro puede provocar interferencias con otro transmisor de la red. En el proyecto de la red se deben considerar todas las situaciones a fin de lograr la mejor solución.

6.2.5 Ganancia de red

Es de interés lo que ocurre con el solapamiento de las áreas de cobertura de diferentes transmisores que componen una red SFN. Si en las áreas contempladas se cumplen ciertas condiciones las potencias recibidas contribuyen a generar una intensidad de campo mayor que las individuales, generando una "ganancia de red". Por definición la ganancia de una red SFN es el incremento total del nivel de campo electromagnético en los puntos de recepción donde las señales se superponen en comparación con el nivel de un solo transmisor. Es posible lograr ganancias de red del orden de los 9 dB, valor de interés para cubrir área límites.

La ganancia de una red SFN adquiere mayor importancia en la recepción móvil ya que si la señal proviene de un solo transmisor presenta variaciones estadísticas en el tiempo y el espacio. Este desvanecimiento se puede minimizar cuando se utilizan varios transmisores localizados en diferentes sitios, a consecuencia de la diversidad de espacio.

Debido a la ganancia de red SFN los transmisores que la componen pueden operar con potencias más bajas y con una distribución espacial más homogénea que una red del tipo MFN. Si por alguna razón alguno de los transmisores deja de funcionar el nivel de intensidad de campo promedio no se ve muy afectado.

En la figura 6.8 se puede observar la ganancia de red de dos transmisores simétricos en función a la distancia a cada uno de ellos.

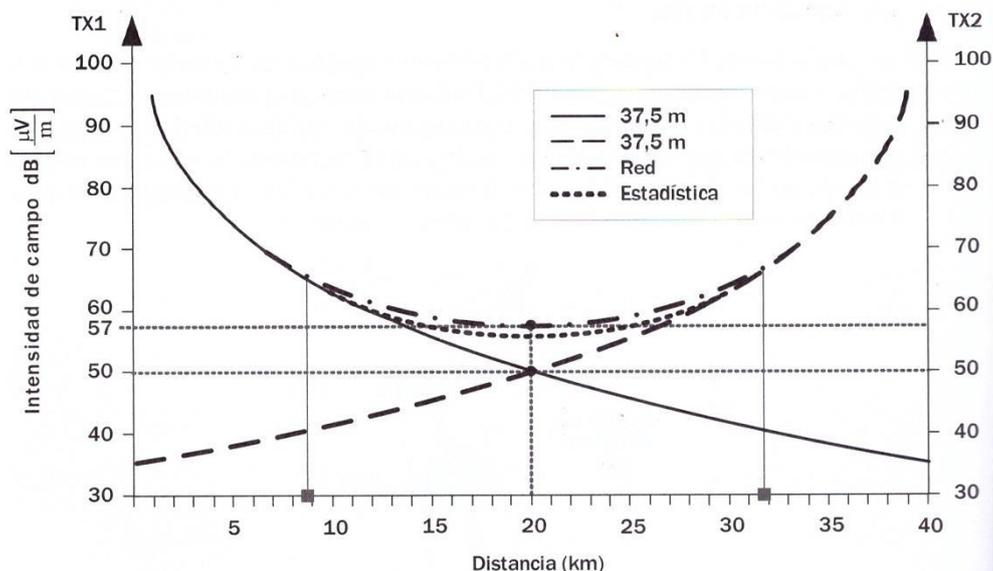


Figura 6.8.- Ganancia de red SFN de dos transmisores simétricos (Pisciotta, N. O. y otros) [8].

La intensidad de las señales en el sitio de recepción tiene importancia especialmente en receptores móviles con antenas omnidireccionales. En este caso la ganancia de red se hace más acentuada que en el caso de antenas fijas direccionales; pero también

hay otros factores que podrían atenuarla provocando una disminución por debajo de la relación portadora a ruido (*Carrier to Noise Ratio*, CNR). Se ha demostrado que cuando las dos señales tienen niveles similares los mínimos del espectro resultante en un punto son muy pronunciados, no alcanzando en algunos casos la relación CNR mínima, transformándose en una interferencia de red. En general será necesario disminuir la potencia de uno de los transmisores para tratar de atenuar los mínimos y mantener así la relación CNR en valores adecuados, ahorrando además potencia en la red.

También resulta de interés analizar la relación entre señales deseadas a señales no deseadas (*Desired to Undesired Ratio*, DUR). La DUR expresa la relación existente entre la señal de una red SFN que debe demodularse y el resto de señales originadas por la misma red que también llegan al receptor. Este parámetro se utiliza fundamentalmente en redes SFN y está contemplado específicamente en las normas ARIB.

6.3 Receptores en redes SFN ISDB-Tb

En las redes SFN de TDT en la planificación y cobertura de las mismas, los transmisores y los receptores se constituyen en una unidad indivisible y los resultados dependen del funcionamiento global del conjunto. El receptor de una red SFN de TDT ISDB-Tb, diseñado para señales OFDM, debe procesar adecuadamente las interferencias provocadas por los ecos de la misma red, las que presentan una complejidad importante. Los parámetros asociados al ruido, la detección de la señal OFDM y la sincronización son relevantes en el funcionamiento del receptor ISDB-T y en la estimación del área de cobertura efectiva.

El ruido proporcional a la amplitud (*Amplitude Proportional Noise*, APN) depende fuertemente del nivel de la señal tal como el ruido de cuantificación de los conversores A/D, el ruido de recorte (*clipping*) y el ruido de fluctuación de fase (*phase jitter*). Este tipo de ruido adquiere importancia al determinar el área de cobertura de una red SFN.

La sincronización secundaria en el receptor es determinante en el proceso de la recuperación de la señal en un sistema ISDB-Tb operando en una red SFN. De este sincronismo depende el momento de apertura de la ventana FFT, la cual tiene una anchura igual a la duración del tiempo útil de símbolo. Debido a la variabilidad de las señales en este tipo de red habrá varias posiciones posibles de la apertura de la ventana FFT. El óptimo posicionamiento de la ventana FFT es de vital importancia en la recepción móvil y portable, ya que el receptor trabaja en un ambiente complejo y continuamente variable, en presencia de muchos ecos.

La sincronización secundaria, en el estándar DVB-T, se puede realizar de acuerdo a uno de los siguientes parámetros: 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) y cuasi óptima.

La sincronización secundaria en el estándar ISDB-Tb es tratada en el Reporte UIT-R BT.2209-1 [42]. Este informe proporciona consideraciones detalladas sobre las características necesarias del receptor bajo las condiciones de una red SFN para el sistema ISDB-T. Introduce nuevos parámetros técnicos en los receptores además de los parámetros de planificación convencionales. Los nuevos parámetros son ruido proporcional de amplitud (APN), margen de configuración de la ventana FFT y filtro de interpolación. Las características globales del receptor se pueden expresar mediante un solo parámetro denominado característica de la máscara del intervalo de guarda, el cual es útil para estimar si la señal se recibe correctamente o no.

El Reporte UIT-R BT.2209-1 proporciona una característica de referencia del receptor para aplicar en la planificación de redes ISDB-T. El método de cálculo para la recepción en SFN y las características del receptor de referencia se han establecido en la ARIB TR-B14, la que se ha aplicado con éxito en la planificación y diseño de redes de radiodifusión en Japón.

Se demuestra que una red SFN no funciona bien incondicionalmente; funciona correctamente solo cuando las señales de recepción se mantienen bajo ciertas condiciones en términos de voltajes de recepción, relaciones DUR, retrasos entre señales principales y SFN.

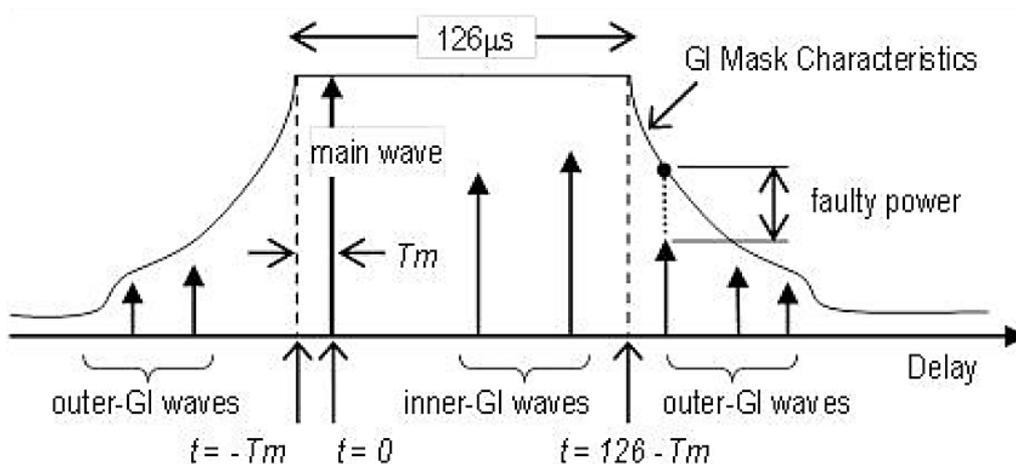


Figura 6.9.- Ajuste óptimo de la ventana FFT (ITU-R BT.2209-1) [42].

En la figura 6.9 se grafica la máscara de ajuste óptimo de la ventana FFT recomendada por la ITU-R BT.2209-1. La gráfica muestra la relación entre las señales de entrada y la posición de la ventana FFT. La curva denominada "características de la máscara GI" es la curva inversa (polaridad opuesta en dB) de la "bathtub" (la cual establece la relación DUR necesaria en función del tiempo de arribo de los ecos para diferentes K_1). Esta curva indica los niveles máximos permitidos de señales retardadas. El receptor ajusta su ventana FFT para que todas las señales retardadas queden por debajo de la máscara. Si una señal retardada excede la máscara el receptor no puede procesar correctamente las señales recibidas [42].

6.4 Conceptos de planificación

La planificación de un sistema o red de TDT es una cuestión de suma importancia debido a que posibilita la instalación de redes que abarquen una gran extensión geográfica y que utilicen una única frecuencia en áreas de servicio solapadas. La metodología de planificación ha cambiado respecto a la planificación empleada en sistemas de TV analógicos.

El método más habitual de planificación de una red de TV analógica es el de *assignment* (asignación), el cual se realiza en un sitio, área o región geográfica en base a determinados parámetros técnicos fijados por el organismo de gestión del espectro, tales como potencia, frecuencia, ganancia y directividad de la antena [8]. En los comienzos cada radiodifusor proponía la ubicación de su planta transmisora y los parámetros técnicos. Posteriormente con el crecimiento e instalación de nuevas emisoras fue necesario crear un sistema de planificación técnica, que además respetara los derechos adquiridos por los primeros radiodifusores.

El empleo de dos o más frecuencias simplifica notablemente la implementación ya que no es necesario ningún tipo de sincronización entre las emisiones de los diferentes transmisores. Sin embargo se hace un uso poco eficiente del espectro radioeléctrico ya que ningún otro radioperador puede hacer uso de las mismas frecuencias dentro del área de cobertura debido al riesgo de interferencia cocanal.

Con la implementación de la TDT se hizo imperativo definir nuevos conceptos a fin de incluir a los entornos geográficos en los que operan varios transmisores en la misma frecuencia, como ocurre en una red SFN. De esta forma nace el concepto de planificación *allotment* generando la liberación de frecuencias (dividendo digital). Sin embargo la utilización de redes SFN origina nuevos tipos de interferencia y sincronización que el planificador debe solucionar [46].

La planificación *allotment* está relacionada con el concepto de *system variant*, entendido como el juego completo de parámetros de configuración del sistema TDT, vinculado a la multiplexación OFDM. El *system variant* está conformado por todas las combinaciones posibles de modo (1, 2, 3), intervalo de guarda (1/4, 1/8, 1/16 y 1/32), esquemas de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM) y la relación de codificación convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8). La elección de un juego particular de *system variant* determina la robustez del sistema y la tasa de transmisión. En la Argentina el *system variant* es definido por el ente regulador [7].

Respecto a las relaciones de protección existen varios criterios fundamentales para el trabajo de planificación. La Recommendation ITU-R BT.1368-12 [13], en su Anexo III, especifica los criterios para la norma ISDB-T. Los criterios adoptados permiten determinar los niveles de intensidad de campo máximo permitido dentro del área de cobertura para los canales adyacentes inferior, superior y co-canal, estimando las posibles interferencias entre servicios analógicos y digitales.

En la tabla 6.1 se observan las relaciones de protección co-canal establecidas para una señal ISDB-T interferida por otra señal ISDB-T, para diferentes esquemas de modulación y relaciones de codificación convolucional.

Tabla 6.1.- Relaciones de protección co-canal (ITU-R BT.1368-12) [13].

K_1	Esquema de modulación		
	QPSK/DPSK	16-QAM	64-QAM
1/2	6 dB	12 dB	17 dB
2/3	8 dB	14 dB	20 dB
3/4	9 dB	15 dB	21 dB
5/6	9 dB	16 dB	22 dB
7/8	10 dB	17 dB	23 dB

En la tabla 6.2 se observan las relaciones de protección con canal adyacente inferior establecidas para una señal ISDB-T interferida por otra señal ISDB-T, para diferentes esquemas de modulación y relaciones de codificación convolucional. De los valores se puede inferir que el sistema es muy robusto ante este tipo de interferencias. A modo de ejemplo en el peor de los casos para 64-QAM y $K_1 = 7/8$ la señal interferente de canal inferior puede tener una potencia de hasta 24 dB superior a la potencia de la señal deseada.

Tabla 6.2.- Relaciones de protección para canal adyacente inferior (ITU-R BT.1368-12) [13].

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

6.5 Suma de campos electromagnéticos

La suma de los campos electromagnéticos en un punto debido a la propagación de señales es de relevante importancia para los cálculos de cobertura e interferencia; por tanto necesaria para la planificación de una red SFN de multiplexión OFDM ISDB-Tb. En este tipo de redes los ecos contribuyen de manera positiva o negativa como interferencias en *allotments* vecinos

Los métodos de suma utilizados son de tipo numérico-estadístico o analíticos-aproximación. Estos métodos necesitan de un gran poder de cálculo para computar una gran cantidad de puntos en el área de cobertura seleccionada. De igual manera para la interferencia. Los métodos más utilizados son LNM (*Log Normal Method*), k-LNM (*corrected LNM*) y t-LNM (*true LNM*), cuyos desarrollos escapan al presente trabajo [8].

El nivel de interferencia co-canal debe ser menor que el especificado para cada caso, calculados utilizando los modelos de canal correspondiente Rice (antenas fijas) o Rayleigh (antenas móviles y portátiles). La interferencia generada por los transmisores de un *allotment* debe ser menor al límite de umbral del *allotment* vecino, del mismo país o de un país limítrofe, por esta razón la planificación de la red TDT SFN ISDB-Tb debe ser una tarea coordinada y conjunta.

6.6 Ahorro de espectro radioeléctrico de una red SFN en comparación de redes MFN

En la figura 6.10 se puede apreciar gráficamente el ahorro espectral que se obtiene al utilizar en una región (o *allotment*) una red SFN en comparación con una red MFN.

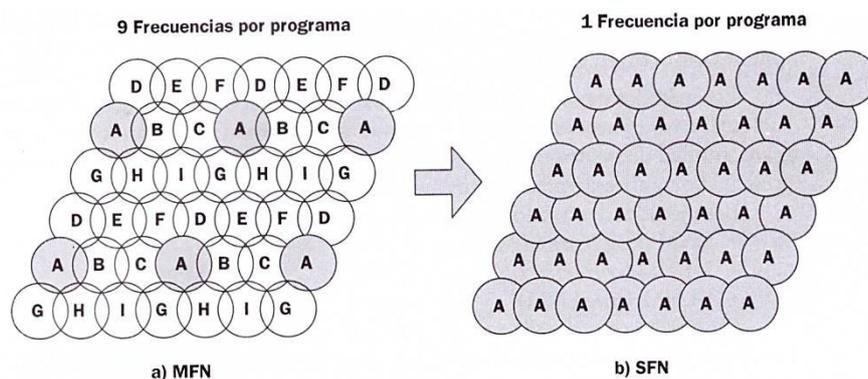


Figura 6.10.- Comparación entre dos *allotment* entre redes SFN y redes MFN (Pisciotta, N. O. y otros) [8].

Se debe tener en cuenta que un canal radioeléctrico de 6 MHz en ISDB-Tb puede transportar varias señales diferentes en formatos variados: Full HD, SD, One-Seg. En una red MFN está vedado el uso de canales adyacentes y co-canales. Se puede

observar que una red MFN necesita de nueve frecuencias para un programa mientras que en la red SFN es necesaria una sola frecuencia.

6.7 Comentarios y Discusiones

La señal de TDT bajo la norma ISDB-T, admite diferentes procesamientos digitales de una variedad de parámetros. La característica principal de una red SFN es la posibilidad de transmitir el mismo programa con transmisores que operan en la misma frecuencia en áreas con coberturas superpuestas, mejorando la eficiencia del sistema, con ahorro del espectro radioeléctrico.

La norma ISDB-T permite ajustar un retardo de tiempo determinado a cada transmisor de la red TDT para que todos logren irradiar la misma señal de forma sincrónica y se logre una determinada cobertura adecuada a la característica geográfica de la zona.

La ganancia de una red SFN aumenta respecto a las individuales por diversidad de espacio adquiriendo importancia relevante en la recepción móvil. Este aspecto es destacable debido al elevado número de personas que se desplazan diariamente en vehículos automotores entre las ciudades de Corrientes y Resistencia.

En SFN la planificación *allotment* es la más adecuada ya que está relacionada con el concepto de *system variant*, entendido como el juego completo de parámetros de configuración del sistema TDT, vinculado a la multiplexación OFDM [8].

Por las características citadas precedentemente la red SFN se considera la más adecuada para estimar la cobertura de la TDT en el área bajo estudio (ciudades de Corrientes y Resistencia)..

CAPÍTULO VII

7 - HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN

7.1 Introducción

La cobertura de una red de TDT es uno de los aspectos importantes a determinar en el proceso de planificación. Para ello se debe tener especialmente en cuenta las características de la zona a prestar el servicio. Existen diferentes métodos de cálculo de predicción del área de cobertura, alguno de los cuales hemos visto en capítulos anteriores. En la actualidad existe una gran variedad de software en los cuales se puede seleccionar el método de cálculo a utilizar. Las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) constituyen la base fundamental de la cual se desprenden las diferentes normas y que son utilizadas por las diferentes herramientas informáticas. Una de la más adecuada al sistema de TDT bajo la norma ISDB-Tb es la Recomendación UIT-R P.1546-5 (09/2013) Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 MHz [9].

Otro aspecto muy importante a considerar en la planificación es la interferencia entre el sistema de televisión digital terrestre y otros sistemas de telecomunicaciones que operan en bandas cercanas. La interferencia entre señales digitales, co-canal o canales adyacentes, debe ser considerada teniendo en cuenta las relaciones de protección de acuerdo a los *system variant* adoptados. Sin embargo la coexistencia con canales de TV analógicos en la banda de UHF no origina mayores problemas debido a que no hay radiodifusores. Además su apagón está previsto para el año 2019. Un punto a considerar es que la banda superior de UHF destinada inicialmente a la TDT fue asignada en forma parcial al sistema 4G (698 MHz a 806 MHz), conocida como dividendo digital [46]. La mayoría de los softwares de planificación de sistemas radioeléctricos disponen de esta facilidad de evaluación.

7.2 Software de planificación de sistemas radioeléctricos

Como principales herramientas de planificación utilizando software específico analizaremos en particular las facilidades del software XIRIO® Online [15] y del software Sirenet [43], ambos de la empresa Aptica. Se describirán además las principales características de otros softwares de planificación.

7.3 XIRIO® Online

A los fines del cálculo predictivo del área de cobertura y servicio se encuentra en primera instancia de selección el software XIRIO® Online [15], de la empresa Aptica,

en su versión libre. XIRIO® Online es un software que permite realizar simulaciones profesionales, en línea, de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del planeta.

No requiere instalación o actualizaciones y se accede desde cualquier explorador. Permite calcular, compartir y publicar resultados en la red sin necesidad de disponer de herramientas de planificación ni cartografía digital propias, siguiendo un modelo SaaS (Software as a Service). Dispone de cartografía urbana y rural a nivel mundial de alta resolución, siguiendo el modelo de pago por uso, ofreciendo así la configuración más apropiada para cada escenario, minimizando los costes.

XIRIO® Online cuenta con dos módulos de funcionalidad:

- **Planningtool:** Herramienta de planificación radioeléctrica que permite realizar tareas y cálculos que abarcan desde la parametrización y análisis de la cobertura radioeléctrica de una única estación hasta la planificación de redes en escenarios complejos.
- **Shareplace:** Herramienta que permite a los usuarios de XIRIO® Online publicar los resultados de sus estudios y compartir éstos con otros miembros de su organización, clientes, proveedores o incluso al público en general.

7.3.1 Proceso de planificación

Existen pasos habituales a llevar a cabo en un proceso de planificación radioeléctrica. XIRIO® Online proporciona distintos tipos de estudios para realizar cada una de estas etapas.

Las distintas tecnologías y servicios radioeléctricos requieren una metodología específica en cada caso y procedimientos de planificación particulares. XIRIO® Online ofrece diferentes opciones en las fases de un proyecto de planificación y diseño de red y el usuario deberá determinar cuáles de estas opciones pueden resultarle de aplicación en sus proyectos particulares.

7.3.2 Proceso de planificación de redes de acceso de servicios de radiodifusión

El proceso de planificación de redes de acceso de servicios de radiodifusión presenta algunos de los aspectos específicos vinculados a la TDT. Está basado en los pasos comunes de planificación de redes de acceso, si bien, aquí se particularizan algunos aspectos para el tipo de redes en proyecto.

7.3.3 Análisis de necesidades - Configuración

- **Cartografía:** este tipo de redes requiere del empleo de cartografía rural, modelos del terreno de entre 100 y 25 m de resolución. Se puede determinar el efecto de

recepción dentro de zonas urbanas utilizando capas de morfografía que asocien pérdidas a estas áreas o bien capas de altimetría urbana con detalle de edificios.

- Métodos de cálculo: los métodos más comunes para la planificación de servicios de radiodifusión varían en función del entorno y objeto de la planificación. Los más empleados son:
 - La Rec. UIT-R P.526 [29] o el método de Deygout, son los más empleados para simular la emisión desde centros situados en entornos rurales. La estimación de potencia recibida en interior de ciudades suele realizarse del mismo modo, teniendo en cuenta que los umbrales de recepción en estos entornos son muy superiores, o, en caso de disponer de cartografía urbana, empleando la opción de múltiples capas de altimetría y aplicando una resolución a los cálculos similar a la del modelo de edificios.
 - La Rec. UIT-R P.1546 [9] puede ser de utilidad en aquellos casos en los que no se dispone de cartografía suficientemente detallada (resoluciones de MDT superiores a 100 m). Además, estos métodos son aplicables a distancias superiores a los 100 km por lo que pueden resultar una estimación mejor que la de los métodos determinísticos, poco fiables en larga distancia. Por último, su empleo es recomendable a la hora de simular los efectos de posibles interferencias para pequeños porcentajes de tiempo (1 % ó 5 %).

Los métodos propuestos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones son estándar y resultan muy útiles; sin embargo, no siempre se ajustan de forma ideal a la propagación en todo tipo de entornos.

7.3.4 Parametrización de estaciones

- Umbral de recepción: el parámetro umbral de recepción que se debe emplear en los parámetros de radio de los receptores es habitualmente la intensidad de campo de referencia definido en recomendaciones y estándares internacionales, siendo habitual trabajar en términos de campo eléctrico. Es común trabajar con distintos umbrales de recepción dependiendo del entorno (ej.: rural, urbano, urbano denso, etc.). En este caso, el usuario puede emplear capas morfográficas que introduzcan un factor de clutter asociado a cada tipo de terreno o bien jugar, en los estudios de cobertura, con distintos rangos que se adapten a los umbrales propuestos.
- Sistemas radiantes. Los sistemas radiantes de radiodifusión vienen compuestos por uno o más elementos radiantes que configuran un *array* con unas características de emisión particulares.

7.3.5 Planificación de redes

- Orientación de los receptores: es importante destacar que los receptores vinculados a cada estudio de cobertura orientan automáticamente su antena hacia su transmisor asociado en dicho estudio de cobertura. Cuando la antena de recepción es direccional, este aspecto es importante dado que el nivel de señal de su transmisor asociado entra con máxima ganancia de la antena receptora mientras que el resto de señales entrarán atenuadas desde otros azimuts.
- Mejor servidor por señal: en los distintos estudios de planificación de redes en los que intervienen distintas estaciones es necesario disponer de un criterio para determinar el transmisor deseado (mejor servidor) en cada punto. Para que un transmisor pueda ser considerado mejor servidor por señal debe superar el umbral del receptor asociado en el estudio de cobertura. Hay que tener especial cuidado de no establecer umbrales distintos para los receptores de los diferentes estudios de cobertura ya que en este caso se pueden presentar incongruencias a la hora de seleccionar el mejor servidor en zonas con niveles de señal comprendidos entre dichos umbrales.
- Solapamiento. Es importante, una vez determinados los parámetros de emisión para una nueva estación así como su frecuencia, comprobar la interferencia que esta estación puede causar sobre el entorno y, viceversa, la interferencia que los elementos del entorno pueden causar sobre la zona de servicio de la nueva estación. El resultado de "solapamiento" del estudio de multicobertura permite determinar las posibles zonas de conflicto con estaciones cercanas.

7.3.6 Capas de cartografía

Para realizar el cálculo de un estudio, XIRIO® Online necesita información detallada del terreno sobre el que se está realizando el cálculo. Como mínimo es necesaria la información de los niveles altimétricos del terreno, aunque en ciertos cálculos también es aconsejable disponer de información acerca del uso del suelo sobre el que se hace el cálculo.

En XIRIO® Online se disponen de cinco tipos de capas de cartografía para realizar simulaciones:

- Capa MDT o de altimetría. El Modelo Digital de Terreno (MDT) es una capa de elevación en la cual elementos como edificios, carreteras y vegetación han sido eliminados digitalmente. Este modelo asigna a cada píxel una cota altimétrica sobre el nivel del mar. Este tipo de cartografía está indicada para planificación de redes de radiodifusión, móviles o acceso a banda ancha en las que los entornos urbanos se suelen modelar mediante la adición de pérdidas adicionales de clutter o mediante distintos umbrales en función del tipo del entorno. Esta capa proporciona la más alta resolución y precisión disponibles en el mercado para grandes áreas en Europa. La cartografía tipo MDT disponible para Argentina es "Altimetría

República Argentina 30m”, Aptica, de resolución de 30 m/píxel y de 400 m/píxel en el cálculo gratuito. Además “Altimetría Mundial” tipo MDT de resolución 100 m/píxel y de 400 m/píxel en el cálculo gratuito.

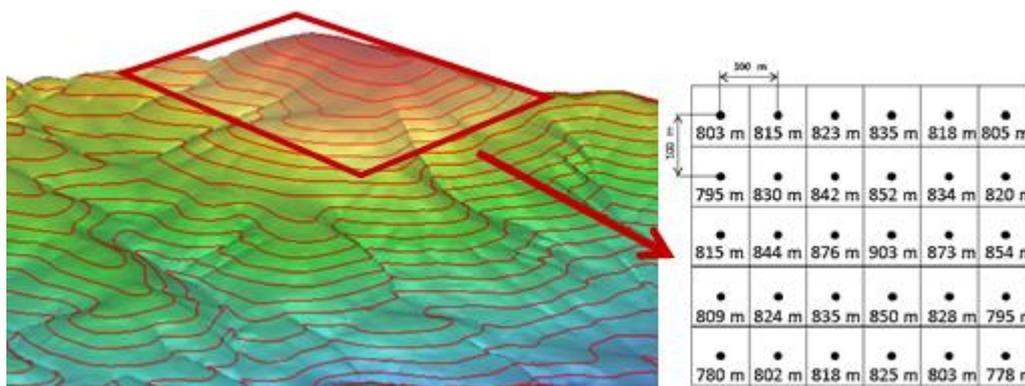


Figura 7.1.- Modelo Digital de Terreno MDT (a) (XIRIO® Online) [15].

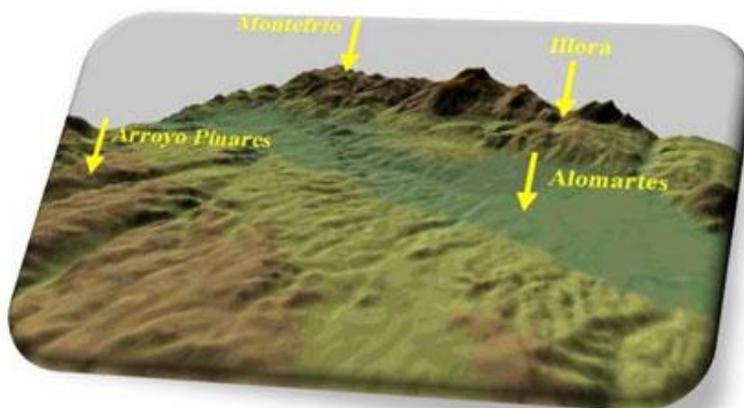


Figura 7.2.- Modelo Digital de Terreno MDT (b) (XIRIO® Online) [15].

- Capa MDE o de elevación. El Modelo Digital de Edificios (MDE) proporciona información de la elevación en cada punto en entornos urbanos y con alta resolución. Este modelo asigna a cada píxel un valor de elevación combinando la cota altimétrica con la altura de edificios. El MDE incluye por tanto un MDT más la altura de los edificios y es apropiado para cálculos en ciudades. No se dispone de cartografía MDE para ciudades Argentinas.
- Capa MDS. El Modelo Digital del Suelo (MDS) incluye un MDT más la altura de diversos elementos de elevación como edificios, vegetación, torres de alta tensión, infraestructuras, etc. Este tipo de cartografía abarca una mayor extensión que el MDE ya que incluye entornos urbanos y rurales, por lo que resulta adecuado para el diseño de redes de acceso y transporte. Proporciona unas inmejorables condiciones para analizar la obstrucción en radio enlaces del servicio fijo en bandas de microondas, así como de otras tecnologías de alta frecuencia.

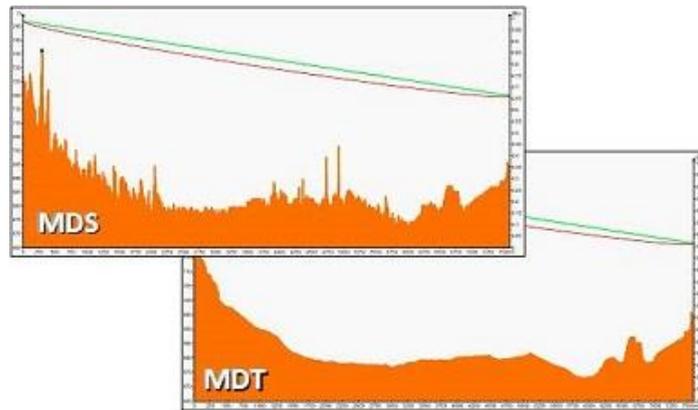


Figura 7.3.- Modelo Digital del Suelo MDS versus MDT (XIRIO® Online) [15].

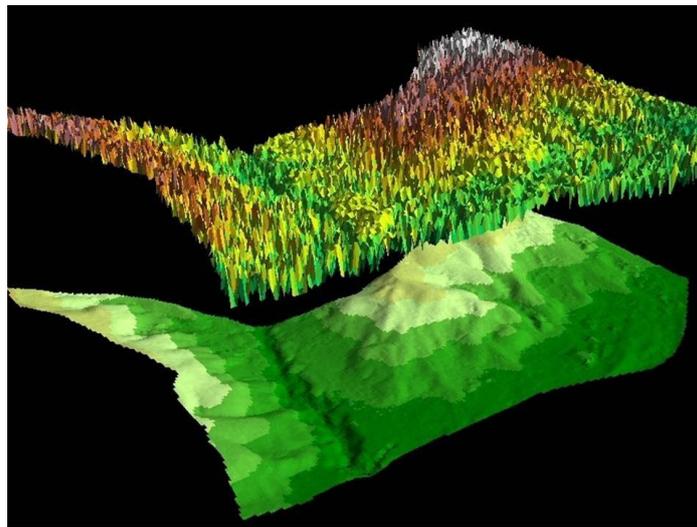


Figura 7.4.- Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficies (MDS) obtenidos a partir de datos LIDAR (Grupo TYC GIS) [50].

- Capa morfológica. Se trata de una capa ráster, en que cada píxel pertenece a una categoría de uso del suelo. Un ráster consta de una matriz de celdas organizadas en filas y columnas, en la que cada celda contiene un valor que representa información. Esta categoría tiene una serie de atributos que pueden modificar la señal de radio presente en un punto, ya sea por el incremento de cotas (ej: presencia de un bosque), pérdidas adicionales (de carácter determinístico que provienen de una campaña de medidas cotejadas con los resultados de predicción), tipo de suelo (según Rec. UIT-R P.1546) y tipo de suelo según una categorización más amplia y caracterizable por sus valores de permisividad y conductividad.
- Capa administrativa. Se trata de una capa vectorial, la cual contienen un conjunto de polígonos que representan regiones geográficas caracterizadas por un nombre y un número de habitantes. Cada capa administrativa dispone de una granularidad diferente, pudiéndose encontrar capas administrativas provinciales, municipales o

a nivel de núcleo de población. Estas capas son utilizadas para obtener estadísticas de cobertura, interferencia, etc.

7.3.7 Parámetros del estudio de cobertura

XIRIO® Online permite el manejo de un conjunto de parámetros en los cuales se especifica el tipo de servicio a prestar, el método de cálculo adoptado, los parámetros del transmisor/transmisores de la red, los parámetros del sistema irradiante, los parámetros de recepción entre los más importantes. En las figuras 7.3, 7.4 y 7.5 se pueden observar pantallas de carga de parámetros para el estudio de cobertura con XIRIO® Online.

Propiedades del transmisor

Transmisor

Nombre:

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖ ?

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Frecuencias de transmisión

Frecuencias	Canal	
521.143 MHz	22	📄

Polarización: ▼

Feeder: + ?

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

Potencia: W ▼

Figura 7.5.- Menú Propiedades del transmisor - Parámetros de radio (XIRIO® Online) [15].

Propiedades del Diagrama de Radiación

Propiedades	
Tipo de diagrama:	<input checked="" type="radio"/> Copolar <input type="radio"/> Xpolar
Polarización:	Horizontal ▼
Ganancia:	10 dBi
Frecuencia inicial:	518 MHz ▼
Frecuencia final:	548 MHz ▼
XPD 90:	0 dB
Ancho de haz:	40 °
Rel. delante/atrás:	19.5 dB

Figura 7.6.- Menú Propiedades del Diagrama de Radiación (XIRIO® Online) [15].

Parámetros de radio

Parámetros de radio	
Antena:	Yagi 14 dBi 36°   
Altura antena:	10 m
<hr/>	
Polarización:	Horizontal ▼
<hr/>	
Feeder:	Coaxil 75ohms RG6   
Longitud del feeder:	20 m
Pérdidas del feeder:	3.46 dB 
Pérdidas pasivos:	0.2 dB
<hr/>	
Umbral recepción:	<input checked="" type="radio"/> Campo <input type="radio"/> Potencia
	60 dBu ▼

Figura 7.7.- Menú Parámetros de radio - receptor (XIRIO® Online)[15].

7.3.8 Ejemplo de resultado de cobertura

La pantalla de resultado de un estudio de cobertura está formado por una capa visual de nivel de señal que representa la intensidad de señal recibida en cada punto del área de cálculo y un elemento radioeléctrico que representa al transmisor con el que se ha calculado.

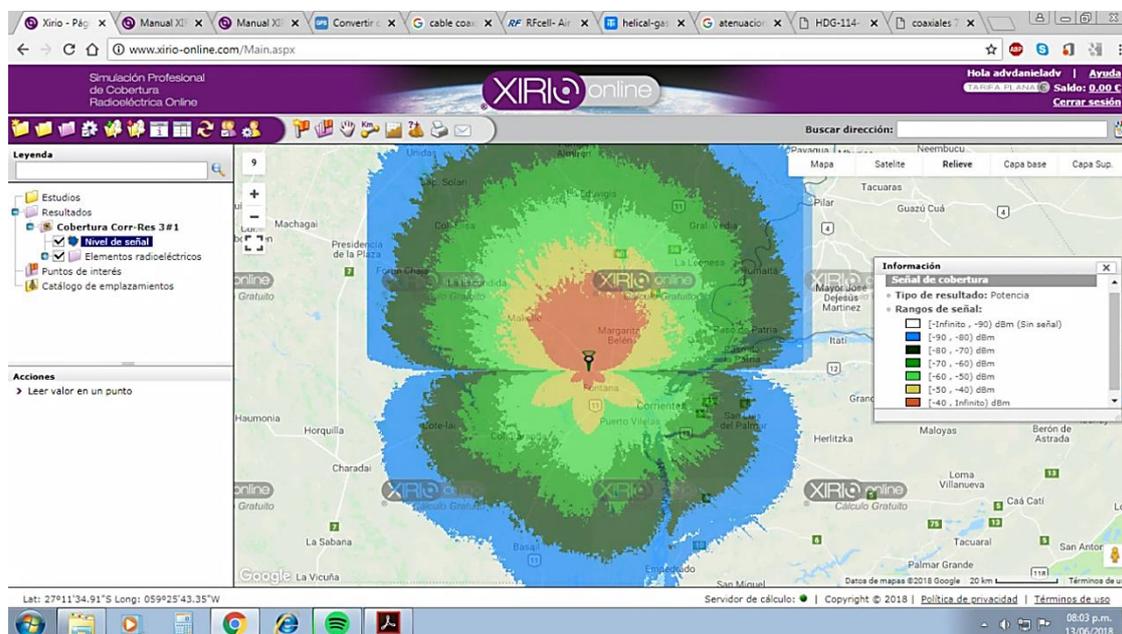


Figura 7.8.- Resultado cálculo de cobertura típico (XIRIO® Online) [15].

En la figura 7.8 se puede observar el resultado de un ejemplo de cálculo de cobertura de un transmisor de TDT bajo la norma ISDB-Tb del sistema TDA de la Argentina.

Los parámetros básicos del ejemplo son:

- Estándar TDT: ISDB-Tb
- Coordenadas del Tx: 27°21'51.35"S; 059°04'36.73"W
- Área de servicio: Corrientes - Resistencia
- Potencia: 1 kW
- Frecuencia: 542,143 MHz
- Tipo de antena: Panel ISDB-T 10 dBi 60°
- Polarización: horizontal
- Ganancia: 10 dBi

7.3.9 Cálculo de interferencias

Esta sección describe el sistema empleado por XIRIO® Online para el cálculo de las interferencias, tanto el método empleado para estimar la aportación de una o varias fuentes de interferencia como su terminología y notación.

7.3.10 Parámetros de interferencia

Los parámetros que permiten definir la interferencia a calcular serán:

- Método de propagación. Será el método que se empleará para estimar el nivel de señal con que los transmisores interferentes actúan sobre el receptor interferido.
- Método complementario. Se ofrece la posibilidad de utilizar dos métodos de cálculo de forma conjunta, uno de tipo principal y el otro complementario. Esta opción resulta útil para tratar de completar el peor caso en cualquier situación, dado que XIRIO® Online dará como resultado en estos casos el valor de interferencia que prevea el método más pesimista.
- Método de combinación. En los cálculos de interferencias múltiples (provenientes de más de una fuente de interferencia) se empleará este método para combinar las interferencias individuales y obtener la conjunta. Los métodos de combinación empleados son: multiplicación simplificada para los servicios de radiodifusión sonora en frecuencia modulada (FM) y suma cuadrática para el resto de servicios.
- Factor interservicios. Define el modo en que los receptores se ven afectados por la interferencia en función de los servicios de los equipos transmisores y receptores.
- Influencia de la antena receptora. En los cálculos de interferencia es muy importante introducir correctamente la forma del sistema radiante de los receptores ya que la interferencia se calculará teniendo en cuenta la orientación de las antenas receptoras y la dirección en la que provienen las distintas interferencias. XIRIO® Online considera que los receptores en cada punto de cálculo se encuentran apuntando por su zona de máxima ganancia al transmisor correspondiente, mientras que los transmisores interferentes estarán entrando por otros azimuts del sistema radiante con menor ganancia.

7.3.11 Cálculo de interferencia SFN

El funcionamiento de las redes SFN (Single Frequency Network) requiere un tratamiento especial puesto que, básicamente, las distintas estaciones están emitiendo el mismo programa de forma unisona y la presencia de señal proveniente de varias fuentes en un punto puede ser considerado como interferencia constructiva o destructiva dependiendo de los retardos que presenten las distintas señales con respecto a la dominante.

- La interferencia que los elementos de una red SFN aportan a otros tipos de redes se evalúa con el método habitual. De igual modo, la interferencia que los elementos de otras redes imponen sobre la red SFN también se evalúa normalmente. Sin embargo, la aportación de los distintos elementos de la red sobre un receptor de la propia red SFN se tiene en cuenta de acuerdo a los siguientes criterios:

- Se evalúa el retardo de las distintas fuentes de interferencia respecto a la señal del dominante. Este retardo es función de la diferencia de distancias desde los transmisores al punto de recepción y también de los retardos relativos de los transmisores (parámetro "retardo" en el elemento transmisor).
- Se establece el transmisor cuya señal impone el símbolo de referencia, a partir del cual comienza el intervalo de guarda: comienzo con el mejor servidor, comienzo con el primer pre-eco suficientemente potente, comienzo con el primer pre-eco estable suficientemente potente.

7.4 Sirenet

Otro software a considerar es el Sirenet de Aptica, herramienta de gestión del espectro radioeléctrico destinada a la planificación de redes radio y al análisis de compatibilidad electromagnética. La herramienta se basa en la simulación de entornos reales apoyándose en un avanzado sistema de información geográfica, en la reproducción exacta del comportamiento de los equipos radioeléctricos y en los algoritmos más avanzados y actuales para la predicción de la propagación en distintos entornos. Debido a su costo su utilización está sujeta a convenios con instituciones que posean una licencia para su uso académico.

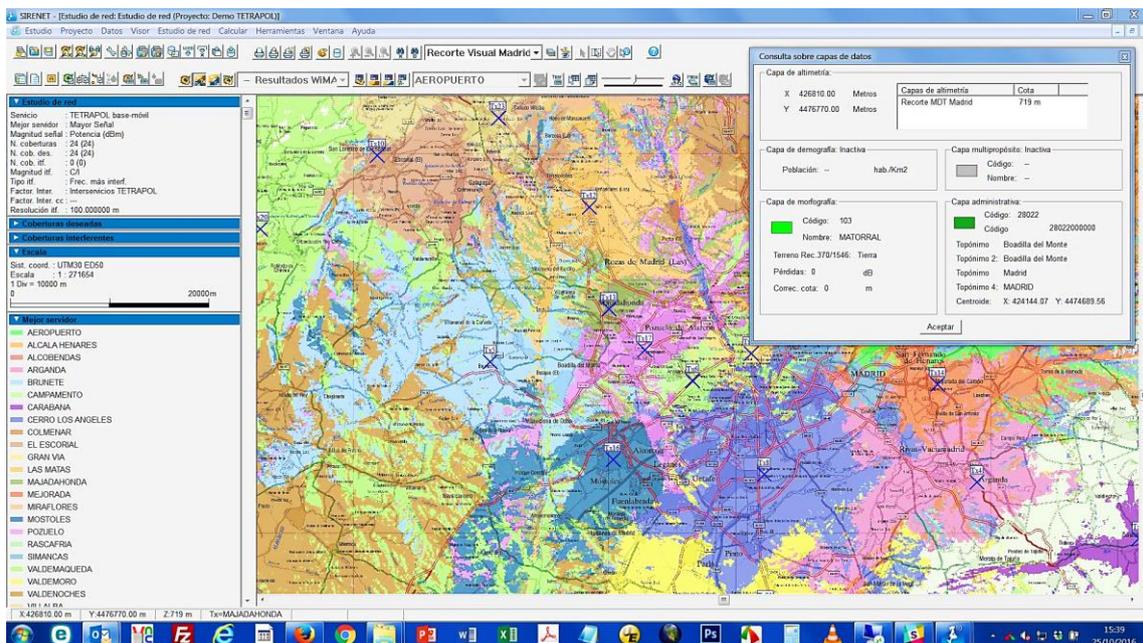


Figura 7.9.- Pantalla de cobertura típica Sirenet [43].

Sirenet es una herramienta orientada al diseño, despliegue, optimización, supervisión u operación de redes de telecomunicaciones inalámbricas, permitiendo al usuario:

- Realizar la planificación teórica de la red
- Calibrar las simulaciones con medidas de campo
- Optimizar la red desplegada

- Supervisar la calidad de la red
- Presentar las solicitudes de frecuencias
- Gestionar el inventario técnico
- Analizar el coste de cada configuración

El software Sirenet permite estudios muy completos que abarcan: cobertura de red, dimensionamiento y gestión de frecuencias

- **Cobertura de red**

- Análisis de propagación de la señal.
- Simulación de cobertura punto-a-punto, punto-multipunto, punto-ruta, punto-zona.
- Algoritmia basada en normativa internacional y vasta experiencia en el sector de las telecomunicaciones (Rec. 526-UIT-R, Deygout, LOS, Rec. 1546-UIT-R, Rec. 452-UIT-R, Rec. 530-UIT-R, Okumura-31, XIA, métodos editables, métodos autogenerador a partir de campañas de medidas, etc...)

- **Dimensionamiento**

- Consultas y estadísticas de población y superficie cubierta a nivel de región administrativa y núcleo poblacional.
- Distribución geográfica de usuarios cubiertos y cálculos de tráfico para dimensionar el número de canales y servicios necesarios en las distintas estaciones de la red para cubrir la demanda.

- **Gestión de frecuencias**

- Estudios de ocupación espectral.
- Asignación automática de frecuencias asegurando la ausencia de interferencias en la zona de servicio de la red.
- Estudios de optimización de emplazamientos, estaciones base y sectorización.
- Optimización de retardos estáticos en redes de frecuencia única (SFN).

- **Compatibilidad**

- Análisis del solapamiento entre estaciones, mejor servidor, entre células, etc.
- Estudios de interferencias puntuales y zonales.
- Análisis de interferencias y compatibilidad entre elementos de la red del usuario, entre dicha red con otras redes, con otras tecnologías y servicios de distintas bandas.

- **Información cartográfica**

- Modelos del terreno (MDT y Modelos de Elevación (MDE).
- Usos del suelo.
- Administrativa. Núcleo de población, municipio, región, país, etc.
- Tráfico y demografía. Distribución de usuarios o población en un área geográfica.
- Modelos de geomarketing.

7.5 Principales características de XIRIO® Online y Sirenet.

Tabla 7.1. Resumen principales características XIRIO® Online y Sirenet. [15] [43].

Característica	XIRIO® Online	Sirenet
Soporte de software	On-line	Instalable con llave
Información cartográfica, modelos digitales del terreno	MDT, MDE, MDS, capa morfológica	MDT, MDE, MDS, - Usos del suelo, Administrativa, Tráfico y demografía, Modelos de geomarketing,
Métodos de cálculo	Rec. UIT-R P.526, Rec. UIT-R P.1546, Rec. UIT-R P.1812, Okumura-Hata, COST 231, Xia-Bertoni, Rec. UIT-R P.1812, Método Indoor, otros	Rec 526-UIT-R, Deygout, LOS, Rec 1546-UIT-R, Rec. UIT-R P.1812, Rec 452-UIT-R, Rec 530-UIT-R, Okumura- 31, XIA, métodos editables, métodos autogenerador a partir de campañas de medidas
Cálculos específicos TDT	Rec. UIT-R P.526, Rec. UIT-R P.1546, Rec. UIT-R P.1812	Rec 526-UIT-R, Deygout, Rec 1546-UIT-R métodos editables, métodos autogenerador a partir de campañas de medidas
Funcionalidades	Parametrización y análisis de cobertura y planificación de redes en escenarios complejos. Cálculos de interferencias. Publicación de resultados. Importación de Sirenet.	Análisis de cobertura y planificación de redes en escenarios complejos. Cálculos de interferencias. Dimensionamiento. Gestión de frecuencias. Compatibilidad entre redes. Exportación de resultados.
Costo	Con baja resolución (+400 m) gratuito. Luego de acuerdo a la cartografía.	US\$10.000.-

En la tabla 7.1 podemos observar las principales características de XIRIO® Online y Sirenet. Este último es un software muy potente en cuanto a sus prestaciones y funcionalidad, pero de un costo elevado. Debido a que no se dispone de recursos económicos y considerando el objetivo principal del presente trabajo se optó por el XIRIO® Online en su versión gratuita.

7.6 Comentarios y Discusiones

En el presente capítulo se analizan las herramientas de planificación, software de aplicación, las cuales permiten cálculos rápidos y flexibles de un sistema TDT.

Las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) constituyen la base fundamental de la cual se desprenden las diferentes normas y que son utilizadas por las diferentes herramientas informáticas

En la planificación otro aspecto importante es la interferencia entre el sistema de TDT y otros sistemas de telecomunicaciones que operan en bandas cercanas, lo cual requiere de funcionalidades específicas.

En los diferentes softwares adquieren importancia el juego de parámetros disponible tales como el método de cálculo empleado, la información cartográfica, los modelos digitales del terreno, los cálculos específicos TDT, funcionalidades y costo. En este trabajo se analizaron especialmente dos: XIRIO® Online y Sirenet. El XIRIO® Online es un software on-line con una versión libre de baja resolución y escalable con un costo acorde a las prestaciones utilizadas. Sirenet es un software instalable con llave de muy altas prestaciones pero de un costo elevado. Debido a la disponibilidad de fondos y la característica académica del trabajo se optó por el XIRIO® Online.

CAPÍTULO VIII

8 - PLANIFICACIÓN. ANÁLISIS DE COBERTURA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ÁREA DE CORRIENTES-RESISTENCIA

8.1 Introducción

8.1.1 Resoluciones de planificación de frecuencias

Para el análisis de cobertura TDT mediante software de simulación se utilizó información técnica de acceso público del área comprendida por las ciudades de Corrientes y Resistencia, fundamentalmente la Norma Técnica ISDB-T, vigente en Argentina, aprobada por Resolución N° 7/2013 SC [51]. Se tomaron en cuenta también la Resolución N° 24/2015 AFSCA [52] y la Resolución N° 234/2015 AFSCA [53] en las cuales se aprueba el Plan Técnico de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre Abierta en las ciudades de Resistencia y Corrientes. En la tabla 8.1 se puede observar en detalle los parámetros técnicos básicos establecidos para cada ciudad.

Tabla 8.1.- Plan Técnico de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre Abierta en el área Corrientes – Resistencia (ENACOM - www.infoleg.com.ar) [7].

Canal radioeléctrico; Canal digital	Res. N° 234/2015 AFSCA Corrientes (Corrientes)			Res. N° 24/2015 Resistencia (Chaco)		
	Categoría	Formato	Restricciones de radiación	Categoría	Formato	Restricciones de radiación
16 a 19; todos	A definir	A definir		A definir	A definir	
20.1	A definir	A definir		D	Full HD 1080	Reducción 12 dB E/(005-090°) Acimut máx. 295°
20.2	A definir	A definir		D	HD 720	
21, todos	A definir	A definir		A definir	A definir	
22; todos	D	A definir	Reducción 12 dB E/(025-095°) Acimut máx. 130°	D	A definir	Reducción 12 dB E/(005-090°) Acimut máx. 295°
23; todos	D	A definir		D	A definir	
24; todos	D	A definir		D	A definir	
25; todos	D	A definir		D	A definir	
26	A definir	A definir		A definir	A definir	
27.1	A definir	A definir		K	HD 720	Reducción 3 dB E/(030-090°) Acimut máx. 295°
27.2	A definir	A definir		K	SD 576	
27.3	A definir	A definir		K	SD 576	
27.4	A definir	A definir		K	SD 576	
28.1	A definir	A definir		D	Full HD 1080	Reducción 12 dB E/(005-090°) Acimut máx. 295°
28.2	A definir	A definir		D	HD 720	
29.1	A definir	A definir		F	Full HD 1080	Reducción 6 dB

29.2	A definir	A definir		F	HD 720	E/(005-090°) Acimut máx. 295°
30	A definir	A definir		A definir	A definir	
31.1	D	Full HD 1080	Reducción 12 dB E/(025- 095°) Acimut máx. 130°	A definir	A definir	
31.2	D	HD 720		A definir	A definir	
32.1	F	Full HD 1080	Reducción 6 dB E/(025- 095°) Acimut máx. 130°	A definir	A definir	
32.2	F	HD 720		A definir	A definir	
33.1	F	Full HD 1080	Reducción 6 dB E/(025- 095°) Acimut máx. 130°	A definir	A definir	
33.2	F	HD 720		A definir	A definir	
34; todos	A definir	A definir	Reducción 3 dB E/(025- 095°) Acimut máx. 130°	A definir	A definir	
35.1	K	HD 720		A definir	A definir	
35.2	K	SD 576		A definir	A definir	
35.3	K	SD 576		A definir	A definir	
35.4	K	SD 576		A definir	A definir	
36; todos	A definir	A definir		A definir	A definir	

Las celdas sombreadas indican los canales que ya fueron asignados, algunos de ellos en funcionamiento normal, otros en período de funcionamiento de prueba y algunos no instalados aún. Es importante resaltar la importancia que tiene la columna de “restricciones de radiación” por ser las ciudades de Resistencia y Corrientes limítrofes con la República del Paraguay. En este ítem se define un rango de reducción (dB) delimitado por dos ángulos de acimut y además se define un acimut de máxima radiación, con el objetivo de cumplir con las normas internacionales que rigen en la materia.

En las asignaciones de licencias (AFSCA, ENACOM) se pueden distinguir dos modalidades: la de “licenciatarario operador” y la de “licenciatarario”.

El licenciatarario operador deberá disponer de la instalación de infraestructura y equipamiento necesarios para la generación, multiplexación y transmisión de sus contenidos de acuerdo con los parámetros técnicos asignados y deberá incluir en el multiplex digital a uno o más prestadores de servicios de comunicación audiovisual, licenciatararios o autorizados. El licenciatarario deberá disponer de la instalación de infraestructura y equipamiento necesario para la generación de sus contenidos y transporte hasta el encargado de la multiplexación y transmisión, en el formato adecuado. En las adjudicaciones se reserva el canal digital 1 (ejemplo CH 27.1, canal radioeléctrico 27 canal digital 1), tabla 8.2, para el licenciatarario operador y los restantes se pueden distribuir entre el licenciatarario operador y otros licenciatararios o autorizados.

Tabla 8.2.- Registro de licencias y autorizaciones para Televisión Digital Terrestre Abierta en el área Corrientes – Resistencia. (ENACOM - <http://registros-sca.enacom.gob.ar/licencias-autorizaciones/> mayo 2019) [7].

Corrientes (Pcia. de Corrientes)				
Código ENACOM	Acto de origen	Tipo Título	Canal Radioeléctrico -digital	Nombre de Fantasía
TD3AAA06W3400	RES 0240/2015	Autorización	31.2	Canal 31.2 - Corrientes (I.C.A.)
TD8AAA10W3400	RES 0239/2015	Autorización	32.1	Canal 32.1 – Corrientes (Gov. Pcia. de Corrientes)
TE6AAA52W3400	RES 0238/2015	Autorización	33.1	Universidad Nacional Del Nordeste
TA3AAA39W3400	RES 1821/2017	Licencia	35.1	Corrientes Televisión CTV 35.1
Resistencia (Pcia. del Chaco)				
Código ENACOM	Acto de origen	Tipo Título	Canal Radioeléctrico -digital	Nombre de Fantasía
TD8AAA00H3500	Res. 0155/2011	Autorización	28	Gobierno de la Pcia. del Chaco
TA3AAA25H3500	Res. 1096/2015	Licencia	27.1	Canal 27.1 - Resistencia
TA3AAA29H3500	Res.1093/2015	Licencia	27.2	Ciudad TV 27.2
TD3AAA22H3500	RES 0038/2015	Autorización	20.2	I.C.A. - LRL456 - CANAL 20.2 - Resistencia

En la tabla 8.2 se puede observar el Registro de licencias y autorizaciones para Televisión Digital Terrestre Abierta, en el área Corrientes – Resistencia. El mismo se encuentra publicado en el sitio oficial de ENACOM (<http://registros-sca.enacom.gob.ar/licencias-autorizaciones/>) y es de actualización anual. Es de resaltar que este listado no está completo y existen resoluciones de licenciatarios que no figuran en la misma.

8.1.2 Estaciones de TDT en funcionamiento

A la fecha de realización del presente trabajo se encuentran operativos y en funcionamiento en la banda de UHF varias estaciones de TDT en el área objeto de estudio: en la ciudad de Corrientes de la Provincia de Corrientes, en las ciudades de Resistencia y Puerto Tirol, ambas de la Provincia del Chaco [7] [14].

En la ciudad de Corrientes, a la fecha de realizar este trabajo, se encuentra operativo LT80 TV Canal 13 (13MAX Digital) en la modalidad de licenciatario operador. Por Resolución N° 236/2015 AFSCA se le asignó el canal digital 31.1, categoría D y los restantes parámetros técnicos. El formato de imagen con el cual está transmitiendo es Full HD 1080i.

En la ciudad de Resistencia se encuentra transmitiendo Canal 9 de Resistencia en el canal digital 28.1, categoría D y formato de imagen Full HD 1080i. Es de destacar que en el Registro de Licencia y Autorizaciones para Televisión Digital Terrestre Abierta de ENACOM el canal radioeléctrico 28 está autorizado al Gobierno de la Provincia del Chaco. Sin embargo por Resolución N° 35/2015 AFSCA [54] se asignó a LT 81 Canal 9 de Resistencia el canal digital 28.1, categoría D, formato de imagen Full HD 1080i en la modalidad de licenciatario operador.

Por Resolución N° 36/2015 AFSCA [55] se le asignó al Gobierno de la Provincia del Chaco el canal digital 29.1, categoría F, formato de imagen Full HD 1080i en la modalidad de autorizado operador.

En el acceso a la ciudad de Puerto Tirol se encuentra transmitiendo la EDT (Estación Digital de Transmisión) perteneciente a la Red TDA [14]. Esta EDT transmite por un sistema irradiante los canales radioeléctricos 22, 23, 24 y 25 pertenecientes a la Red TDA. Por otro sistema irradiante se transmite la señal de Chaco TV, en el canal digital 26.2 con formato de imagen SD 576i., técnicamente operado por la empresa ECOM Chaco S.A.

Debido a la importancia en el proceso de planificación de la red de televisión digital terrestre en el área de Corrientes-Resistencia, se incluirá en el estudio de cobertura la EDT Santa Catalina Corrientes (aún en instalación). La EDT Santa Catalina pertenece a la TDA, e integrará una Red SFN junto a la EDT de Puerto Tirol en el área mencionada [14].

8.2 Simulación de coberturas utilizando Xirio Online

8.2.1 Parámetros técnicos utilizados en la simulación

Se utilizó el software XIRIO® Online [15] de Aptica en su versión libre para realizar simulaciones de las estaciones transmisoras TDT que se encuentran funcionando o próximas a estar en esta condición, en el área de las ciudades de Corrientes y Resistencia. El objetivo general propuesto era analizar y definir líneas de trabajo de un

plan estratégico que permita planificar el despliegue de la red de TDT bajo la norma ISDB-Tb, adoptada por la Argentina, en el área de la ciudad de Corrientes y Resistencia.

Para ello se trabajó con la información de acceso libre disponible y en concordancia con los parámetros técnicos asignados en cada caso. Los parámetros técnicos básicos utilizados para la simulación fueron:

Transmisor

- Coordenadas de emplazamiento
- Estándar TDT: ISDB-Tb
- Categoría de transmisión
- Potencia de RF
- Canal radioeléctrico
- Canal digital
- Tipo de antena
- Polarización
- Ganancia
- Diagrama de radiación
- Restricciones de radiación
- Alimentador de antena
- Altura
- Formato de servicio
- Tasa de transmisión

Receptor utilizado en el estudio de cobertura

- Sensibilidad del receptor (umbral de recepción)
- Tipo de antena receptora
- Ganancia
- Altura

Cobertura

- Cartografía utilizada
- Método de cálculo
- Atenuación por emplazamiento y desvanecimientos
- Área de cálculo
- Rangos de cobertura

Parámetros en el transmisor:

- Las coordenadas se introducen en formato DMS (grados minutos y segundos).
- El software XIRIO® Online utiliza el estándar ISDB-T definido por ARIB.
- La categoría de transmisión especifica la PRE (Potencia Radiada Efectiva) de RF y los radios de localidad principal y del área primaria de servicio. Dentro del área de localidad principal delimitado por un nivel de 68 dB μ V/m se debe garantizar la recepción con antena interna. Dentro del área primaria de servicio delimitada por un nivel de 48 dB μ V/m se debe garantizar la recepción con antena externa. En la

tabla 8.3 se especifican los parámetros para cada categoría de las estaciones transmisoras.

Tabla 8.3.- Categorías de las estaciones del Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre (Resolución N° 7/2013 CNC – Anexo III). [51].

Categoría	PRE máxima (kW)	Hma (m)	Radio (km) área primaria de servicio 48 dB μ V/m	Radio (km) área de localidad principal 68 dB μ V/m
A	200	300	94,3	52,1
B	100	150	70,9	35,2
C	50	120	60,4	28,1
D	20	120	52,6	23,4
E	10	100	44,3	18,4
F	5	75	35	13,6
G	2	75	29,5	11
H	1	60	23,3	8,3
I	0,5	45	17,7	6
J	0,2	30	11,9	4
K	0,1	30	10,3	3,3

- Canal radioeléctrico. Aquí se introduce el canal radioeléctrico de UHF en cuestión, con un ancho de banda de 6 MHz que se corresponde con la normativa vigente en Argentina establecida por la Resolución N° 7/2013 CNC.
- El tipo de antena de transmisión su conformación su diagrama de radiación horizontal y vertical, ganancia (dBi), altura, tipo de alimentador alimentador y atenuación asociada. En cuanto al diagrama de radiación cabe acotar que debe respetar las restricciones de radiación impuestas para cada caso, ya que se debe tener en cuenta que tanto la ciudad de Resistencia como la de Corrientes limitan con el país vecino de la República del Paraguay.
- El formato de servicio (imagen) el cual puede ser Full HD 1080i, tasa de transmisión hasta 12 Mbps; HD 720p tasa de transmisión hasta 6,5 Mbps; SD 576i tasa de transmisión de 3,5 Mbps y One Seg 320x240, tasa de transmisión hasta 440 kbps.

Parámetros en el receptor:

- El umbral de recepción o sensibilidad expresada en potencia (dBm) o campo (dBu). Por norma -77 dBm
- El tipo de antena receptora típicamente una yagui con ganancia de 14 dBi.
- La altura de la antena receptora, típicamente de 10 m

Parámetros de cobertura:

- La cartografía utilizada es de tipo MDT, capa de altimetría mundial, 400 m/pixel de Aptica, sin costo. Se optó por esta opción ya que para el tipo de estudio de cobertura permite lograr resultados aceptables.

- El método de cálculo adoptado finalmente fue Rec. UIT-R P.1546. Método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa (resoluciones de MDT superiores a 100 m). Su empleo también es recomendable a la hora de simular los efectos de posibles interferencias para pequeños porcentajes de tiempo (1 % ó 5 %).
- Atenuación por porcentaje de ubicaciones al 50 % y porcentaje de tiempo 50 %, con 8,3 dB por desviación típica de la variación de las ubicaciones.
- Área de cálculo predefinida por un radio de 80 km, suficiente para los estudios de cobertura realizados distancia. El área de cálculo también se podría fijar por un nivel mínimo de señal.
- Para el rango de cobertura se utilizaron los valores definidos en la tabla 8.3 en la cual se establecen el nivel mínimo del área de localidad principal de 68 dB μ V/m y el del área primaria de servicio de 48 dB μ V/m. Por lo tanto los rangos establecidos fueron de infinito a 68 dB μ V/m, de 68 dB μ V/m a 48 dB μ V/m y de 48 dB μ V/m a cero. En los resultados se pueden apreciar además los solapamientos y el mejor servidor en un punto.
- En lo referido a las interferencias se realizará una evaluación en base a los resultados obtenidos en la simulación de cobertura y la situación particular de los emisores de TDT.

8.2.2 Simulaciones de cobertura EDT Puerto Tirol

Utilizando el software XIRIO[®] Online en su versión libre se realizó una primera simulación considerando el transmisor de TDT de Puerto Tirol como única fuente de señal emitiendo en los canales radioeléctricos de UHF 22, 23, 24 y 25. Esta es la situación actual de la estación TDA emplazada en cercanías de esta localidad. En un futuro próximo formará parte junto con la estación de TDA emplazada en el barrio Santa Catalina de la ciudad de Corrientes de un sistema SFN de amplia cobertura. Resulta importante destacar la proximidad de la ciudad de Resistencia y Corrientes, separadas por el Río Paraná.

Para la simulación se utilizó información técnica de acceso público del sitio, fundamentalmente especificaciones de sistemas irradiantes, alimentador coaxil, conectores, combinadores, detalles de la estructura soporte de antenas, entre otras.

La cartografía utilizada fue la MDT APTICA con una resolución de 400 m/pixel. Esta resolución, si bien es baja, permite resultados preliminares aceptables de predicción de cobertura en un área de varias decenas de km y es gratuita.

El método de cálculo utilizado en un principio fue el procedimiento establecido por la Rec. UIT-R P.526-11. Luego se reemplazó por el método Rec. UIT-R P.1546 más adecuado para el caso bajo estudio.

Se definió un área de cálculo que abarque el área de Corrientes – Resistencia y los rangos de señal a graficar, desde 0 dBu a infinito, con límites en 68 dBu y 48 dBu. El valor mínimo se estableció de acuerdo con la sensibilidad definida para el receptor de TDT por la normativa adoptada por la Argentina.

En la figura 8.1 se puede observar los parámetros generales de las “Propiedades del estudio de cobertura”. En el box de “Propiedades del Transmisor” se definen parámetros de interés como la altura de la antena, la frecuencia de referencia, la polarización de la antena, potencia del transmisor, longitud y pérdidas del alimentador/pasivos, entre otros. El transmisor de Puerto Tirol posee un sistema de antenas tramos superior e inferior, conformado por un apilado de cuatro paneles cada uno. En esta simulación se consideran los canales del sistema TDA activos, con ancho de canal de 6 MHz.

Propiedades del estudio de Cobertura

Estudio

Nombre:

Grupo:

Servicio: ISBD-T

Banda: 📄 ✖️ ?

Descripción:

Extremos

Transmisor: 📄 ✖️ ?

Parámetros de recepción: 📄 ✖️ ?

Parámetros de cálculo

Método de cálculo: 📄 ✖️ ?

Método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa o a distancias superiores a los 100 kms.

Capas de cartografía: 📄 ?

Capa	Tipo	Proveedor	Resolución	MRCG	CS	CM
Altimetría mundial	MDT	APTICA	100 m	400.00 m	0,00 €	0,00 €

MRCG: Máxima resolución de cálculo gratuito
CS: Coste semanal

Figura 8.1.- Propiedades del estudio de cobertura del transmisor TDT Puerto Tirol.
(XIRIO® Online) [15].

Propiedades del transmisor

Transmisor					
Nombre:	TX Puerto Tirol (Chaco)				
Emplazamiento					
Emplazamiento:	<input type="text"/>  				
Coordenadas	     				
Latitud:	<input s"="" type="text" value="27°21'51.42\"/>				
Longitud:	<input type="text" value="059°04'36.77\" w"=""/>				
Parámetros de radio					
Antena:	<input type="text" value="CASTILLETE_153m PT"/>   				
Altura antena:	<input type="text" value="150.75"/> m				
Orientación:	<input type="text" value="120"/> [0,359]				
Inclinación:	<input type="text" value="2"/> [-90,90]				
Frecuencias de transmisión					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencias</th> <th>Canal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>521.143 MHz</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencias	Canal	521.143 MHz	22
Frecuencias	Canal				
521.143 MHz	22				
Polarización:	<input type="text" value="Horizontal"/> ▼				
Feeder:	<input type="text"/>  				
Longitud del feeder:	<input type="text" value="153"/> m				
Pérdidas del feeder:	<input type="text" value="1.88"/> dB 				
Pérdidas pasivos:	<input type="text" value="0.2"/> dB				
Potencia:	<input type="text" value="1"/> KW ▼				
Parámetros de radiodifusión digital					
Retardo:	<input type="text" value="0"/> μs				

Figura 8.2.- Parámetros del transmisor TDT Puerto Tirol. (XIRIO® Online) [15].

En la figura 8.2 se pueden ver los parámetros de transmisión adoptados para la simulación.

El sistema de antenas del Transmisor de Puerto Tirol está conformado por paneles UHF polarización horizontal AT15-250 en una configuración (Skew Antenna) 4-4-0-4 (orientación de radiación 0°, 90° y 270°), en un apilado de 4 pisos, total de 12 paneles, patrón de radiación tipo cardioide y ganancia neta de 11.43 dBi. Resulta importante destacar que a este sistema alimentan cuatro transmisores en total: canales de UHF 22, 23, 24 y 25. En esta simulación estamos evaluando solamente el canal de UHF 22 en la frecuencia central de 521,143 MHz, si bien el rango de frecuencias de evaluación se ajustó a 518 MHz a 542 MHz. En las figuras 8.3 y 8.4 podemos observar las propiedades del diagrama de radiación de antena así como el diagrama de radiación horizontal y vertical.

Propiedades del Diagrama de Radiación

Propiedades

Tipo de diagrama: Copolar Xpolar

Polarización: Horizontal ▼

Ganancia: 10 dBi

Frecuencia inicial: 518 MHz ▼

Frecuencia final: 542 MHz ▼

XPD 90: 0 dB

Ancho de haz: 40 °

Rel. delante/atrás: 19.5 dB

Diagrama horizontal

Diagrama horizontal + [icon] ✖

Diagramas verticales

+

Azimut

0.00 [icon] ✖

Figura 8.3.- Propiedades del diagrama de radiación de antena del transmisor TDT Puerto Tirol. (XIRIO® Online) [15].

Propiedades del Diagrama de Radiación

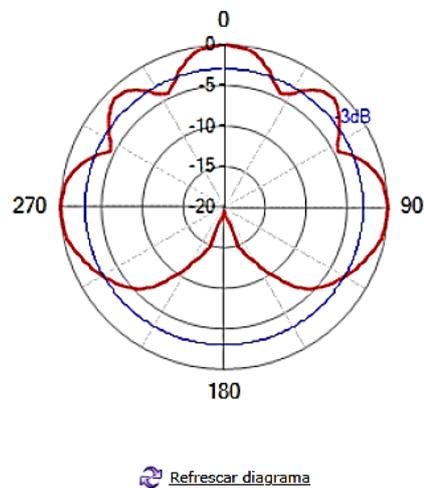
Diagrama horizontal

Azimut:

Atenuación:

Azimut	Atenuación	
0.00	0.00	
10.00	-0.50	
20.00	-3.00	
26.00	-4.50	
30.00	-4.00	
40.00	-1.30	
45.00	-1.00	
60.00	-4.00	
64.00	-4.50	
80.00	-0.50	
90.00	0.00	
100.00	-0.30	

1 2 3 4



Propiedades del Diagrama de Radiación

Diagrama vertical

Azimut:

Inclinación:

Atenuación:

Inclinación	Atenuación	
-20.00	-13.98	
-19.00	-12.77	
-18.00	-13.15	
-17.00	-13.98	
-16.00	-16.48	
-15.00	-20.92	
-14.00	-24.40	
-13.00	-19.17	
-12.00	-14.89	
-11.00	-12.40	
-10.00	-11.70	
-9.00	-12.04	

1 2 3

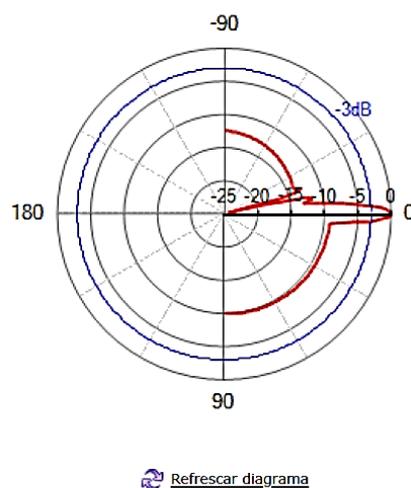


Figura 8.4.- Diagramas de radiación horizontal y vertical del sistema de antena del transmisor TDT Puerto Tirol (XIRIO® Online) [15].

Para el cálculo de predicción de cobertura se adoptó un sistema de antena de recepción típico de hogar conformado por una antena Yagui de 14 dBi, coaxial de 75 Ω , situada a una altura de 10 m y un largo de alimentador de 20 m. La sensibilidad del receptor se fija por norma en -77 dBm. En esta evaluación se considera el caso de antena fija y direccional. En la figura 8.5 se pueden observar los parámetros de radio receptor seleccionados para los estudios de cobertura.

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena:   

Altura antena: m

Polarización: ▼

Feeder:   

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

Umbral recepción: Campo Potencia

▼

Figura 8.5.- Propiedades del radio receptor (XIRIO® Online) [15].

Para los cálculos de cobertura del transmisor de la TDA ubicado en Puerto Tirol se utilizó como referencia el canal radioeléctrico de UHF 22. Si bien en la misma antena se transmiten además los canales 23, 24 y 25, como poseen los mismos parámetros técnicos, se consideró representativo para este estudio preliminar. En la figura 8.6 se puede observar la cobertura del área de localidad principal de 68 dBu y la del área de servicio primario de 48 dBu. En la figura 8.8 se puede observar el nivel de potencia en el centro de la ciudad de Resistencia.

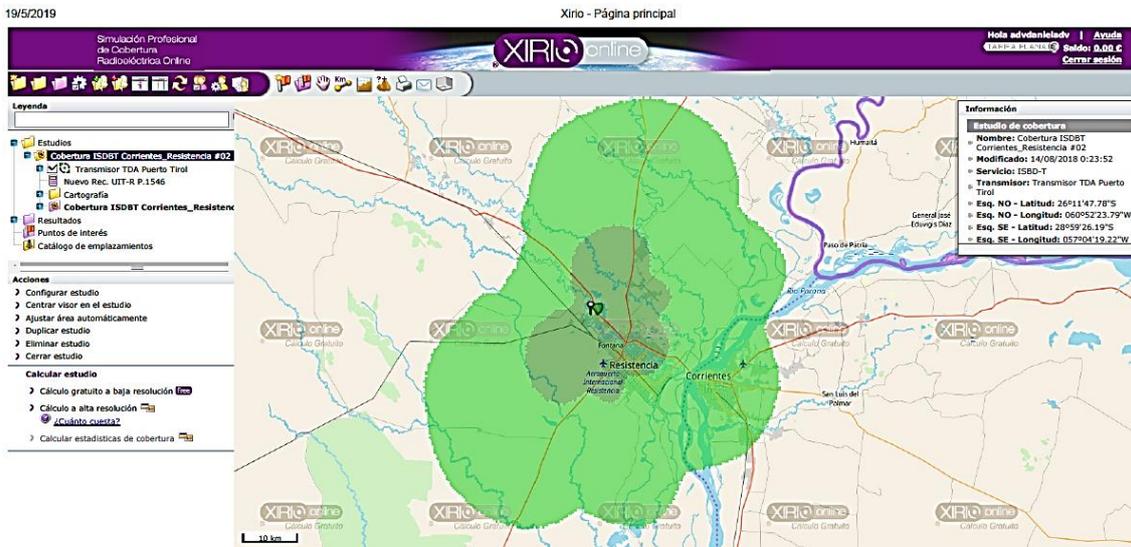


Figura 8.6.- Resultado de cobertura transmisor Puerto Tirol (XIRIO[®] Online) [15].

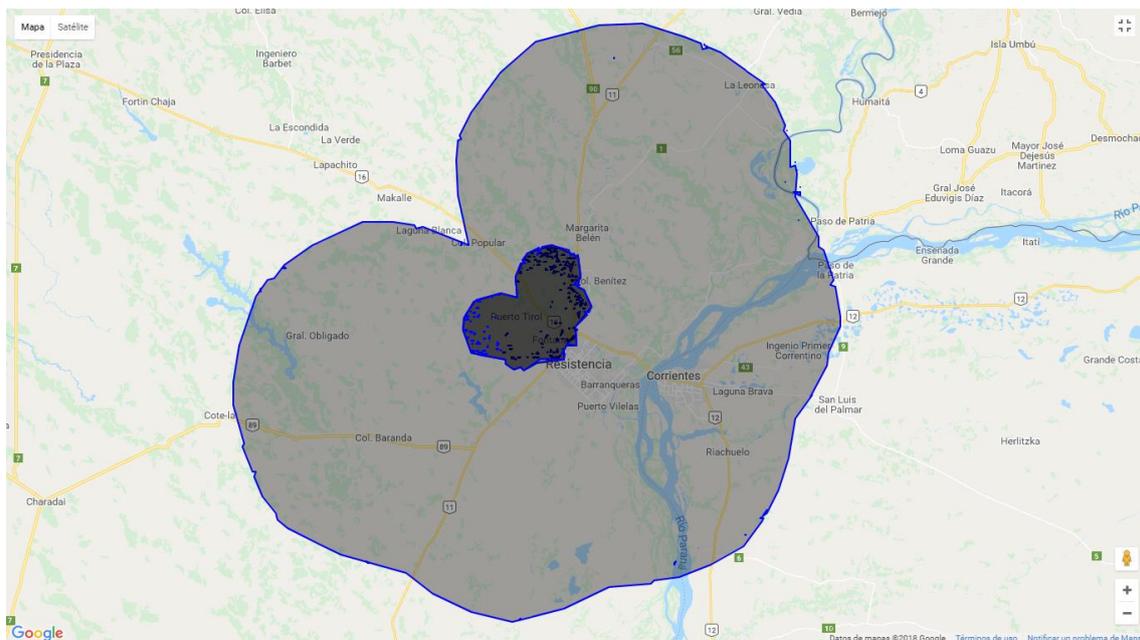


Figura 8.7.- Área de cobertura EDT TDA Puerto Tirol (ARSAT) [14].

En la figura 8.6 se puede observar el área de cobertura de la EDT Puerto Tirol obtenida en la simulación del software XIRIO[®] Online. En la figura 8.7 se puede observar el área de cobertura suministrada por ARSAT en su página web. Cabe destacar la similitud entre ambas coberturas.



Figura 8.8.- Nivel de potencia de cobertura transmisor Puerto Tirol en la ciudad de Resistencia (XIRIO® Online) [15].

La restricción de radiación impuesta para el diagrama de antena de la EDT de Puerto Tirol por la Resolución N° 24/2015 AFSCA especifica una “reducción 12 dB E/(005-090°) Acimut máx. 295°”. Sin embargo en la actualidad se observa que el acimut de máxima radiación está establecido en 120° y la restricción de 12 dB se encuentra orientada en un rango diferente al especificado. Esta situación debería ser revertida en el futuro cuando esté operativa la EDT Santa Catalina en la ciudad de Corrientes, formando parte de la red SFN.

8.2.3 Simulaciones de cobertura multitransmisor de la red SFN conformada por la EDT Puerto Tirol y EDT Santa Catalina

Utilizando el software XIRIO® Online se realizó una simulación de cobertura de la EDT de TDT emplazada en Santa Catalina a las afueras de la ciudad de Corrientes próxima a entrar en funcionamiento. Este transmisor de TDT formará parte junto al transmisor de Puerto Tirol (en funcionamiento) de una red SFN en el área Corrientes emitiendo en los canales radioeléctricos de UHF 22, 23, 24 y 25. La red SFN está planificada para un área de cobertura extensa desde el oeste de la ciudad de Resistencia, al este de la ciudad de Corrientes y al sur de ambas ciudades.

Resulta importante destacar la proximidad del conglomerado de las ciudades de Barranqueras y la ciudad de Resistencia, ambas en la Provincia del Chaco, con la ciudad de Corrientes, separadas unos pocos kilómetros por el Río Paraná.

Para la simulación se utilizó información técnica de acceso público de la EDT Santa Catalina, fundamentalmente especificaciones de sistemas irradiantes, alimentador coaxil, conectores, combinadores, detalles de la estructura soporte de antenas, alturas, parámetros de transmisión entre otras.

La cartografía utilizada fue la MDT APTICA con una resolución de 400 m/píxel. Esta resolución, si bien es baja, permite resultados preliminares aceptables de predicción de cobertura en un área de varias decenas de km y es gratuita.

El método de cálculo utilizado fue el detallado en la Rec. UIT-R P.1546, adecuado para el caso bajo estudio.

Se definió un área de cálculo que abarque el área de Corrientes – Resistencia y los rangos de señal a graficar, desde 0 dBu a infinito, con límites en 68 dBu y 48 dBu. El valor mínimo se estableció de acuerdo con la sensibilidad definida para el receptor de TDT por la normativa adoptada por la Argentina.

Los parámetros de funcionamiento establecidos para la red SFN de la TDA son:

- Modo 3, intervalo de guarda = 1/4
- Capa A (one-seg): $K_1 = 2/3$; modulación QPSK
- Capa B: $K_1 = 2/3$, modulación 64-QAM
- Máxima separación entre transmisores adyacentes: 75,6 km



Propiedades del estudio de Cobertura Multitransmisor

Estudio

Nombre: Cobertura multitransmisor #2 SFN TDA Resistencia -

Grupo: [dropdown]

Servicio: ISBD-T

Descripción:
Estudio de cobertura multitransmisor SFN TDA Resistencia - Corrientes #2

Coberturas de red

Coberturas del estudio: 2

Nombre	
<input type="checkbox"/> Puerto Tirol (Chaco)	[edit] [delete]
<input type="checkbox"/> Santa Catalina (Corrientes)	[edit] [delete]

Parámetros de cálculo de señal

Tipo de servidor: Mayor señal

Rangos

Rangos de señal

Color	Rango	Descripción	
	[48.00 , 68.00) dBu	Área primaria de servicio	[edit] [delete]
	[68.00 , Infinity) dBu	Área de localidad principal	[edit] [delete]

Visualizar niveles de señal [dropdown]

Rango de solapamiento

Color	Rango	Descripción	
	[1 , 2)		[edit] [delete]
	[2 , 3)		[edit] [delete]
	[3 , 4)		[edit] [delete]
	[4 , 5)		[edit] [delete]
	[5 , Infinity)		[edit] [delete]

Figura 8.9.- Propiedades del estudio de cobertura multitransmisor red SFN Resistencia - Corrientes Puerto Tirol. TDA. (XIRIO® Online) [15].

En la figura 8.9 se puede observar los parámetros generales de las propiedades del estudio de cobertura multitransmisor. En esta simulación se consideran los canales del sistema TDA UHF 22, 23, 24 y 25, con ancho de canal de 6 MHz. En la figura 8.9 se pueden ver los parámetros de transmisión EDT Santa Catalina adoptados para la simulación.

Propiedades del Método de Cálculo

Método de cálculo

Nombre:

Método de propagación: ▼

Método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa o a distancias superiores a los 100 kms.

Resolución: m/pixel

Parámetros básicos

Cálculo automático de factor K

Factor K:

Margen de desvanecimiento: dB

Propiedades de Rec. UIT-R P.1546

Porcentaje de tiempo: ▼ %

Despejamiento

Porcentaje de emplazamiento %

Desviación típica de la variación con las ubicaciones dB

Penetración en edificios

No aplicar

Figura 8.10.- Propiedades del método de cálculo de cobertura multitransmisor red SFN Resistencia - Corrientes Puerto Tirol. TDA. (XIRIO® Online) [15].

En la figura 8.10 se puede observar las propiedades del método de cálculo seleccionado basado en la Recomendación UIT-R P.1546, donde se establece un porcentaje de tiempo de 50 % y porcentaje de emplazamiento de 50 % con una desviación típica de 8,3 dB.

Propiedades del transmisor

Transmisor					
Nombre:	TX Santa Catalina (Cor				
Emplazamiento					
Emplazamiento:	<input type="text"/>				
Coordenadas					
Latitud:	<input type="text" value="27°31'45.84\"/>				
Longitud:	<input type="text" value="058°48'45.16\"/>				
Parámetros de radio					
Antena:	<input type="text" value="ISDB-T 10"/>				
Altura antena:	<input type="text" value="149.2"/> m				
Orientación:	<input type="text" value="0"/> [0,359]				
Inclinación:	<input type="text" value="2"/> [-90,90]				
Frecuencias de transmisión					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencias</th> <th>Canal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>521.143 MHz</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencias	Canal	521.143 MHz	22
Frecuencias	Canal				
521.143 MHz	22				
Polarización:	<input type="text" value="Horizontal"/>				
Longitud del feeder:	<input type="text" value="155"/> m				
Pérdidas del feeder:	<input type="text" value="1.05"/> dB				
Pérdidas pasivos:	<input type="text" value="0.2"/> dB				
Potencia:	<input type="text" value="1"/> KW				
Parámetros de radiodifusión digital					
Retardo:	<input type="text" value="0"/> μS				

Figura 8.11.- Parámetros del transmisor TDT Santa Catalina (XIRIO® Online) [15].

Propiedades del Diagrama de Radiación

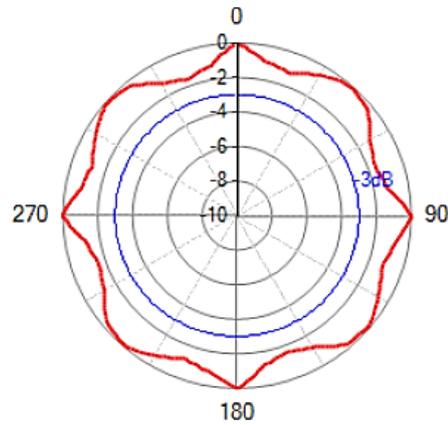
Diagrama horizontal

Azimut:
 Atenuación:



Azimut	Atenuación	
0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
10.00	-0.92	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
20.00	-1.21	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
30.00	-0.63	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
40.00	-0.09	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
50.00	-0.26	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
60.00	-1.21	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
70.00	-1.62	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
80.00	-1.21	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
90.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
100.00	-0.82	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
110.00	-1.21	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

1 2 3



[Refrescar diagrama](#)

Propiedades del Diagrama de Radiación

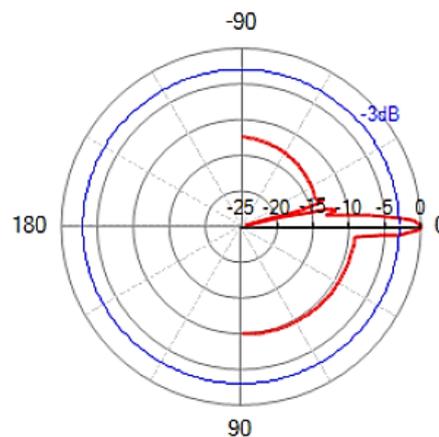
Diagrama vertical

Azimut:
 Inclinación:
 Atenuación:



Inclinación	Atenuación	
-20.00	-13.98	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-19.00	-12.77	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-18.00	-13.15	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-17.00	-13.98	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-16.00	-16.48	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-15.00	-20.92	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-14.00	-24.40	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-13.00	-19.17	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-12.00	-14.89	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-11.00	-12.40	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-10.00	-11.70	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
-9.00	-12.04	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

1 2 3



[Refrescar diagrama](#)

Figura 8.12.- Diagramas de radiación horizontal y vertical del sistema de antena del transmisor TDT Santa Catalina (XIRIO® Online) [15].

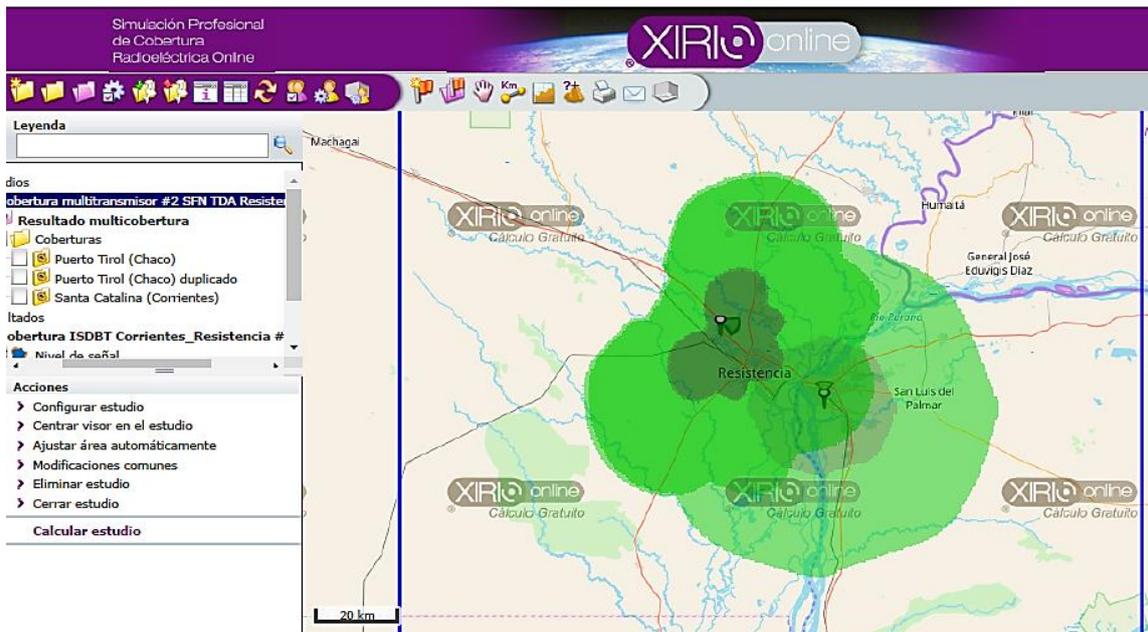


Figura 8.13.- Resultado de cobertura multitransmisor red SFN TDA; Tx Santa Catalina y Tx Puerto Tirol (XIRIO® Online)

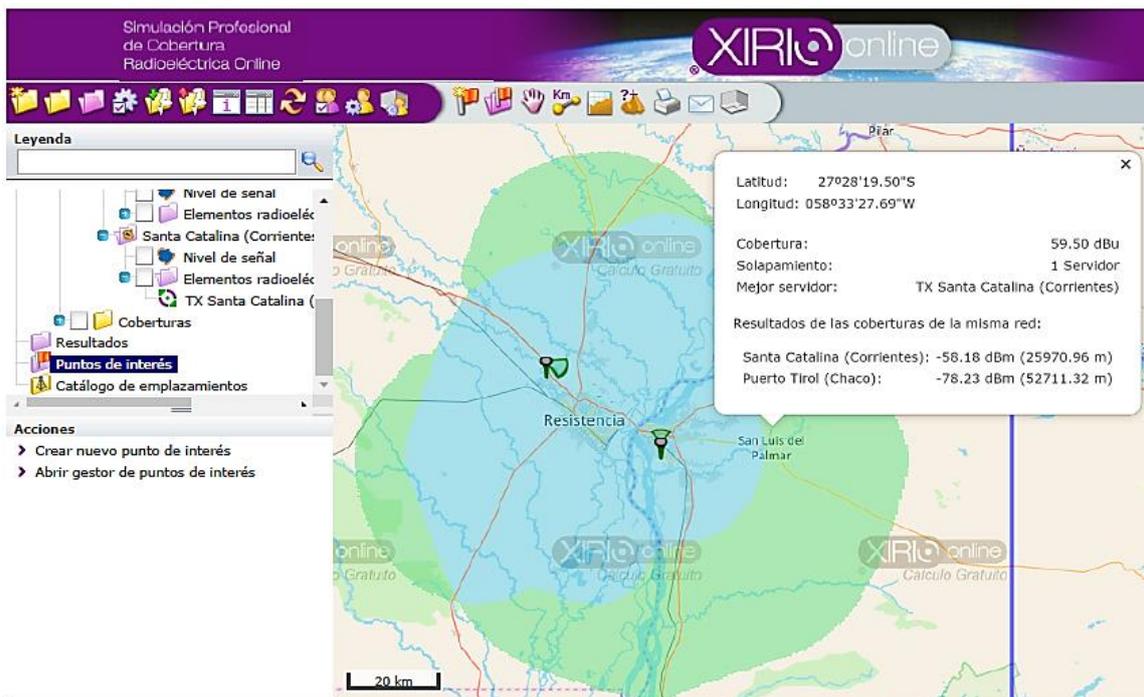


Figura 8.14.- Solapamiento de los transmisores red SFN TDA; Tx Santa Catalina y Tx Puerto Tirol (XIRIO® Online) [15].



Figura 8.15.- Nivel de potencia de cobertura multitransmisor de la red SFN TDA en la ciudad de Santa Ana, Pcia. de Corrientes (XIRIO® Online)

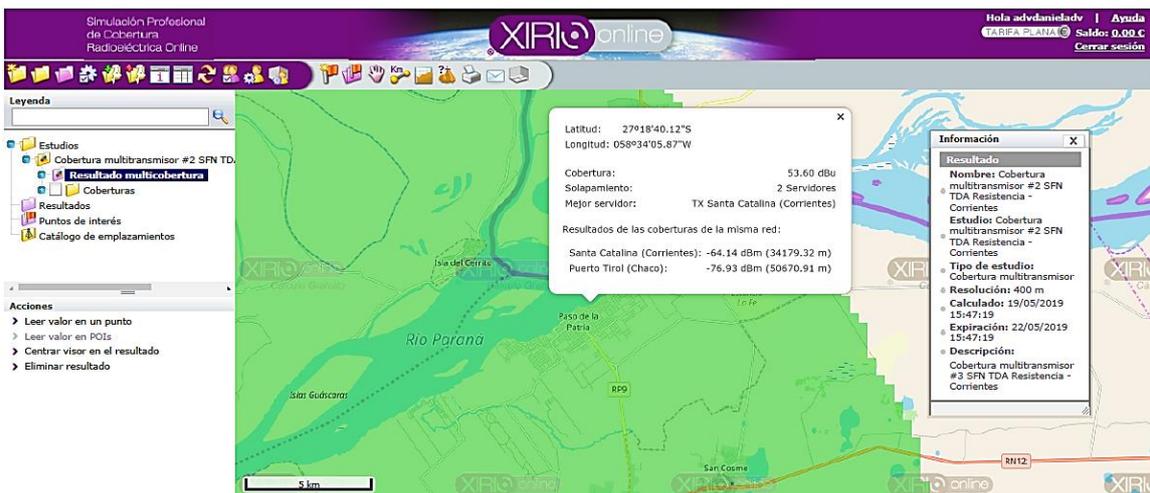


Figura 8.16.- Nivel de potencia de cobertura multitransmisor de la red SFN TDA en la ciudad de Paso de la Patria, Pcia. de Corrientes (XIRIO® Online) [15].

En las figuras 8.15 y 8.16 se pueden observar los niveles de potencia en el receptor aportados por cada uno de los transmisores que integran la red SFN TDA, indicando además el mejor servidor. Es de destacar el incremento de potencia recibida en el receptor debido al aporte de ambos transmisores respecto al transmisor de Puerto Tirol operando como única fuente. De esta manera se incrementa sustancialmente el área de cobertura de la red SFN.

8.2.4 Simulaciones de cobertura 13MAX Digital

Utilizando el software XIRIO® Online se realizó una simulación de la emisora LT 80 TV Canal 13 y su canal de TDT bajo la denominación de 13MAX Digital. La licencia para el canal digital fue asignado por Resolución 236/2015 AFSCA, modificada por Resolución N° 380/2015 AFSCA. La licencia habilita para operar en la modalidad de licenciatario operador en el canal radioeléctrico de UHF 31, canal digital 31.1, categoría D, formato de servicio Full HD 1080i y con una restricción de radiación de 12 dB entre los azimut 25° y 95°, con máxima radiación en el azimut 90°.

En un principio la emisora comenzó a operar de modo experimental con una potencia de salida de 350 W. De acuerdo con la categoría D transmitirá con una potencia de unos 2 kW

Para la simulación se utilizó información técnica de acceso público de la emisora, fundamentalmente especificaciones de sistemas irradiantes, alimentador coaxil, conectores, detalles de la estructura soporte de antenas, altura, entre otras.

La cartografía utilizada fue la MDT APTICA con una resolución de 400 m/pixel. Esta resolución, si bien es baja, permite resultados preliminares aceptables de predicción de cobertura en un área de varias decenas de Km y es gratuita.

El método de cálculo utilizado fue Rec. UIT-R P.1546 más adecuado para el caso bajo estudio.

Se definió un área de cálculo que abarque el área de Corrientes – Resistencia y los rangos de señal a graficar, desde 0 dBu a infinito, con límites en 68 dBu y 48 dBu. El valor mínimo se estableció de acuerdo con la sensibilidad definida para el receptor de TDT por la normativa adoptada por la Argentina.

El sistema de antena actual consta de un panel en azimut 90°, un panel en el azimut 180° y dos paneles apilados en el azimut 270°. En la figura 8.15 se puede observar el diagrama de radiación horizontal del sistema de antena de 13MAX Digital generado con el XIRIO® Online.

En la figura 8.16 se puede observar el resultado de cobertura prevista para el transmisor del canal 13MAX digital operando con una potencia de salida de 2 kW.

Propiedades del Diagrama de Radiación

Diagrama horizontal

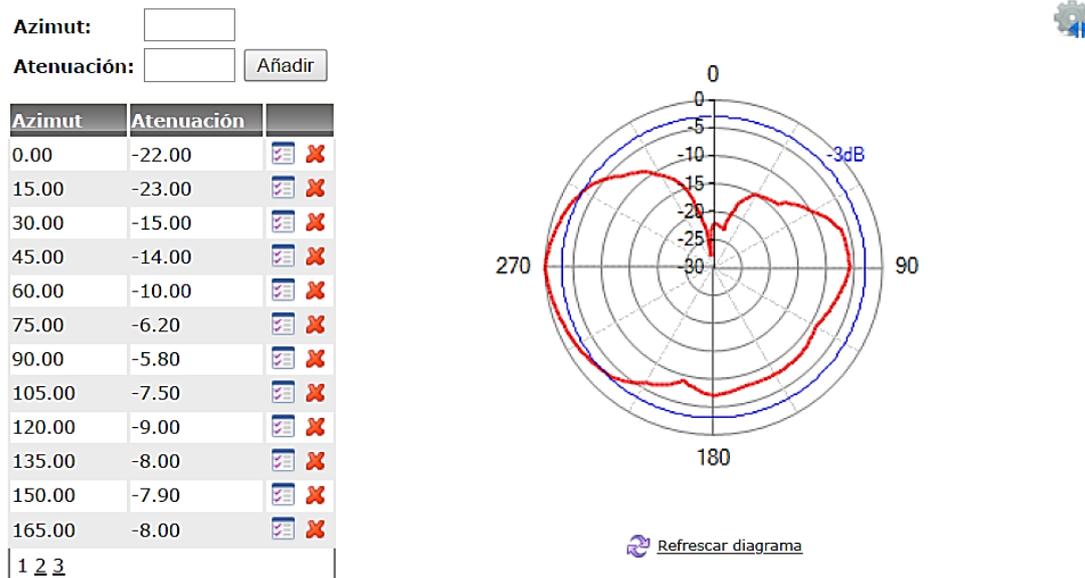


Figura 8.17.- Diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor 13MAX Digital (XIRIO® Online) [15].

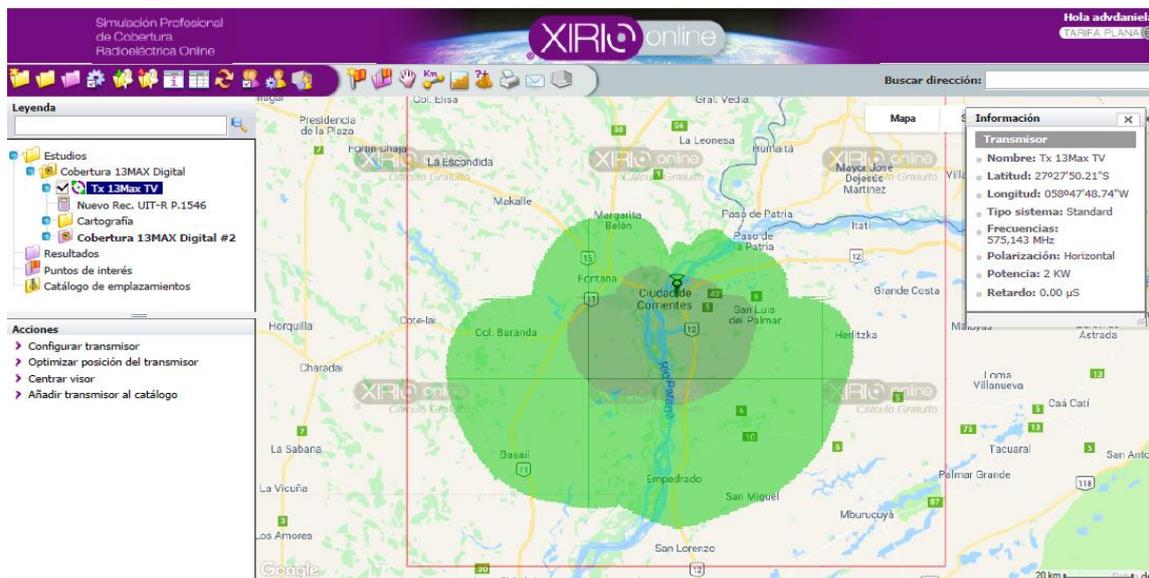


Figura 8.18.- Resultado de cobertura transmisor 13MAX Digital (XIRIO® Online) [15].

En la figura 8.17 se puede observar el diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor TDT de 13MAX Digital y en la figura 8.18 el diagrama de cobertura obtenido por la simulación. Se destaca el amplio rango de cobertura de área primaria de servicio.

8.2.5 Simulaciones de cobertura Canal 9 de Resistencia

Utilizando el software XIRIO® Online se realizó una simulación de la emisora LT 81 TV Canal 9 de la ciudad de Resistencia (Chaco) y su canal de TDT bajo la denominación de Canal 9 HD. Los estudios y planta transmisora se encuentran en una zona céntrica de la ciudad de Resistencia.

La licencia para el canal digital fue asignada por Resolución 35/2015 AFSCA. La licencia habilita para operar en la modalidad de licenciatario operador en el canal radioeléctrico de UHF 28, canal digital 28.1, categoría D, formato de servicio Full HD 1080i y con una restricción de radiación de 12 dB entre los azimut 5° y 90°, con máxima radiación en el azimut 295°.

La emisora posee una licencia para transmitir en la categoría D, es decir una potencia de salida de unos 2 kW.

Para la simulación se utilizó información técnica de acceso público de la emisora, fundamentalmente especificaciones de sistemas irradiantes, alimentador coaxial, conectores, detalles de la estructura soporte de antenas, altura, entre otras.

La cartografía utilizada fue la MDT APTICA con una resolución de 400 m/pixel. Esta resolución, si bien es baja, permite resultados preliminares aceptables de predicción de cobertura en un área de varias decenas de km y es gratuita.

El método de cálculo utilizado fue Rec. UIT-R P.1546 más adecuado para el caso bajo estudio.

Se definió un área de cálculo que abarque el área de Corrientes – Resistencia y los rangos de señal a graficar, desde 0 dBu a infinito, con límites en 68 dBu y 48 dBu. El valor mínimo se estableció de acuerdo con la sensibilidad definida para el receptor de TDT por la normativa adoptada por la Argentina.

El sistema de antena consta de un apilado de paneles con una ganancia de unos 10 dBi. En la figura 8.19 se puede observar el diagrama de radiación horizontal del sistema de antena de Canal 9 HD generado con el XIRIO® Online.

En la figura 8.20 se puede observar el resultado de cobertura para el transmisor Canal 9 HD digital operando con una potencia de salida de 2 kW.

Propiedades del Diagrama de Radiación

Diagrama horizontal

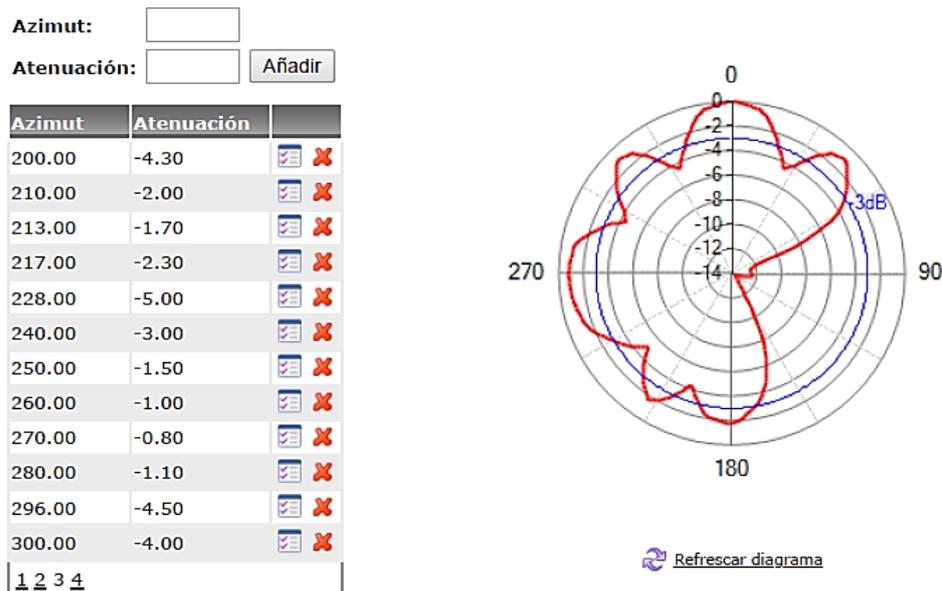


Figura 8.19.- Diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor Canal 9 HD (XIRIO® Online) [15].

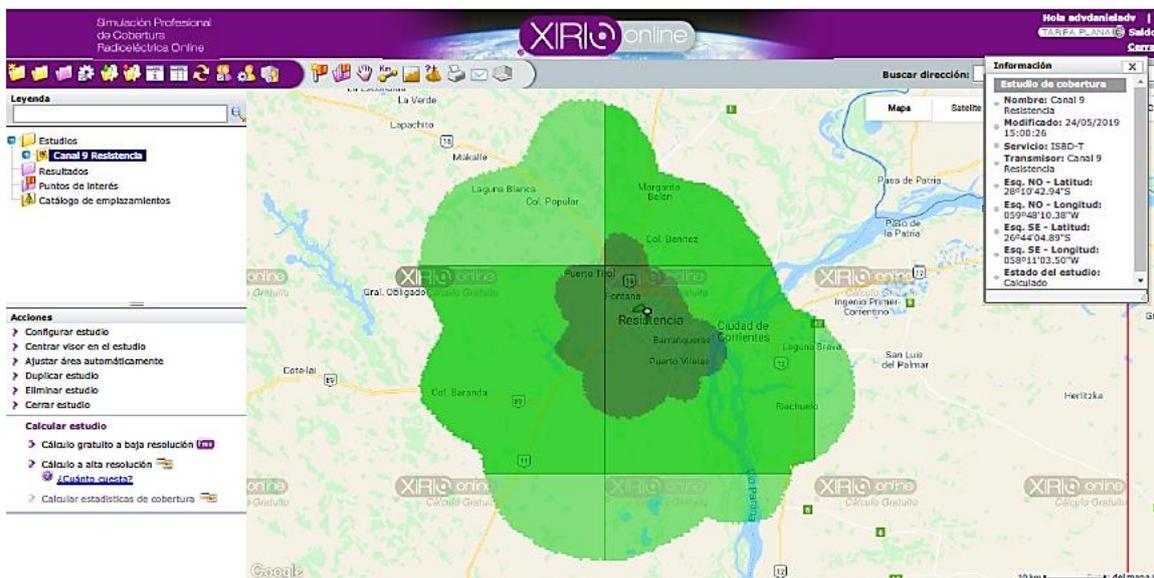


Figura 8.20.- Resultado de cobertura transmisor Canal 9 HD (XIRIO® Online) [15].

En la figura 8.19 se puede observar el diagrama de radiación horizontal del sistema de antena del transmisor TDT de Canal 9 HD y en la figura 8.20 el resultado de cobertura del mismo. Se puede apreciar el amplio rango de cobertura en el área bajo estudio.

8.2.6 Simulaciones de cobertura red SFN de la TDA Puerto Tirol y Santa Catalina, 13MAX Digital y Canal 9 de Resistencia

En la figura 8.19 se puede observar el resultado conjunto de las simulaciones de cobertura efectuadas para la red SFN de la TDA, con las EDT de Puerto Tirol y Santa Catalina; el resultado de cobertura de 13MAX Digital y de Canal 9 HD en el área Corrientes – Resistencia. Se observa que las ciudades de Resistencia, Barranqueras y Corrientes disponen de una cobertura de servicio primario y localidad principal de estas cuatro emisoras. Sin embargo las ciudades al noroeste de Resistencia sobre la Ruta Nacional N° 16 quedan fuera del radio de servicio primario. En la Provincia de Corrientes hacia el sur se llega a los límites de la ciudad de Empedrado y al este a la ciudad de Paso de la Patria y San Luis del Palmar con los emisores ubicados en la ciudad de Corrientes.

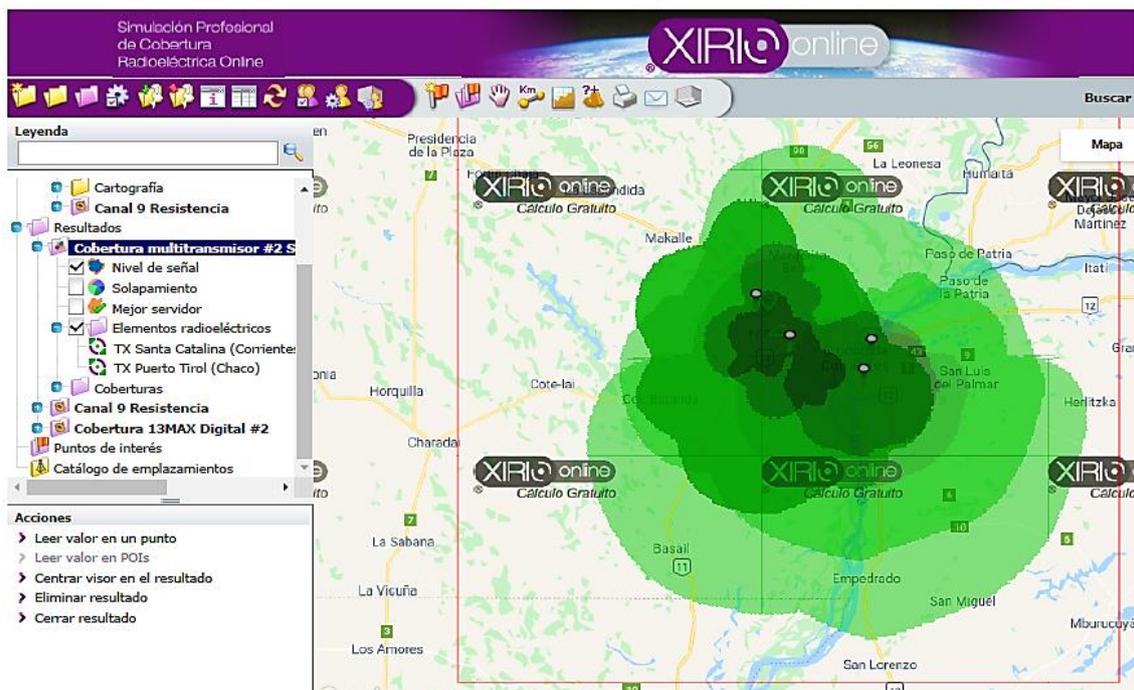


Figura 8.21.- Resultado de cobertura red SFN TDA, 13MAX Digital y Canal 9 HD (XIRIO® Online) [15].

8.3 Análisis de interferencias

Es de interés minimizar la interferencia entre el sistema de TDT y otros sistemas de telecomunicaciones radioeléctricos que operen en bandas cercanas. Es importante además el estudio de la interferencia entre emisoras de TDT en una región o área.

La Recomendación ITU-R BT.1368-12 [13] *Criterios para la planificación, incluidas las relaciones de protección, de los servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas* es una referencia importante al respecto.

La simulación de escenarios interferentes previsto realizar con el software XIRIO® Online no fue posible debido a que el software en su versión libre no suministra los resultados de interferencia, debiendo abonar sumas considerables por cada simulación realizada. No se dispuso de fondos suficientes para estos estudios por lo cual se optó por trabajar de manera analítica con la información elaborada.

Del análisis efectuado en base a los resultados previos obtenidos y documentación relacionada al tema, en el área de cobertura de las ciudades Corrientes – Resistencia se concluye lo siguiente:

La coexistencia de canales analógicos de UHF no origina mayores problemas ya que en el área bajo estudio no existen señales de TV analógicas activas y el apagón de televisión analógica en la Argentina está previsto para el año 2019.

Por otra parte en la banda superior de UHF asignada inicialmente a la TDT y luego en forma parcial al sistema 4G de telefonía móvil, conocida como dividendo digital, no existe mayores problemas ya que el canal radioeléctrico TDT de mayor frecuencia planificado es el 36 con una frecuencia en el extremo superior de 608 MHz y para 4G se le asignó desde el canal 52 (698 MHz) al 69 (806 MHz). Además, considerando el número de canales radioeléctricos disponibles y la gran capacidad de transporte de programas (canales digitales) no se contempla problemas a futuro.

El sistema White Spaces en despliegue en algunos países utiliza bandas de guarda entre bandas o canales, o frecuencias no utilizadas para la transmisión de datos y TV. En la banda de UHF de TDT se prevé utilizar las frecuencias comprendidas entre los 698 MHz a 806 MHz. En la Argentina y en el área bajo estudio a la fecha de este trabajo no se encontraron proyectos de planificación e implementación del sistema White Spaces.

Del análisis de la situación actual de las emisoras de TDT en el área de las ciudades de Corrientes y Resistencia, de los resultados de cobertura de las simulaciones realizadas con el software, de la planificación de frecuencias a la fecha de este trabajo realizadas por ENACOM (ex-AFSCA/AFTIC, ver tabla 8.1) y de las asignaciones vigentes (ver tabla 8.2) se puede realizar algunas consideraciones respecto a las posibles interferencias dentro de la TDT y la TDT interactuando con otros sistemas.

En la red SFN de la TDA los transmisores de la EDT Puerto Tirol y la EDT Santa Catalina están separados entre sí una distancia de 31,9 km, siendo que la distancia máxima permitida entre transmisores es de 75,6 km para el intervalo de guarda utilizado (Modo 3, intervalo de guarda = 1/4). Por ésta razón se estableció un retardo de 0 μ s entre EDT's. Por lo tanto se infiere que dentro del área de cobertura calculada no habrá interferencia cocanal debido a las señales de cada uno de los diferentes canales de la misma red SFN TDA.

Por otra parte la EDT de Puerto Tirol transmite los canales radioeléctricos de UHF 22, 23, 24 y 25 sobre una misma antena. Esta situación es la ideal ya que el nivel de intensidad de campo con los que llegarán cada uno de los canales radioeléctricos a un punto de cobertura serán similares, considerando que las diferencias de ganancia de antena y pérdidas de propagación para las distintas frecuencias no son relevantes en referencia a la relación de protección de canal adyacente. Cabe recordar que la relación de protección para canal adyacente inferior, para $K_1 = 2/3$ y 64-QAM, es de -26 dB.

Igual situación se presenta en la EDT de la TDA Santa Catalina la cual transmitirán, una vez en funcionamiento, las mismas señales de la EDT Puerto Tirol, en configuración SFN, con las mismas potencias de RF. Se concluye que no se producirán interferencias cocanal y canales adyacentes.

La emisora 13MAX Digital transmite en el canal radioeléctrico 31 en la ciudad de Corrientes. Si bien su categoría asignada es la D, con una PRE de hasta 20 kW, la emisora de TDT más próxima en frecuencia y en funcionamiento es Canal 9 HD (Resistencia) en el canal radioeléctrico 28. Es de considerar que en la ciudad de Corrientes ya se dispone de parámetros técnicos para los canales radioeléctricos 32, 33 y 35, los cuales deberán ser tenidos en cuenta en el estudio de interferencia cuando estén definidas las ubicaciones de sus transmisores.

La emisora Canal 9 HD transmite en el canal radioeléctrico 28 en la ciudad de Resistencia. Su categoría es la D. En el canal radioeléctrico 27 se encuentra transmitiendo en modo de prueba el canal digital 27.2 con categoría K con una PRE de hasta 100 W. El canal radioeléctrico 29 con categoría F, PRE de hasta 5 kW, fue asignado al Gobierno de la Provincia del Chaco y todavía no está en funcionamiento. Además en el canal radioeléctrico 26 se está transmitiendo Chaco TV. No se pudo determinar la ubicación del transmisor pero hay indicios de que se estaría transmitiendo desde la EDT Puerto Tirol sobre una segunda antena con una potencia de 1 kW. Estas diferentes situaciones deberán ser tenidas en cuenta en los análisis de interferencia una vez definidas las ubicaciones de sus transmisores.

En el plan de tareas de tesis se había previsto la realización de mediciones de transmisores de TDT operativos en el área de estudio con un equipo analizador de espectro de radiofrecuencia con la finalidad de obtener información de base. Se comenzó con esta tarea pero por fallas en el equipo analizador de espectro se tuvo que interrumpir. No fue posible disponer de un equipo adecuado para las mediciones programadas.

8.4 Comentarios y Discusión de resultados

De los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones de cobertura con el software XIRIO® Online se puede inferir que la cobertura del área Corrientes – Resistencia es óptima cuando se trabaja con emplazamientos de transmisores en ambas ciudades conformando una red SFN. En el caso de transmisores ubicados sólo en una de las ciudades la cobertura determinada para el área no es total. Sin embargo las asignaciones como licenciarios operadores les autoriza a implementar redes SFN a fin de lograr la cobertura adecuada del área bajo estudio.

Debido a la gran cantidad de variables a considerar no se realizaron simulaciones de las frecuencias no asignadas aún o aquellas de las cuales no se disponían los parámetros técnicos a la fecha del presente trabajo. Por esta razón no se dispone de resultados al respecto.

En el presente trabajo se había previsto la realización de mediciones de campo de niveles de cobertura de transmisores de TDT operativos en el área de estudio utilizando un equipo analizador de espectro de radiofrecuencia. Esta tarea no fue posible realizar por no disponer del equipo apropiado debido a una falla en el funcionamiento.

Dentro del plan de tareas estaba previsto utilizar el software XIRIO® Online para el cálculo de las potenciales interferencias, mediante los métodos disponibles para estimar la aportación de una o varias fuentes de interferencia. Esta tarea no fue posible debido a que el software en su versión libre no suministra estos resultados y no se disponía de fondos suficientes para realizarlos. De todas formas se realizó un análisis de las diferentes situaciones potenciales en base a la información técnica disponible y los resultados de las simulaciones.

Los resultados obtenidos son importantes para el proceso de planificación de la red de televisión digital terrestre en el área dada por las ciudades de Corrientes, en la provincia de Corrientes y Resistencia, provincia del Chaco.

CAPÍTULO IX

9 - CONCLUSIONES. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

9.1 Conclusiones

En el presente trabajo de tesis se ha investigado la planificación de frecuencias, cobertura, interferencias y emplazamientos de las emisoras de TDT ISDB-Tb a instalarse en el área de la ciudad de Corrientes, en la Provincia de Corrientes y la ciudad de Resistencia, provincia del Chaco. Se ha analizado la situación actual de cobertura y posibles interferencias debido a las emisoras en funcionamiento en la región. Se ha analizado la convivencia de la TDT ISDB-Tb con la TV analógica en la banda de UHF y con sistemas de comunicaciones móviles 4G LTE en la banda próxima del dividendo digital.

En Argentina se ha iniciado el despliegue de la red estatal de la red TDA a partir del año 2009. Su planificación técnica no tuvo una difusión masiva y estuvo marcada por los tiempos políticos. En el área objeto de estudio se instaló la EDT de Puerto Tirol de acuerdo a la programación inicial pero la EDT Santa Catalina en Corrientes, la segunda estación de la red SFN, sufrió un importante retraso y al día de hoy no se encuentra operativa.

Respecto a la red SFN de la TDA su evaluación preliminar a través de la estimación del área de cobertura permite afirmar que una vez que la EDT de Santa Catalina se encuentre en funcionamiento junto a la EDT Puerto Tirol, la cobertura de área de localidad principal permitirá cubrir adecuadamente el conglomerado Corrientes, Resistencia y Barranqueras. El área primaria de servicio se extenderá a un gran número de ciudades próximas de menor población, de las provincias de Corrientes y Chaco. La red SFN de la TDA transmite actualmente desde la EDT de Puerto Tirol 16 canales digitales, en formato de servicio Full HD, HD, SD y One Seg, disponiendo de la facilidad de ampliación futura con nuevos canales radioeléctricos.

Del análisis de cobertura de los canales privados de TDT, 13MAX Digital en la ciudad de Corrientes y Canal 9 HD en la ciudad de Resistencia, se puede concluir que la cobertura de localidad principal abarca fundamentalmente cada una de las ciudades en las cuales están emplazados sus transmisores. Sin embargo el área primaria de servicio se extiende a las ciudades próximas. Ambos licenciatarios operadores están autorizados a diseñar y operar una red SFN.

Las frecuencias que ya están previstas para la TDT en el área bajo estudio pero que aún no han sido asignadas y/o sus parámetros técnicos definidos, se deberán estudiar de manera cuidadosa para su integración al escenario actual de la TDT. Es de recordar que esta región es lindante con el límite con el Paraguay.

Del análisis de interferencias se concluye que la situación actual no genera situaciones de importancia dentro de la red TDT, considerando los transmisores que se encuentran activos. La disponibilidad de canales radioeléctricos es muy grande, la separación prevista en frecuencia con la banda del dividendo digital 4G es de 90 MHz. Es poco probable además la interferencia con otros sistemas en el área bajo estudio. No existen interferencias cocanal ni con canales adyacentes. Respecto a estas interferencias se pueden minimizar asignando cuidadosamente los parámetros técnicos de los canales en la ciudad de Corrientes y la de Resistencia dado que los conglomerados están separados sólo unos 5 km, Río Paraná de por medio

Del análisis de las simulaciones de cobertura en el área dada por las ciudades de Corrientes y Resistencia se concluye que con una distribución de emplazamientos adecuados y parámetros técnicos definidos en el marco de un plan integral para el área, se puede prestar el servicio de TDT bajo la norma ISDB-Tb de manera satisfactoria y eficiente.

Se verificó que a la fecha de este trabajo no se dispone de lineamientos claros y públicos por parte de las autoridades competentes respecto a la planificación integral de la TDT.

A los efectos de la planificación de la TDT en el área bajo estudio resulta imprescindible considerar a las ciudades de Corrientes y Resistencia, así como las ciudades aledañas, como una sola unidad a los efectos de la prestación del servicio de TDT.

Se considera necesario trabajar de manera conjunta bajo la coordinación de ENACOM y con la participación de los organismos provinciales competentes en materia de Telecomunicaciones de la provincia del Chaco (ECOM Chaco), de Corrientes (Telecomunicaciones Corrientes TELCO) y la Universidad Nacional del Nordeste (carrera de Ingeniería en Electrónica, Grupo de Estudio de Radiaciones No Ionizantes) con el objetivo de elaborar una Planificación Técnica Integral de la TDT bajo la norma ISDB-Tb en el área Corrientes - Resistencia y el diseño de un Plan Estratégico de Desarrollo de la TDT en la región.

Si bien se han realizado algunos estudios monográficos de implantación y despliegue de la red TDT ISDB-T en Argentina, no existen trabajos publicados sobre despliegue de una red de distribución ISDB-T en zonas concretas y menos aún en el área de las ciudades de Corrientes y Resistencia. El presente trabajo aporta relevante información técnica que fue utilizada para confirmar los parámetros de funcionamiento de la red TDT actual y planificar la futura red SFN, cuando todas las EDT se encuentren instaladas y operativas.

Se propone al respecto, en base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, de que las futuras estaciones de TDT bajo ISDB-Tb se diseñen considerando al área de las ciudades de Corrientes y Resistencia como una sola unidad geográfica, implementando redes SFN en modo 3, en formatos Full HD, SD y One Seg,

concentrando las plantas transmisoras en pocas EDT ubicadas estratégicamente en emplazamientos que permitan la cobertura del área Corrientes - Resistencia.

Los resultados presentados son de naturaleza propios de la región bajo estudio por lo que pueden ser aplicados a las futuras planificaciones de redes TDT SFN de televisión digital en la región, tanto de la TDA estatal como por parte de empresas privadas del sector de las telecomunicaciones. La aplicabilidad de los resultados obtenidos ha sido analizada en escenarios reales, de manera que pueden adaptarse a nuevos escenarios de cobertura de redes SFN de características geográficas similares.

9.2 Líneas futuras de trabajo

Cómo una futura línea de trabajo en el tema se propone realizar campañas de medición de niveles de intensidad de campo de las emisoras de TDT, bajo la norma ISDB-Tb, en funcionamiento en el área Corrientes – Resistencia. Los resultados obtenidos serán cotejados con los resultados de las simulaciones de cobertura obtenidas con el software XIRIO® Online con el objetivo de analizar la validez del estudio de escritorio con los resultados de campo. De esta manera se pretende disponer de mayor información y herramientas de planificación de sistemas de TDT en la región.

Otra futura línea de trabajo es la realización de simulaciones de escenarios interferentes entre señales propias del sistema TDT y con señales externas de otros sistemas diferentes tales como telefonía móvil, White Spaces WiFi, ISM, etc. Para lograr este propósito se propone utilizar software libre, como por ejemplo el SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool), el cual dispone de soporte oficial y una amplia librería en la web. El objetivo es disponer de información y herramientas que permitan un mayor conocimiento sobre el tema para la planificación de sistemas de TDT.

ANEXO I

TECHNICAL SPECIFICATIONS

EXCITER

DVB-T/H-T2	
Standard	EN300744, EN302304, EN302755, TS 102831, TS 102 773 (T2-MI)
Inputs	2xASI BNC (F), 75 ohm / 2xTSolP 10/100/1000 RJ45.
FFT	1K (DVB-T2), 2K, 4K, 8K, 16K (DVB-T2), 32K (DVB-T2)
Code rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 3/5 (DVB-T2), 4/5 (DVB-T2)
Guard interval	1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 19/256 (DVB-T2), 19/128 (DVB-T2), 1/128 (DVB-T2)
Constellation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (DVB-T2). Rotated and non rotated (DVB-T2)
ATSC	
Standard	ATSC A/53, A/54, A/64, A/153, A/110B, SMPTE-310M
Inputs	2xSMPTE BNC (F), 75 ohm - 2xASI BNC (F), 75 ohm
Constellation	8VSB
Symbol rate	10.76 Msymbols/s
Data rate	19.39 Mbits/s
Trellis coding	2/3
Reed-Solomon encoder	207 / 187 / 10
ISDB -T/Tb	
Standard	ARIB STB-B31, TR-B14
Inputs	2xASI BNC (F), 75 ohm
FFT	2K, 4K, 8K
Code rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Guard interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Carrier spacing	4 KHz, 2 KHz, 1 KHz
Hierarchical modulation	Up to 3 layers
Constellation	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK
Clock and synchronization	
Internal clock	10 MHz
External reference	10 MHz BNC (F). Impedance = 50 ohm / high (configurable). Level = -5 to +10 dBm
1pps reference	BNC (F). Impedance = 50 ohm / high (configurable)
SFN	Resolution SFN = ± 100 ns. SFN configurable delay = ± 500 ms
Local and remote control	
Display	Local operation through the display and keyboard located on the front panel
RJ-45	Remote network management and local operation interface (Web Server and/or SNMP agent)
Parallel interface	Floating contacts for messages and commands

UHF TRANSMITTER

Digital TV (*)	TUWH4601	TUWH4602	TUWH4603	TUWH4604	TUWH4605	TUWH4606
Output power before the filter: DVB-T/H/T2, ISDB-T/Tb	600 Wrms	1.2 KWrms	1.8 KWrms	2.4 KWrms	3 KWrms	3.6 KWrms
Output power before the filter: ATSC	1070 Wrms	2060 Wrms	3.1 KWrms	4.1 KWrms	5.2 KWrms	6.1 KWrms
Number of amplifiers (**)	1	2	3	4	5	6
Maximum number of TX per rack (Including dual drive redundancy)	6	3	2	1	1	1
Maximum N+1 systems per rack	4+1	2+1	1+1	N/A	N/A	N/A
N° of racks	1					
Output RF connector	7/16 or EIA 1 5/8"	EIA 1 5/8"			EIA 1 5/8" (DVB-T/H/T2, ISDB-T/Tb) EIA 3 1/8" (ATSC)	
General						
Frequency range	UHF: 470 - 800 MHz (resolution: 1 Hz)					
Channel bandwidth	6, 7, 8 MHz plus 1.7, 5 and 10 MHz for DVB-T2 ISDB-T/Tb, ATSC: 6 MHz					
Cooling	Air - cooled					
Power supply	Three - phase: 400VAC +/- 15%, 47 to 63Hz (other on request)					
Max. installation altitude	Up to 2500 m (> 2500 m on request)					

(*) The models are referenced according to standard: TUWH40xx - DVB-T/H/T2, TUWH40xxB - ISDB-T/Tb, TUWH40xxA - ATSC. Example: TUWH4004B - 2.4 KWrms ISDB-T/Tb

(**) Other configurations of output power and number of amplifiers, on request.

Remark: To comply with the out-of-band emissions regulations and with the required shoulder attenuation, the RF output of the transmitters must be connected to an appropriate filter.

Egatel

Parque Tecnológico de Galicia - Ourense - Spain
Tel. +34 988 368 118 - Fax +34 988 368 119
Mail: egatel@egatel.es - Web: www.egatel.es

Figura A.1.- Especificaciones técnicas de equipos transmisores TDT ISDB-Tb marca EGATEL (EGATEL) [44].

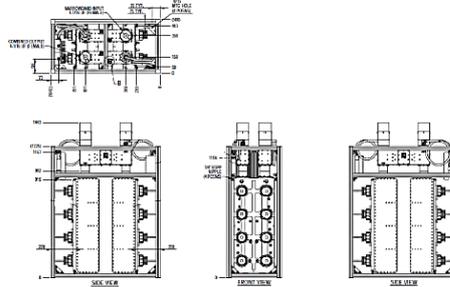


Balanced UHF TV Combiners

The CA8PPXX201E combiner is designed for DTV mask and combining applications. A module comprises a pair of 8 pole 200mm UHF filters and a pair of 3 dB couplers in a balanced combiner configuration. Each combiner module features

- Compact size
- Low insertion loss
- Adjacent channel operation
- DTV mask filtering
- Double compensated invar temperature stability
- Water cooled

Detailed electrical specifications and further information is available by opening the appropriate external document link below.



Typical CA8PPXX201E Combiner

Technical Features

STRUCTURE

Product Line		Combiner TV
Product Type		Band IV/V (UHF) TV Balanced Combiner
Filter Type		Cross coupled

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	470 - 862
Minimum Channel Spacing		adjacent
Narrowband Input Power (maximum)	kW	20
Number of Poles		8
Number of Cross Couplings		2
Passband	MHz	6 to 8
Mask		Critical



CA8PPXX201E combiner with 5 port patch panel

Figura A.2.- Especificaciones técnicas de un combinador con filtros direccionales para DTV en la banda de UHF. (RFS) [25].

CDR3000D CON ANTENA DE REGALO

Decodificador Digital CDR3000D



Este Decodificador Digital, compatible con la Norma Argentina de Televisión Digital, le ofrece la posibilidad de ver Señales Digitales de TV Digital SATVD (Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre). Trae salida HDMI incorporada para disfrutar alta definición en imagen y sonido. Asegura la compatibilidad con su televisor, sin importar si es antiguo o un moderno LED/LCD Full HD de última generación, al tener salidas para la variada gama de televisores del mercado. Entre sus características debemos destacar que soporta Televisión Digital Interactiva (GINGA). También reproduce video, imágenes y música.

Desde acá usted puede descargar las actualizaciones de software de forma gratuita durante toda la vida útil del equipo.

Antena AC05SATVD

- Instalación Horizontal / Vertical.
 - Tecnología de amplificación con bajo nivel de ruido.
 - Alta direccionalidad.
 - Alimentación USB.

[Las imágenes son meramente ilustrativas.]

Características Técnicas:

kit Antena TDA III

Decodificador Digital CDR3000D & Antena Interior para TDA

CDR3000D - Decodificador Digital

- Compatibilidad: SATVD-T Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre.
- Decodificación de video: MPEG2, MPEG4, H.264, RV, MJPEG, VC1, H263 MPEG1 formatos.
- Codificación de video: H.264, H.263 and MPEG4 D1/SD.
- Formato de multimedia soportados: JPEG, MP3, AVI, MP4, MKV, MPG, TS y FLV.
- Soporte de EPG (Guía Electrónica de Programas).
- Soporte de búsqueda automática y manual de canales.
- Actualización via USB.
- Formatos de video: 480i, 480p, 576p, 720p, 1080i resolución de video.
- Conexiones: Entrada RF para antena TV Digital SATVD. / Salida YPbPr / Salida S/PDIF
- Salida AV Audio y video. (Análogo) / Salida HDMI / Conector RJ45 Ethernet 10/100 Mbits
- 1 USB 2.0 para conexión de Teclado & Mouse o dispositivo externo / Opción de canal 3/4 (RF analógico).
- Memoria: 256 mb NAND Flash.
- SDRAM: 1GB DDR3.

Antena de interior TDA

- Instalación Horizontal / Vertical.
- Tecnología de amplificación con bajo nivel de ruido.
- Alta direccionalidad.
- Alimentación USB

ventas@coradir.com.ar | www.coradir.com.ar

Figura A.3.- Características técnicas de un Decodificador Digital ISDB-Tb (Coradir S.A.) [45].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARIB. Association of Radio Industries and Businesses. <http://www.arib.or.jp> (5 de mayo de 2017).
- [2] DiBEG. Digital Broadcasting Experts Group. <http://www.dibeg.org/techp/techp.html> (5 de mayo de 2017).
- [3] FÓRUM SBTVD. Fórum do Sistema Brasileiro de Televisión Digital Terrestre. <http://forumsbtvd.org.br> (5 de mayo de 2017).
- [4] Ginga Brasil. <http://www.ginga.org.br> (5 de mayo de 2017).
- [5] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <http://www.abnt.org.br> (5 de mayo de 2017).
- [6] BORA. Boletín Oficial de la República Argentina. Año CXVII Número 31.727. (09/09/2009).
- [7] ENACOM (2009). TV Digital Terrestre en la República Argentina. https://www.enacom.gob.ar/tv-digital_p568
- [8] Pisciotta, N. O., Liendo, C. G., & Lauro, R. C. (2013). Transmisión de televisión digital terrestre en la norma ISDB-Tb. Cengage Learning Editores SA de CV.
- [9] UIT. Recomendación UIT-R P.1546-5 (09/2013). Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 MHz. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [10] CNC. Secretaría de Comunicaciones. Resolución 7/2013. Anexo I. 2013.
- [11] Microsoft White Spaces Database. <http://whitespaces.microsoftspectrum.com/> (10 mayo 2017).
- [12] White Space Communications. <http://www.wirelesswhitespace.org/> (10 mayo 2017).
- [13] UIT. Recommendation ITU-R BT.1368-12 (02/2015). Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands. BT Series Broadcasting service (television). 2015.
- [14] ARSAT. <http://datos.arsat.com.ar/dataviews/236036/datos-de-las-estaciones-transmisoras/> (12 mayo 2017).
- [15] Aptica. Xirio-Online. <http://www.xirio-online.com/Main.aspx> (mayo 2017).

- [16] ATSC. Advanced Television Systems Committee. <https://www.atsc.org/> (mayo 2017).
- [17] DVB. Digital Video Broadcasting. <https://www.dvb.org/> (mayo 2017).
- [18] ABNT, N. 15601: 2007, Televisão digital terrestre-Sistema de transmissão. ABNT, primeira edição.
- [19] ABNT NBR, A. A. ABNT NBR 15608-1, Guia de Operação, Parte 1: Sistema de transmissão–Guia para implementação da ABNT NBR 15601: 2007. ABNT, primeira edição.
- [20] ABNT NBR, ABNT NBR-15604, Televisión digital terrestre - Receptores. Primera edición 30.11.2007
- [21] EDINEC SRL. <https://www.edinec.com.ar/>. (febrero 2019).
- [22] LIE – LIECOM. <http://www.liecom.com/>. (febrero 2019).
- [23] JAMPRO. <https://www.jampro.com/uhf-broadcast-antennas/> (febrero 2019).
- [24] EXIR BRADCASTING. <http://www.exirbroadcasting.com/> (marzo 2019).
- [25] RADIO FREQUENCY SYSTEMS. (RFS). <https://www.rfsworld.com/> (marzo 2019).
- [26] Okumura Y., Ohmori E., Kawano T. and Fukuda K.. Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service. Review of the Electrical Communications Laboratories, vol. 16, no. 9/10, pp. 825-73, Sep 1968.
- [27] Hata M.. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug 1980. doi: 10.1109/T-VT.1980.23859.
- [28] UIT. Recommendation ITU-R P.1812-4 (07/2015). Método de predicción de la propagación específico del trayecto para servicios terrenales punto a zona en las bandas de ondas métricas y decimétricas. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [29] UIT. Recomendación UIT-R P.526-14 (01/2018). Propagación por difracción. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [30] Damosso E.. Digital Mobile Radio: Towards Future Generation Systems. European Commission. Final Report of the COST 231 Project, Chapter 4, 1998.
- [31] Correia, L. M. (2009, March). A view of the COST 231-Bertoni-Ikegami model. In 2009 3rd European Conference on Antennas and Propagation (pp. 1681-1685). IEEE.

- [32] Walfisch, J., & Bertoni, H. L. (1988). A theoretical model of UHF propagation in urban environments. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 36(12), 1788-1796.
- [33] Ikegami, F., Takeuchi, T., & Yoshida, S. (1991). Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 39(3), 299-302.
- [34] UIT. Recomendación UIT-R P.525-3 (11/2016). Cálculo de la atenuación en el espacio libre. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [35] Cardama Aznar, A.; Jofre Roca, L.; Rius Casal, J. M.; Romeu Robert, J.; Blanch Boris, S.; Ferrando Bataller, M. *Antenas*. 2da. Edición. (2002). Edicions UPC. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- [36] UIT. Recomendación UIT-R P.368-9 (02/2007). Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [37] UIT. Recomendación UIT-R P.341-6 (09/2016). Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [38] Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
- [39] UIT. Recomendación UIT-R P.1411-9 (06/2017). Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz. Serie P Propagación de las ondas radioeléctricas.
- [40] Gómez, G. T., & Tache, G. D. C. (2018). Modelo metodológico para la coexistencia de las señales de TDT y LTE. Corporación Universitaria Remington.
- [41] Luz, R. R. (2005). *Sistemas de radiocomunicaciones*. Ediciones Paraninfo, SA.
- [42] ITU. Report ITU-R BT.2209-1 (05/2013). Calculation model for SFN reception and reference receiver characteristics of ISDB-T system. BT Series Broadcasting service (television)
- [43] Aptica. Sirenet. <http://aptica.es/que-hacemos/productos/sirenet/>. (mayo 2019)
- [44] EGATEL Transmission Equipment for TV Broadcasting. <http://egatel.es>. (mayo 2019)
- [45] CORADIR. www.coradir.com.ar/producto/cdr3000d (mayo 2019).

[46] GSMA. UPV. Análisis de la situación actual y estudio de viabilidad de coexistencia entre sistemas de radiodifusión de TV y servicios LTE en la banda de 700MHz y banda adyacente en Argentina. (agosto 2016).

[47] EDINEC S.R.L. www.edinec.com.ar (mayo 2019)

[48] LIECOM. www.liecom.com (mayo 2019).

[49] SHARENGTM RF and Telecommunications Consultant. <http://www.shareng.es/> (abril 2019).

[50] TYCGIS. <https://tycgis.com/> (abril 2019).

[51] CNC. Resolución N° 7/2013 CNC – Anexo III.

[52] AFSCA. Resolución N° 24/2015.

[53] AFSCA. Resolución N° 234/2015.

[54] AFSCA. Resolución N° 35/2015.

[55] AFSCA. Resolución N° 36/2015.